

**GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Sveučilišta u Rijeci**

**HRVATSKO DRUŠTVO ZA ODVODNJAVANJE I NAVODNJAVANJE**

**PRIRUČNIK**

**ZA HIDROTEHNIČKE MELIORACIJE**

**II. KOLO**

**NAVODNJAVANJE**

**KNJIGA 3**

**NAČINI NATAPANJA**

Rijeka 1994.

*Sadržaj ove knjige predstavlja rezultat treće 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 omogućeno je novčanom potporom Javnog vodoprivrednog poduzeća "Hrvatska vodoprivreda".*

Rijeka, svibanj 1994.

**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

Mr. Davor Romić

Mr. Ivica Plišić

Dragutin Gereš, dipl.inž.grad.

Kategorizacija u publikaciji - CIP Naučna biblioteka Rijeka

UDK 626.8(035)

PRIRUČNIK za hidrotehničke melioracije /glavni i odgovorni urednik  
Zorko Kos/. - Rijeka: Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 1994. -  
sv.;24 cm

Kolo 2, knj.3: Načini natapanja (autori Zorko Kos.../et.al./. -1994. - X,  
197 str.; ilustr.)

Bibliografija: str. 27, 54, 61, 80, 92, 116, 140, 161, 178, 184, 197

Rezultati istraživanja na temi tokom 1993.

**GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Sveučilišta u Rijeci**

**HRVATSKO DRUŠTVO ZA ODVODNJAVANJE I  
NAVODNJAVANJE**

**PRIRUČNIK  
ZA HIDROTEHNIČKE MELIORACIJE**

**II. KOLO**

**NAVODNJAVANJE**

**KNJIGA 3**

**NAČINI NATAPANJA**

Autori:

Prof.dr. Zorko Kos

Prof.dr. Ognjen Bonacci

Prof.dr. Frane Tomić

Prof.dr. Stjepan Mađar

Mr. Davor Romić

Mr. Ivica Plišić

Dragutin Gereš, dipl.inž.grad.

Rijeka, 1994.

## **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: 200 primjeraka

Kompjutorski slog: Građevinski fakultet, Rijeka,  
Alen MAREČIĆ i Senko VLAH

Tisak: Tipograf Rijeka

## PREDGOVOR

Kao i ranijih godina, u znanstvenom projektu 2-11-059 "Znanstvene osnove za razvoj navodnjavanja u Hrvatskoj", i 1993.god. nastavljen je rad na pripremi izdanja II.kola Priručnika za hidrotehničke melioracije. Knjiga 3 tog kola, koja izlazi iz tiska u proljeće 1994.godine, nosi naslov Načini natapanja, te obuhvaća građu svih pet načina natapanja, a u skladu s klasifikacijom koja je uobičajena u europskim zemljama. Podijeljena je u sljedeća poglavlja:

- Uvod
- Natapanje prelijevanjem
- Natapanje potapanjem
- Natapanje infiltracijom
- Natapanje kišenjem
- Lokalizirano natapanje

Poglavlja koja obrađuju površinske načine nešto su opširnija negoli to zahtijeva sadašnje stanje razvoja natapanja u Hrvatskoj. Učinjeno je to svjesno zato što su to danas najrašireniji načini na svijetu s udjelom u ukupnoj strukturi natapanih površina od više od 90% i što su vrlo jednostavni i jeftini u pogonu\*. Kod nas se obično zazire od njihove primjene i teži se jedino razvoju različitih metoda kišenja i lokalizirana natapanja. Treba prevladati mišljenja da su to zastarjeli i manje vrijedni načini, uz ostalo i zato što neke od najrazvijenijih zemalja svijeta (SAD, Italija) i danas imaju velike površine koje se tako natapaju, a postupci se stalno dotjeruju i moderniziraju.

Natapanje kišenjem, a dijelom i lokalizirano, na prvi je pogled sažetije obrađeno negoli to objektivno praksa zahtijeva. Treba naglasiti da se kod tih načina glavni dio građe odnosi na opremu i mehanizaciju. Oprema će biti obrađena već u sljedećem svesku (broj 4), a mehanizacija vjerojatno u posebnoj knjizi nakon što se završi tiskanje gradiva osnovna programa.

Da bi se i manje upućeni čitaoci mogli lakše i u cijelosti koristiti metodologijom proračuna pojedinih postupaka za dimenzioniranje elemenata natapnog sustava, uz svaki takav postupak ili korak u proračunu dan je i odgovarajući računski primjer. I, ako i nakon toga čitaocu nešto nije dovoljno jasno, na kraju svakog poglavlja ili njegova dijela dan je opširan popis literature.

Rijeka, siječnja 1994.godine

Prof.dr. Zorko Kos

---

\* Prema podacima "The Water Encyclopedia" (1990), struktura načina natapanja u SAD u 1984. bila je sljedeća:

a) gravitacijski načini	60,0%
b) kišenje	36,8%
c) lokalizirano natapanje	1,8%
d) podzemno natapanje	1,4%



## SADRŽAJ:

<i>1. UVOD</i>	1
<b>Prof.dr. ZORKO KOS</b>	
1.1. OPĆENITO	1
1.2. KLASIFIKACIJA NATAPANJA	1
1.3. IZBOR NAČINA NATAPANJA	3
<i>2. NATAPANJE PRELIJEVANJEM</i>	7
<b>DRAGUTIN GEREŠ, dipl.inž.grad.</b>	
2.1. TEORIJSKE PODLOGE	7
2.1.1. Uvod	7
2.1.2. Primjena natapanja prelijevanjem	7
2.1.3. Prednosti i nedostaci	8
2.1.4. Teorijske osnove proračuna	8
2.1.4.1. Osnovni koncept	8
2.1.4.2. Racionalna teorija toka vode po površini tla - Crevat	10
2.1.4.3. Ostali načini proračuna	23
LITERATURA	27
<i>2. NATAPANJE PRELIJEVANJEM</i>	29
<b>Prof.dr. ZORKO KOS</b>	
<b>Mr. IVICA PLIŠIĆ</b>	
2.2. METODE NATAPANJA PRELIJEVANJEM	29
2.2.1. Općenito	29
2.2.2. Prelijevanje s prirodnih padina	30
2.2.3. Prelijevanje s umjetnih obronaka i sedala	34
2.2.3.1. Prelijevanje s umjetnih obronaka	34
2.2.3.2. Prelijevanje s umjetnih sedala (krila)	35
2.2.4. Prelijevanje iz otvora	43
2.2.5. Ostali načini prelijevanja	44
2.3. RAČUNSKI PRIMJER	45
2.4. OCJENA NATAPANJA PRELIJEVANJEM	51
LITERATURA	54
<i>3. NATAPANJE POTAPANJEM</i>	55
<b>DRAGUTIN GEREŠ, dipl.inž.grad.</b>	
3.1. OSNOVE I PRIMJENA NATAPANJA POTAPANJEM	55



3.1.1. Uvod	55
3.1.2. Prednosti i nedostaci natapanja potapanjem	55
3.1.3. Primjena natapanja potapanjem	56
3.1.4. Osnove proračuna	57
3.1.4.1. Uvod	57
3.1.4.2. Upijanje vode (infiltracija)	59
3.1.4.3. Otpori pri gibanju vode	59
3.1.4.4. SCS postupak	60
LITERATURA	61
<b>3. NATAPANJE POTAPANJEM</b>	<b>63</b>
<b>Prof.dr. ZORKO KOS</b>	
3.2. POTREBA ZA VODOM PRI NATAPANJU POTAPANJEM	63
3.2.1. Općenito	63
3.2.2. Proračuni potrebe za vodom	64
3.3. METODE NATAPANJA POTAPANJEM	67
3.3.1. Prirodno natapanje potapanjem	67
3.3.2. Umjetno natapanje potapanjem	68
3.4. PRAKTIČNI PRIMJERI	72
3.4.1. Primjer potapanja u Egiptu	72
3.4.2. Empirijska metoda po Booheru	74
3.4.3. Primjeri određivanja potrebe za vodom pri potapanju	74
3.5. OCJENA NATAPANJA POTAPANJEM	77
LITERATURA	80
<b>4. NATAPANJE INFILTRACIJOM</b>	<b>81</b>
<b>DRAGUTIN GEREŠ, dipl.inž.grad.</b>	
4.1. OSNOVE PRORAČUNA	81
4.1.1. Uvod	81
4.1.2. Primjena natapanja infiltracijom	81
4.1.3. Prednosti i nedostaci	82
4.1.4. Proračun elemenata za natapanje brazdama	83
4.1.4.1. Uvod	83
4.1.4.2. Pretpostavke i ograničenja u proračunu	83
4.1.4.3. Proračun brazda po metodi SCS-USDA	84
LITERATURA	92
<b>4. NATAPANJE INFILTRACIJOM</b>	<b>93</b>
<b>Prof.dr. ZORKO KOS</b>	
4.2. METODE POVRŠINSKOG NATAPANJA INFILTRACIJOM	93
4.2.1. Općenito	93
4.2.2. Osnovna praktična pravila	96
4.2.3. Površinsko natapanje brazdama	98
4.3. PODZEMNO NATAPANJE INFILTRACIJOM	105

4.4. NEKE UPUTE ZA PROJEKTIRANJE NATAPANJA INFILTRACIJOM	109
4.5. RAČUNSKI PRIMJERI	111
4.6. OCJENA NATAPANJA INFILTRACIJOM	114
LITERATURA	116
<b>5. NATAPANJE KIŠENJEM</b>	<b>117</b>
<b>Prof.dr. OGNJEN BONACCI</b>	
5.1. TEORIJSKE OSNOVE	117
5.1.1. Uvod	117
5.1.2. Analiza sastava umjetne kiše	118
5.1.3. Činioci koji utječu na granulometrijski sastav umjetne kiše	120
5.1.4. Djelovanje kapi pri udaranju o površinu tla	125
5.1.5. Metode mjerenja karakteristika umjetne kiše	129
5.2. RASPODJELA VODE NA TLU	131
5.2.1. Indeks (koeficijent) ravnomjernosti $C_u$ i utjecaj vjetra na neravnomjernost kiše	133
5.2.2. Isparavanje pri kišenju	136
5.2.3. Utjecaj infiltracije na natapanje kišenjem	137
5.2.4. Ostale upotrebe natapanja kišenjem	139
LITERATURA	140
<b>5. NATAPANJE KIŠENJEM</b>	<b>141</b>
<b>Prof.dr. STJEPAN MAĐAR</b>	
<b>Prof.dr. FRANE TOMIĆ</b>	
<b>Mr. DAVOR ROMIĆ</b>	
5.3. ZNAČAJKE I PRIMJENA NATAPANJA KIŠENJEM	141
5.3.1. Općenito	141
5.3.2. Prednosti i nedostaci kišenja	142
5.4. SASTAVNI ELEMENTI SUSTAVA KIŠENJA	143
5.4.1. Crpke, crpne stanice i pogonski motori	143
5.4.2. Cjevovodi	146
5.4.3. Rasprskivači	151
5.4.3.1. Glavne osobine i raspodjela rasprskivača	152
5.4.3.2. Ravnomjernost kišenja i raspored rasprskivača	154
5.4.4. Raspored uređaja za kišenje i kišnih krila	157
LITERATURA	161
<b>6. LOKALIZIRANO NATAPANJE</b>	<b>163</b>
<b>DRAGUTIN GEREŠ, dipl.inž.grad.</b>	
6.1. OSNOVNE ZNAČAJKE SUSTAVA	163
6.1.1. Uvod i razvoj lokalizirana natapanja	163
6.1.2. Prednosti lokalizirana natapanja	164
6.1.3. Nedostaci lokalizirana natapanja	166

6.1.4. Osnovni elementi sustava	167
6.2. TEORIJSKE OSNOVE PRORAČUNA	170
6.2.1. Osnove	170
6.2.2. Geometrija strujanja vode u tlu	173
6.2.3. Rubni uvjeti	174
6.2.4. Primjeri rješenja	174
LITERATURA	178
<b>6. LOKALIZIRANO NATAPANJE</b>	<b>179</b>
<b>Prof.dr. FRANE TOMIĆ</b>	
<b>Prof.dr. STJEPAN MAĐAR</b>	
<b>Mr. DAVOR ROMIĆ</b>	
6.3. TEHNIČKE ZNAČAJKE SUSTAVA	179
6.3.1. Općenito	179
6.3.2. Uređaji sustava lokalizirana natapanja	180
LITERATURA	184
<b>6. LOKALIZIRANO NATAPANJE</b>	<b>185</b>
<b>Prof.dr. ZORKO KOS</b>	
6.4. ODREĐIVANJE POTREBE VODE KOD LOKALIZIRANA NATAPANJA	185
6.4.1. Općenito	185
6.4.2. Ovisnost potrebe vode o lokaliziranom natapanju	186
6.4.3. Potreba natapne vode (PNV)	187
6.4.4. Raspodjela vode usjevima	188
6.5. KVALITETA VODE ZA LOKALIZIRANO NATAPANJE	190
6.5.1. Općenito	190
6.5.2. Filtriranje	191
6.5.3. Kemijska precipitacija	193
6.5.4. Mikrobiološka kontrola	194
6.6. PROBLEMI VEZANI UZ KVALITETU VODE	194
6.7. ZAKLJUČAK	196
LITERATURA	197

## 1.UVOD

**Prof.dr. ZORKO KOS**

Građevinski fakultet  
Sveučilišta u Rijeci

### 1.1.OPĆENITO

Navodnjavanje poljoprivrednih površina, u najvećem broju slučajeva, predstavlja drugu, odnosno treću fazu osposobljavanja poljoprivrednih površina za sigurnu i visokoakumulativnu poljoprivrednu proizvodnju. Prvu fazu obično čini sustav za zaštitu od vanjskih voda, odnosno obrane od poplava, a sastoji se od uređenja prirodnih vodotoka za prihvat velikih voda, gradnje retencija i akumulacija, te obodnih kanala. Nastavna se faza odnosi na uređenje i odvod suvišnih vlastitih (unutrašnjih) voda koja se rješava gradnjom odgovarajućih sustava za unutrašnju odvodnju. U današnjim se prilikama detaljni sustav odvodnje najčešće opskrbljuje drenažom. Dakako, od tih osnovnih načela ima dosta iznimaka, pa ovisno o fizičkim značajkama područja koje se obrađuje, moguća su različita rješenja ili kombinacije navedenih načela. Tako, u određenim prilikama, navodnjavanje može biti prva i jedina mjera koja je dovoljna za osiguranje visokoakumulativne poljoprivredne proizvodnje.

Razvoj načina (metoda) natapanja ima svoj povijesni put, ali do pred stotinjak godina primjenjivali su se gotovo isključivo površinski načini, i to s gravitacijskim dovodom vode. Terminologija danas u upotrebi razlikuje se donekle u pojedinim državama, ali se to isključivo odnosi na površinske načine. Neke se razlike očituju između zapadnoeuropskih standarda i SAD.

### 1.2.KLASIFIKACIJA NATAPANJA

Danas je u opticaju više vrsta klasifikacija natapanja. Klasifikacija uglavnom ovisi o značajki sustava koja je za taj pristup mjerodavna, odnosno koja je najvažnija za ocjenu stajališta koje se primjenjuje.

Prema režimu isporuke vode korisnicima, natapanje se može podijeliti u sljedeće tri grupe:

- kontinuirano
- periodično
- povremeno.

Periodično je natapanje u praksi najčešće, a značajka mu je što se voda dostavlja korisnicima u turnusima, tj. u pravilnim vremenskim razmacima.

Kontinuirano je natapanje dostava vode korisnicima u neprekinutom trajanju. Takvo je, primjerice, natapanje livada "marcita" i rižišta i eventualno neki tipovi podzemnoga i lokaliziranog natapanja.

Značajka je povremenog natapanja u tome što se voda dostavlja korisnicima bez unaprijed utvrđenog rasporeda. U tu kategoriju spada interventno natapanje samo u razdobljima većih suša, kao i natapanje "na zahtjev".

Prema hidrauličkim značajkama sustava, natapanje možemo podijeliti u sljedeće tri kategorije:

- sustavi pod tlakom
- gravitacijski sustavi
- raspodjela drenažom (subirigacija).

Raspodjela vode s pomoću sustava pod tlakom (tlačne mreže), uključuje kišenje, lokalizirano natapanje (kapanje) i druge slične sustave, kod kojih se voda dovodi do polja i razvodi bilju s pomoću cijevne tlačne mreže. U toj skupini ima veliki broj tehničkih rješenja i konfiguracija, strojeva i opreme te, u novije doba, automatskih - programiranih naprava.

Značajka je gravitacijskih sustava što dovode i razvode vodu bilju gravitacijskim dovodima, odnosno dovodima sa slobodnim vodnim licem. U tu skupinu spada nekoliko načina koji se razlikuju po konfiguraciji sustava i pogonskim značajkama.

Raspodjela vode drenažom, subirigacija, ili podzemno natapanje nije se do sada razvilo u značajnijoj mjeri, ali je veoma interesantno zbog načina na koji se pristupa problemu. Kod standardnoga podzemnog natapanja javlja se problem dubokog poniranja i, s tim u vezi, nizak stupanj djelotvornosti i velike količine vode koje završavaju u podzemnoj vodi. Varijanta tog načina, koja se temelji na kontroli toka podzemne vode na kritičnim točkama uz podizanja razine podzemne vode tako da zadovolji potrebe bilja, veoma je privlačna i ekonomična, ali se može primijeniti samo na određenim lokalitetima.

Prema načinu dovoda vode bilju, natapanje se može svrstati u pet osnovnih skupina s većim brojem podskupina ili metoda. To su:

a) Prelijevanje, pri čemu se određena količina vode dostavlja bilju tako da tanki sloj vode teče površinom tla od jednog kraja parcele do drugoga sve dok se ne dostavi planirana norma. Ima više podvrsta i naziva, a i ograničenja u odnosu na teksturu tla, nagib i usjev. Često se dijeli na prirodno i umjetno.

b) Potapanje je takav način natapanja pri kojemu se natapne površine potope slojem vode koji je dovoljan da se zadovolje potrebe bilja za vodom za određeni turnus. Voda stagnira dok je tlo ne upije u cijelosti. Posebna je podvrsta tog načina kada se neprekidnim dovodom vode održava na natapnoj površini određeni sloj vode za vrijeme čitave vegetacijske sezone (rižišta).

c) Infiltracija je način dovoda vode pomoću minijaturnih vodnih tokova, najčešće u obliku brazda između redova zasijanih usjeva, odakle voda infiltracijom (poniranjem) otječe u korijenovu zonu bilja. Kako se kod tog načina koriste infiltracijske značajke tla, to se u tu skupinu svrstavaju i različiti oblici podzemnog natapanja.

d) Kišenje je dovod vode bilju odozgo; to je, dakle, oponašanje oborinskog natapanja tla. Razvilo se kad je znanost riješila dovod vode pod tlakom i rasprskivanje u sitne kapi.

e) Lokalizirano natapanje sastoji se u tome što se ne vlaži čitava površina koju zauzima žilni sustav, već samo jedan njezin dio (20-80%) i što se voda dovodi pomoću velikog broja malih ispusta izravno u zonu korijena - ponekad i u kontinuiranom toku. Razvilo se nakon što su se za tlačne vodove počele primjenjivati plastične cijevi.

U američkoj se literaturi natapanje često svrstava u sljedeće tri skupine: gravitacijski ili površinski sustavi, kišenje i lokalizirano natapanje.

Izbor nekoga od načina natapanja ovisi o velikom broju čimbenika od kojih su najznačajniji: vrsta tla i usjeva, topografija, količina i kakvoća raspoložive vode, društvene prilike u zemlji i drugo.

### 1.3. IZBOR NAČINA NATAPANJA

Kao što je već spomenuto, na izbor načina natapanja u nekom određenom području i u određenim prilikama utječe veći broj čimbenika, od kojih ćemo neke značajnije u nastavku ukratko opisati.

#### a) Tlo

Dubina, kapacitet tla za vodu, kao i brzina infiltracije osnovne su značajke prema kojima se određuje koji će se način natapanja primijeniti.

Tako npr. pjeskovita tla s visokom infiltracijom i niskim kapacitetom za vodu zahtijevat će drugačiji pristup izboru načina natapanja negoli npr. duboka glinovita tla s niskom infiltracijom i visokim kapacitetom tla za vodu. U pravilu, pjeskovita tla nisu prikladna za primjenu bilo kojega površinskog načina natapanja. U slučaju da se to i realizira, onda parcele (brazde) moraju biti dosta kratke, nagib adekvatno veći, a turnus natapanja kraći. Pojavit će se problem dubokog poniranja, neravnomjernost raspodjele vode tlu, većeg utroška vode po jedinici površine te veći troškovi pogona.

S druge su pak strane glinovita tla veoma podesna za sve površinske načine, a potapanje se jedino na njima i može realizirati. U suvremenom gospodarenju, gdje se traže velike parcele, radi primjene moderne mehanizacije, površinske se metode mogu praktički uspješno realizirati jedino na glinovitim tlima.

Na kišenje i lokalizirano natapanje, osnovne značajke tla kao što je dubina, kapacitet tla za vodu i infiltracija, nemaju bitnog utjecaja, odnosno ne ograničavaju njihovu primjenu. Naime, kod tih načina može se vrlo jednostavno regulirati intenzitet i učestalost vlaženja i na taj način praktički zadovoljiti svaki kapacitet tla za vodu i brzinu infiltracije.

Prilikom izrade studije o izboru načina natapanja na nekom hidromelioracijskom području, treba analizirati veći broj uzoraka tla ravnomjerno raspoređenih na polju, jer značajke tla mogu bitno varirati od mjesta do mjesta. Konačnu odluku treba donijeti nakon svestrane analize i sagledavanja utjecaja tla kao cjeline na izbor načina natapanja.

### *b) Usjevi*

Na prirode većine poljoprivrednih usjeva utječe ne samo količina dostavljene vode natapanjem u slučaju suše, već i način na koji je ta voda dodana bilju. Natapanjem se mijenja izvjestan broj utjecajnih čimbenika na okolinu kao što su vlaga, temperatura i aeracija tla. Neki načini natapanja, uslijed vlaženja nadzemnih dijelova bilja, mogu izazvati palež lišća, kao i druge nepoželjne pojave te pospiješiti pojavu i razvoj različitih bolesti. Usjevi visoke gospodarske vrijednosti mogu podnijeti i visoke jedinične investicijske troškove, što treba imati u vidu prilikom izbora načina natapanja i tipa natapnog sustava. Usjevi koji se duboko zakorjenjuju mogu podnijeti manju učestalost natapanja i veće norme, za razliku od onih koji se plitko zakorjenjuju.

Sve navedene činjenice, kao i mnoge druge koje samostalno ili združeno s ostalim čimbenicima utječu na sklop usjev-voda, treba pažljivo razmotriti i nakon toga donijeti odgovarajuće rješenje.

### *c) Opskrba vodom*

Kod razmatranja mogućnosti opskrbe vodom i izbora prikladnog rješenja, problem treba razmotriti s dva stajališta: količine i kakvoće vode. Što se količine tiče, poznato je da ona raste usporedo s razvojem bilja i kontinuirana je u čitavoj vegetacijskoj sezoni. Tlo ima funkciju izravnavajućeg rezervoara i pretvara povremeni dovod vode u trajnu opskrbu, a natapni sustav mora to zadovoljavati.

Danas ima na svijetu već prostranih područja u kojima su već (ili će to uskoro biti) sve raspoložive količine slatke (kvalitetne) vode iskorištene. Postavlja se pitanje podmirivanja potreba za sadašnji i budući razvoj. Jedini je odgovor štednja, reciklaža i korištenje voda niže kvalitete. Kako je poljoprivreda (natapanje) daleko najveći potrošač, pažnja je usmjerena na tu granu. Prema tome, treba pronaći rješenja kako u budućnosti (u pojedinim krajevima) uspješno koristiti za natapanje vode niže kvalitete (zaslanjene, otpadne), te smanjiti specifičnu potrošnju vode pojedinih usjeva. Treba napomenuti da upotreba vode niže kvalitete zahtijeva učestalija natapanja i veće količine.

### *d) Topografija*

Uz navedene, visinski odnosi na području koje je planirano za natapanje, kao i položaj raspoloživog izvorišta natapne vode od presudne su važnosti za izbor natapnog sustava. Dapače, kod površinskih načina natapanja, topografija je područja od najvećeg značaja. Položaj izvorišta vode (visina dizanja) može biti glavni ograničavajući čimbenik razvoja natapanja na određenim površinama. K tome treba dodati veličinu natapnog polja, prilazne ceste te ostalu infrastrukturu.

Za površinske načine natapanja, najznačajniji su elementi topografije nagib polja i njegova ravnomjernost. U pravilu, površinski načini zahtijevaju jednoliki nagib u rasponu od 0-5%.

### *b) Usjevi*

Na prirode većine poljoprivrednih usjeva utječe ne samo količina dostavljene vode natapanjem u slučaju suše, već i način na koji je ta voda dodana bilju. Natapanjem se mijenja izvjestan broj utjecajnih čimbenika na okolinu kao što su vlaga, temperatura i aeracija tla. Neki načini natapanja, uslijed vlaženja nadzemnih dijelova bilja, mogu izazvati palež lišća, kao i druge nepoželjne pojave te pospiješiti pojavu i razvoj različitih bolesti. Usjevi visoke gospodarske vrijednosti mogu podnijeti i visoke jedinične investicijske troškove, što treba imati u vidu prilikom izbora načina natapanja i tipa natapnog sustava. Usjevi koji se duboko zakorjenjuju mogu podnijeti manju učestalost natapanja i veće norme, za razliku od onih koji se plitko zakorjenjuju.

Sve navedene činjenice, kao i mnoge druge koje samostalno ili združeno s ostalim čimbenicima utječu na sklop usjev-voda, treba pažljivo razmotriti i nakon toga donijeti odgovarajuće rješenje.

### *c) Opskrba vodom*

Kod razmatranja mogućnosti opskrbe vodom i izbora prikladnog rješenja, problem treba razmotriti s dva stajališta: količine i kakvoće vode. Što se količine tiče, poznato je da ona raste usporedo s razvojem bilja i kontinuirana je u čitavoj vegetacijskoj sezoni. Tlo ima funkciju izravnavajućeg rezervoara i pretvara povremeni dovod vode u trajnu opskrbu, a natapni sustav mora to zadovoljavati.

Danas ima na svijetu već prostranih područja u kojima su već (ili će to uskoro biti) sve raspoložive količine slatke (kvalitetne) vode iskorištene. Postavlja se pitanje podmirivanja potreba za sadašnji i budući razvoj. Jedini je odgovor štednja, reciklaža i korištenje voda niže kvalitete. Kako je poljoprivreda (natapanje) daleko najveći potrošač, pažnja je usmjerena na tu granu. Prema tome, treba pronaći rješenja kako u budućnosti (u pojedinim krajevima) uspješno koristiti za natapanje vode niže kvalitete (zaslanjene, otpadne), te smanjiti specifičnu potrošnju vode pojedinih usjeva. Treba napomenuti da upotreba vode niže kvalitete zahtijeva učestalija natapanja i veće količine.

### *d) Topografija*

Uz navedene, visinski odnosi na području koje je planirano za natapanje, kao i položaj raspoloživog izvorišta natapne vode od presudne su važnosti za izbor natapnog sustava. Dapače, kod površinskih načina natapanja, topografija je područja od najvećeg značaja. Položaj izvorišta vode (visina dizanja) može biti glavni ograničavajući čimbenik razvoja natapanja na određenim površinama. K tome treba dodati veličinu natapnog polja, prilazne ceste te ostalu infrastrukturu.

Za površinske načine natapanja, najznačajniji su elementi topografije nagib polja i njegova ravnomjernost. U pravilu, površinski načini zahtijevaju jednoliki nagib u rasponu od 0-5%.



e) *Ostalo*

Dakako, ima još veliki broj čimbenika koji na ovaj ili onaj način utječu na izbor načina natapanja. Spomenut ćemo, ukratko, neke od njih.

Natapni sustav nekog polja (imanja) mora se uskladiti (biti kompatibilan) s drugim poslovima (agrotehničkim mjerama) na razmatranom imanju, kao što su priprema tla, obrada, žetva i slično. Primjerice, upotreba strojeva velikog kapaciteta (zahvata) zahtijeva velike parcele (duge i široke), čemu se natapni sustav mora prilagoditi, a ne da to ograničava.

Natapni se sustavi najčešće planiraju radi maksimiziranja efikasnosti i minimiziranja visine investicija i potrebe za radnom snagom. Najučinkovitiji upravljački postupci ovise o načinu natapanja i projektu sustava. Na način upravljanja bitno utječe stupanj automatizacije, topografija polja, zahvati površinskih voda i sl. Pitanja na koja treba odgovoriti pri planiranju svakoga natapnog sustava jesu: kada natapati, koliko vode dodati usjevima i da li se i kako učinkovitost može povisiti.

Odabrani način natapanja predstavlja istovremeno veoma značajnu gospodarsku odluku. Tako npr. natapni sustavi pod tlakom zahtijevaju visoke investicijske i pogonske troškove, ali zato koriste manje radne snage i štede vodu. Njihova je primjena u prvom redu orijentirana na natapanje usjeva visoke tržišne vrijednosti. Neki drugi načini traže manje investicije, ali zato zahtijevaju veću količinu radne snage za pogon, te su obično primjereni srednje i slabo razvijenim zemljama. Primjena nekih načina ograničena je topografskim značajkama polja ili imanja, ili pak pedološkim karakteristikama tla.

Iako izbor načina natapanja u prvom redu ovisi o fizičkim značajkama polja (imanja), ne treba smetnuti s uma da je to istovremeno i jedna društvena akcija. Da bi se ostvario neki natapni sustav, moraju se, na određeni način, ujediniti pojedinci, grupe, sela, a gotovo uvijek i određeni predstavnici (organi) države. To isto vrijedi i za održavanje i pogon. U pravilu, u tipičnome natapnom području postoje tri razine nadležnosti za sve vrste aktivnosti u vezi s planiranjem, građenjem i pogonom. U prvom redu, tu je individualni poljodjelac, odnosno poljoprivredno gospodarstvo, koji su ponajprije zainteresirani za pravilan dovod i razvod vode kao i troškove pogona. To je tzv. tercijarna razina. Slijedi vodoprivredna organizacija u vidu javnoga vodoprivrednog poduzeća, vodne zajednice, vodne zadruge i sl., čiji je osnovni zadatak realiziranje potreba poljodjelstva u planiranju, građenju i održavanju osnovnoga natapnog sustava. Ta je razina ujedno spona između neposrednih korisnika i državne vlasti. I, konačno, država koja putem svojih tijela (uprava, ministarstvo) pravno uređuje odnose kako unutar vodoprivrede tako i između vodoprivrede i ostalih grana i djelatnosti te različitim vidovima pomaže razvoj te grane (subvencije, zajmovi, doprinosi i sl.).

Planeri i projektanti natapnih sustava trebali bi biti svjesni činjenice da možda najvažniji cilj koji treba postići u natapnom području jest pravednost i nepristranost pri raspodjeli vode, odnosno treba osigurati jednake uvjete za sve članove natapne zajednice. Istovremeno, uvođenje natapanja predstavlja nov tehnološki zahvat u poljoprivrednu praksu, za što treba pripremiti sve sudionike u području. Ako pripreme za to nisu na vrijeme i u dovoljnoj mjeri provedene, i najbolji plan i projekt sa svim pozitivnim pokazateljima uspješnosti može doživjeti neuspjeh.

I, konačno, ponekad izvanjski utjecaji i čimbenici mogu uvjetovati izbor tipa natapnog sustava. To se u prvom redu odnosi na ograničenja uvoza pojedinih roba radi zaštite domaće proizvodnje, nemogućnosti osiguranja deviza, probleme vezane za servisiranje uvezene opreme iz nekih zemalja itd.



## 2. NATAPANJE PRELIJEVANJEM

**DRAGUTIN GEREŠ, dipl.inž.građ.**

Javno vodoprivredno poduzeće  
"Hrvatska vodoprivreda", Zagreb

### 2.1. TEORIJSKE PODLOGE

#### 2.1.1. Uvod

Kod načina natapanja prelijevanjem tlo se natapa mlazom vode koji teče preko cijeloga natapnog polja sve dok tlo ne upije planiranu količinu vode. Voda se dovodi otvorenim kanalima do polja, zatim se prelijeva preko ruba natapnog kanala ili se na polje upušta otvorima, ovisno o primijenjenoj metodi natapanja. Obično su natapna polja omeđena malim nasipima. Donji ili nizvodni dio polja obično je otvoren. Voda se upušta na gornjem dijelu polja i teče u tankom sloju prema donjem dijelu. Obrok natapanja mora biti tako određen da je vrijeme upuštanja vode na polje jednako ili nešto manje od potrebnog vremena za upijanje te količine vode. Kad se potrebna količina vode ispusti na polje, tada se prekida dovod vode. Dužina je natapnog polja, paralelno s tijekom vode, znatno veća od širine. Polje ima uzdužni pad malen ili jednak nuli. Debljina je sloja vode vrlo mala u odnosu na širinu polja. Taj sustav natapanja ne traži velika investicijska sredstva, osim ako su potrebni veliki radovi na ravnanju i uređenju natapnih polja da bi se postigla odgovarajuća učinkovitost sustava.

#### 2.1.2. Primjena natapanja prelijevanjem

Natapanje prelijevanjem primjenjuje se za natapanje kultura gustog sklopa, livada i pašnjaka te sijanih ili sađenih kultura, osim riže i ostalih kultura koje traže potapanje. Moguće je natapati žitarice i krmne kulture, kao i voćnjake i vinograde.

Taj način natapanja može se primijeniti na većini tala. Najbolje odgovara tlima sa srednje niskom do srednjom brzinom infiltracije. Ukoliko se upotrebljava na pjeskovitom tlu s velikom brzinom upijanja, pojavit će se veliki gubici vode zbog dubokog poniranja, a dužina polja mora biti vrlo kratka. Ne preporučuje se primjena na

tlima s vrlo niskom brzinom infiltracije, jer se pojavljuje veliko otjecanje vode s natapnog polja.

### 2.1.3. Prednosti i nedostaci

Taj način natapanja ima dobru do veliku učinkovitost ako su natapna polja ispravno dimenzionirana i izvedena te ako se u pogonu dobro upravlja vodom. Utrošak je radne snage nizak. Širina natapnog polja prilagođava se radu poljoprivrednih strojeva. Ponekad se donji kraj natapnog polja zatvara malim nasipom da bi se smanjilo ili potpuno uklonilo površinsko otjecanje vode.

Topografija terena i osobine profila tla ograničuju potrebno ravnjanje terena, koje se izvodi da bi se postigao jednolik pad natapnog polja.

Kod metoda tog načina natapanja, koje se mogu primijeniti i kod većih padova terena, potrebno je voditi brigu o antierozijskoj zaštiti.

### 2.1.4. Teorijske osnove proračuna

#### 2.1.4.1. Osnovni koncept

##### *Bilanca volumena vode*

Korisno je napomenuti da u sustavu za natapanje mora u svakom vremenu postojati bilanca vode. Ukupna količina vode, dopremljena do površine za natapanje, dijeli se na površinski tok, infiltraciju ili otjecanje s polja, uz pretpostavku da se može zanemariti isparavanje vode s površine za vrijeme natapanja.

##### *Karakteristike toka vode*

Potrebno je odrediti režim toka vode i izabrati jednadžbe koje ga definiraju, dakako uz usvojene pretpostavke. Klasifikacija je toka pri prelijevanju vode preko površine tla kompleksna jer postoje razni režimi toka u različito vrijeme i mjesto u pojedinom postupku natapanja.

Tok se vode u natapanju postepeno mijenja zbog infiltracije vode u tlo te ima karakteristike nestacionarnog toka. Tok sliči turbulentnom ili prijelaznom obliku, iako se pojavljuje vrijednost Reynoldsova broja i ispod 1000. Kako je Freudeov broj obično puno manji od jedan, tok je tipično subkritičan.

##### *Hidraulički otpori - hrapavost*

Pitanje je hidrauličkih otpora toku vode u natapanju složeno: postoje otpori tla i otpori vegetacije. Mnoge studije sugeriraju da pitanje otpora toku vode nema toliku važnost u određivanju elemenata natapanja kao neke druge nezavisne varijable (pad

terena, natapna norma). Danas je evidentno da se postižu zadovoljavajući rezultati s uobičajenim izrazima, kao npr. Manningovim koeficijentom  $n$ . I uza sve to poželjna su mjerenja otpora kad god je to moguće.

Manningov koeficijent  $n$  izražava efekt zadržavanja toka vode različitih hidrauličkih graničnih uvjeta. Koeficijent ovisi o kulturi, stupnju rasta i stanju površine tla.

U tablici 21-1 prikazane su vrijednosti koeficijenta  $n$  za natapanje prelijevanjem. Više vrijednosti  $n$  primjenjuju se u određivanju maksimalne dubine ulaza, a niske vrijednosti  $n$  kad se određuje minimalni protok.

*Vrijednosti Manningova koeficijenta  
n pri natapanju prelijevanjem*

Tablica 21-1

VRSTA TLA I BILJNOG POKRIVAČA	n
Ravno, golo tlo, nekultivirano	0,04
Žitarice, redovi paralelni s tokom vode	0,10
Lucerna i slične kulture	0,15
Gusti sklop usjeva i redovi okomiti na tok vode	0,25

*Infiltracijske karakteristike tla*

Infiltracijske karakteristike tla izravno utječu na tok vode po površini i ukupne elemente natapanja. Normalno je da brzina upijanja ili infiltracije opada s vremenom. Postoji više izraza za upijanje vode u tlo. Jedan od najjednostavnijih ima oblik:

$$i = k \cdot \tau^{a'} \quad (1)$$

gdje je:

$i$  - brzina upijanja (L/T)

$\tau$  - vrijeme upijanja (T)

$k$  i  $a'$  - konstante za pojedina tla i stanje tla ( $a'$  ima generalno negativan predznak)

Integracijom gornjeg izraza po vremenu, gornji izraz daje dubinu (količinu) vode koju je tlo upilo:

$$z = k' \cdot \tau^a \quad (2)$$

Infiltracija se mijenja s vremenom i prostorom. Nije neobično da se dobije i desetak različitih vrijednosti infiltracije u polju. Takve promjene brzine upijanja mogu činiti teškoće pri projektiranju sustava natapanja.

Soil Conservation Service (USDA, 1979.) objavio je metodu za određivanje upijanja vode u tlo. Temelj je te metode klasifikacija tala u "familije krivulja upijanja vode".

Izraz je tih krivulja sljedeći:

$$F = a \cdot T^b + c \quad (3)$$

gdje je:

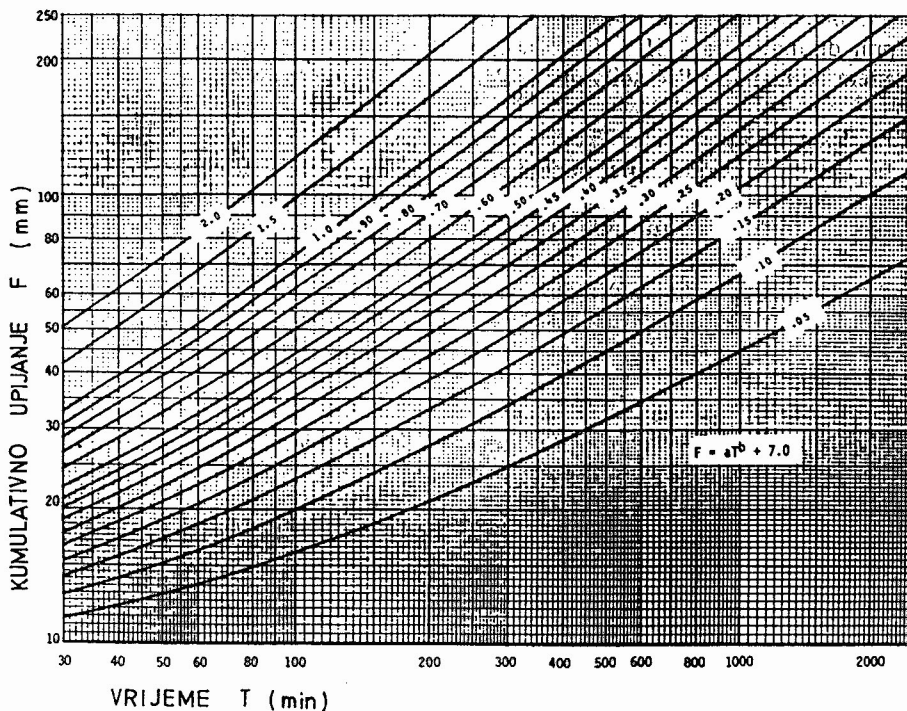
$F$  – ukupno upijanje vode (mm)

$T$  – vrijeme kontakta vode i tla (min)

$a, b, c$  – konstante za svaku familiju krivulja

Izbor odgovarajuće grupe krivulja ovisi o tlu i načinu natapanja. Izbor se može vršiti samo na temelju pokusa na polju. Mjerena ukupna infiltracija ucrtava se u dijagram na slici 21-1 i najbliža krivulja upijanja usvaja se za daljnji postupak računanja.

Ta je metoda rada primjenjiva za natapanje prelijevanjem i potapanjem, a slučaj natapanja brazdama posebno će se obraditi.

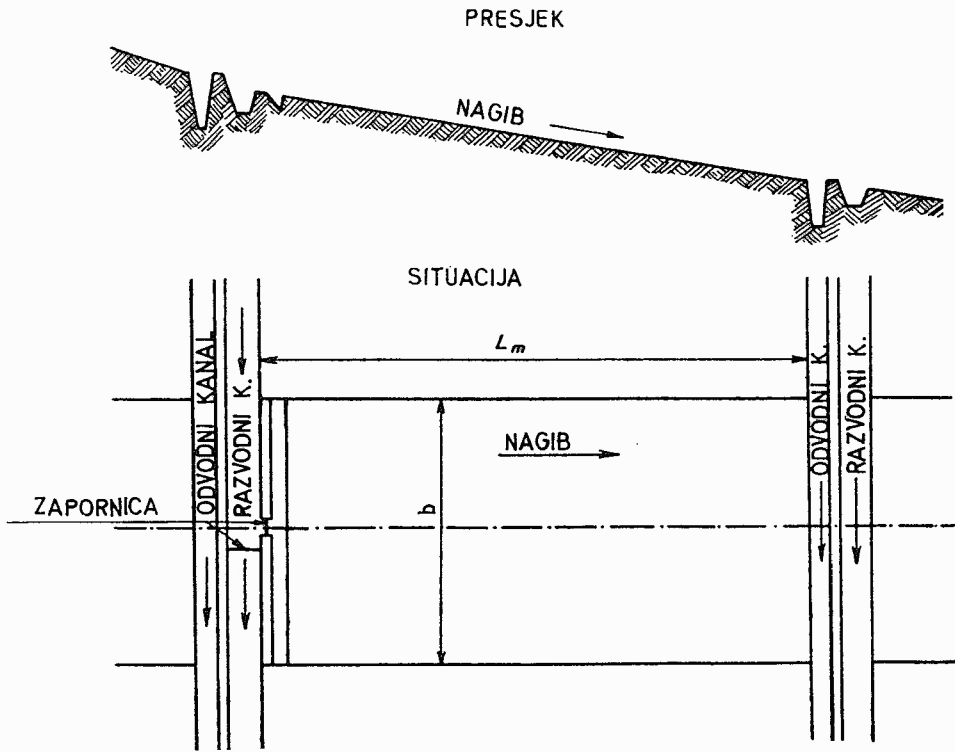


Sl. 21-1 Familije krivulja upijanja vode (USDA, 1979.)

### 2.1.4.2. Racionalna teorija toka vode po površini tla - Crevat

#### 1. Uvod

Površina za natapanje prelijevanjem dijeli se u pravilna natapna polja dužine  $L$  i širine  $b$  i površine  $L \cdot b$  jednake jediničnoj natapanoj parceli. Ako je izabrani natapni modul  $m$ , a  $K$  je brzina infiltracije, onda je površina  $s = m/K$ . Vidi se da je jediničnu natapnu parcelu ili površinu jednostavno proračunati unaprijed.



Sl. 21-2 Shema površine prelijevanja (Ollier, Poiree, 1983.)

Voda iz natapnice teče preko polja koje ima nagib  $i$  prema nizvodnom dijelu polja dužine  $L$ . Tlo istovremeno upija vodu. Ako je površina parcele odabrana iz uvjeta  $s = m/K$ , onda će se sva količina vode infiltrirati u tlo u trenutku kada stigne na donji rub parcele. Ako je površina manja od  $s$ , tada se neće moći infiltrirati sva količina vode, a višak vode oteći će u odvodni kanal. Ako je površina parcele veća od  $s$ , količina vode neće biti dovoljna da natopi cijelu površinu. Iz toga se vidi da određivanje površine  $s$  ovisi o karakteristikama tla  $K$  i izboru modula  $m$ . Veličine  $L$  i  $b$  treba odrediti iz odnosa  $s = L \cdot b$ .

Za određivanje elemenata toka vode po površini tla prikazat će se racionalna teorija J. Crevata, koja je objavljena pod naslovom "Les conditions d'irrigation rationnelle" 1907. godine u Parizu (citirano po Ollier et Poiree, 1983.).

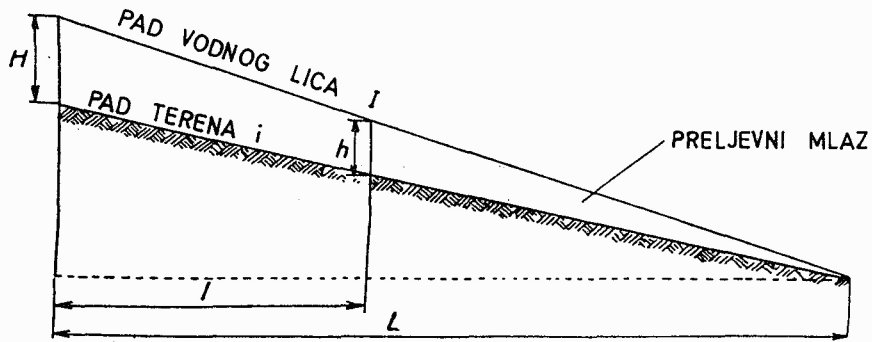
### 2. Elementarni faktori

J. Crevat uveo je dva nova parametra toka vode površinom:

- brzina toka vode u preljevnom mlazu
- jedinični protok na uzvodnom dijelu parcele, po metru širine polja

#### Brzina toka vode

Ako se pretpostavi da mlaz vode teče nagnutom površinom tla, onda će brzina toka ovisiti o nagibu tla  $i$ , debljini mlaza vode  $h$  i hrapavosti površine  $n$ .



Sl. 21-3 Mlaz vode na nagnutoj površini (Ollier, Poiree, 1983.)

Vrijednosti hrapavosti  $n$  u racionalnoj teoriji toka jesu:

$n = 20$  - za pokošenu livadu

$n = 10$  - za mladu travu

$n = 5$  - za travu pred košnjju

Brzina toka vode izražava se formulom sličnom za tok vode u kanalima (Chezy):

$$v = n \cdot h \cdot \sqrt{I} \quad (4)$$

gdje je:

$I$  - pad vodne površine mlaza, tj. zbroj nagiba tla  $i$  i relativnog pada vodne površine  $H/L$ :

$$I = i + \frac{H}{L} \quad (5)$$

Vrijednost je  $H/L$  mala u odnosu na vrijednost  $i$ , pa se može zanemariti. Karakteristike tla mogu se prikazati izrazom:

$$\alpha = n \cdot \sqrt{I} ,$$

pa slijedi :

$$v = \alpha \cdot h \quad (6)$$

Izraz (6) pokazuje da je brzina toka vode u svakoj točki proporcionalna debljini mlaza vode u toj točki.

*Jedinični protok*

Crevat je definirao jedinični protok kao volumen vode u sekundi  $i$  po jedinici širine polja, koja ulazi na natapnu površinu. To je, dakle, produkt debljine mlaza  $i$  i brzine toka :

$$q = H \cdot v \cdot 1 \text{ m} \quad (\text{m}^3 / \text{s}) \quad (7)$$



Primjer:

za  $H = 0,05 \text{ m}$  i  $v = 0,10 \text{ m/s}$  dobije se :

$$q = 0,05 \cdot 0,10 \cdot 1,00 = 0,005 \text{ m}^3/\text{s} \text{ ili } 5 \text{ l/s/m.}$$

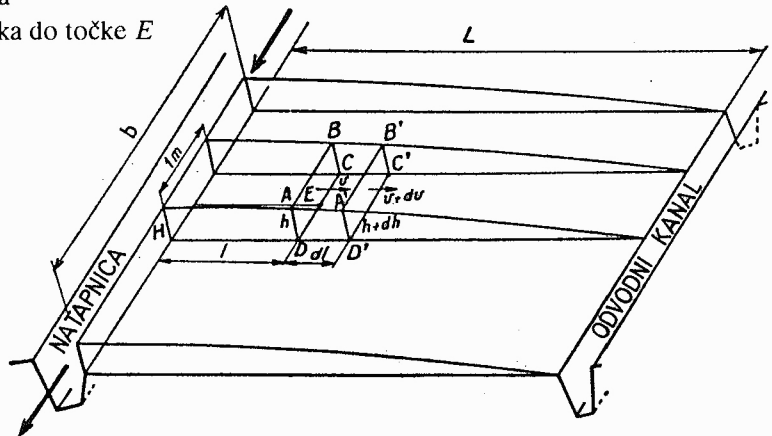
Jedinični protok toka vode ima veliku praktičnu vrijednost. Za natapnu površinu zadane veličine jedinični protok varirat će u funkciji dužine, koju jedinični protok određuje toj površini.

### 3. Temeljni odnosi

Temeljni odnosi režima toka mlaza vode utvrdit će se prema stanju prikazanom na slici 21-4.

Analizirat će se mlaz jedinične širine (1 m) preko cijele dužine polja. Žele se utvrditi karakteristike vodne površine mlaza u točki  $E$ , koja se nalazi na udaljenosti  $l$  od početka mlaza. Potrebno je definirati:

- visinu mlaza
- brzinu toka
- vrijeme toka do točke  $E$



Sl. 21-4 Elementi teorije prelijevanja (Ollier, Poiree, 1983.)

Za analizu se odabire element volumena mlaza, beskonačno mali, koji je omeđen točkama  $ABCD$  i  $A'B'C'D'$ , na međusobnoj udaljenosti  $dl$ . Dimenzije elementa volumena mlaza određenog na taj način jesu:

$$\begin{aligned} AA' &= BB' = CC' = DD' = dl \\ AB &= CC' = A'B' = C'D' = 1 \text{ m} \\ AD &= BC = h \\ A'D' &= B'C' = h + dh \end{aligned}$$

U ravnini  $ABCD$ , srednja je brzina toka  $v = \alpha \cdot h$ , a u ravnini  $A'B'C'D'$ , brzina je toka :

$$v' = v + dv = \alpha \cdot (h + dh) \quad (8)$$

Protok koji ulazi u element u ravnini  $ABCD$  dijeli se u dva dijela, i to dio koji izlazi iz elementa u ravnini  $A'B'C'D'$  i dio koji se infiltrira u tlo brzinom upijanja  $K$  na površini  $1 \text{ m} \cdot dl$ . To se može izraziti:

$$vh = (v + dv) \cdot (h + dh) + K \cdot dl \quad (9)$$

Sređivanjem izraza i zanemarivanjem veličine drugog reda  $dv \cdot dh$ , dobije se:

$$h \cdot dv + v \cdot dh + K \cdot dl = 0 \quad (10)$$

Izraz (10) osnovna je jednažba toka vode po površini tla.

*Oblik površine preljevnog mlaza*

Želimo li znati vrijednost  $h$  u funkciji  $l$ , potrebno je eliminirati  $v$  iz izraza (6) i (10):

$$\alpha \cdot h \cdot dh + \alpha \cdot h \cdot dh = -K \cdot dl \quad (11)$$

Integriranjem izraza (11) dobije se :

$$2 \cdot \frac{\alpha \cdot h^2}{2} + c = -k \cdot l$$

Za rubni uvjet  $h=0$ , dobije se  $l=L$ , pa je  $c=-K \cdot L$ . Rješenje je :

$$h^2 = \frac{K}{\alpha} \cdot (L-l) \quad (12)$$

$$h = \sqrt{\frac{K \cdot (L-l)}{\alpha}} \quad (13)$$

Izrazi (12) i (13) pokazuju da je presjek mlaza odsječak parabole.

Za rubni uvjet  $l=0$ , imamo vrijednost  $h=H$ , pa rješenje daje vezu između veličina  $L$  i  $H$ :

$$H = \sqrt{\frac{K \cdot L}{\alpha}} \quad (14)$$

*Brzina toka vode*

Ako iz izraza (6) i (10) eliminiramo  $h$ , dobije se diferencijalni izraz :

$$\frac{2 \cdot v \cdot dv}{\alpha^2} = -\frac{K}{\alpha} \cdot dl \quad (15)$$

Integriranjem izraza, te za rubni uvjet  $l=L$ , imamo vrijednost  $v=0$ . Dobije se :

$$v^2 = K \cdot \alpha \cdot (L-l) \quad (16)$$

$$v = \sqrt{K \cdot \alpha \cdot (L - l)} \quad (17)$$

Vrijeme toka vode po površini

Iz izraza  $dl = v \cdot dt$  imamo :

$$dt = \frac{dl}{v} \quad (18)$$

Ukupno je vrijeme toka:

$$t = \int_0^l \frac{dt}{v} \quad (19)$$

Uvrštavajući odgovarajuće vrijednosti i integriranjem dobije se:

$$t = \int_0^l \frac{dl}{K \cdot \alpha \cdot (L - l)} = -\frac{1}{\sqrt{K \cdot \alpha}} \cdot \int_0^l \frac{d \cdot (L - l)}{\sqrt{L - l}}$$

$$t = \frac{2 \cdot H}{K} - 2 \cdot \sqrt{\frac{L - l}{K \cdot \alpha}} \quad (20)$$

Jednostavniji put da se dobije  $t$  u funkciji  $h$  jest pomoću izraza  $v = \alpha \cdot h$  (6) i  $dl = -2\alpha / K \cdot dh$  (11) :

$$t = \int_0^l \frac{-2 \cdot dh}{K} \quad (21)$$

Kako je za  $h=H$   $t=0$ , rezultat je integriranja:

$$t = \frac{2}{K} \cdot (H - h) \quad (22)$$

Za uvjet  $h=0$ , tj. za donji rub površine :

$$t_r = \frac{2 \cdot H}{K} \quad (23)$$

### 4. Elementi natapanja prelijevanjem

#### Duljina natapne parcele

Crevat je postavio praktičan uvjet za određivanje duljine parcele: duljina parcele treba biti takva da je vrijeme prelijevanja vode iz natapnice (vrijeme natapanja ovisi o veličini modula) jednako vremenu protjecanja vode do kraja parcele (vrijeme  $t_r$ ).

To znači da je potrebno otvoriti zapornicu na ulazu u natapnicu i promatrati kad će voda stići do kraja parcele: tada je jedinična natapna parcela primila potrebnu natapnu normu. To je jednostavno pravilo.

Duljina parcele, prema tom uvjetu računa se na sljedeći način:

- trajanje je natapanja :

$$t = \frac{d_r}{K}$$

gdje je:

$d_r$  – natapna norma u mm

- trajanje prelijevanja :

$$t_r = \frac{2 \cdot H}{K} \quad (23)$$

gdje je :

$$H = \sqrt{\frac{K \cdot L}{\alpha}} \quad (14)$$

Označi se uvjet Crevata:  $t = t_r$ , iz čega slijedi :

$$\frac{d_r}{K} = \frac{2 \cdot H}{K} = \frac{2 \cdot \sqrt{L}}{\sqrt{K \cdot \alpha}} \quad (24)$$

Uređenjem izraza (24), dobije se:

$$L = \frac{\alpha \cdot d_r^2}{4 \cdot K} \quad (25)$$

Izračunavanjem duljine parcele  $L$ , ostale vrijednosti faktora natapanja računaju se izrazima :

– širina parcele :

$$b = \frac{s}{l} = \frac{m}{K \cdot L} \quad (26)$$

– jedinični protok :

$$q = \frac{m}{b} = K \cdot L \quad (27)$$

– visina preljevnog mlaza :

$$H = \frac{d_r}{2} \quad (28)$$

– trajanje natapanja :

$$t = t_r = \frac{2 \cdot H}{K} = \frac{d_r}{K} \quad (29)$$

#### Primjer

Pretpostavimo da treba natapati prelijevanjem parcelu sa slijedećim karakteristikama tla:

$$I = 0,01$$

$$n = 20$$

$$K = 0,0001 \text{ m/s}$$

Izračuna se :

$$\alpha = n \cdot \sqrt{I} = 2$$

Natapna je norma određena:  $d_r = 1000 \text{ m}^3/\text{ha}$  ili  $d_r = 0,10 \text{ m}$ . Raspolože se modulom  $m = 40 \text{ l/s} = 0,04 \text{ m}^3/\text{s}$ .

S tim elementima mogu se izračunati sve potrebne veličine natapne parcele:

- duljina (25) :

$$L = \frac{\alpha \cdot d_r^2}{4 \cdot K} = \frac{2 \cdot 0,1^2}{4 \cdot 0,0001} = 50 \text{ m}$$

- širina (26)

$$b = \frac{m}{K \cdot L} = \frac{0,04}{0,0001 \cdot 50} = 8 \text{ m}$$

- površina jedinične parcele :

$$s = L \cdot b = 50 \cdot 8 = 400 \text{ m}^2$$

- jedinični protok (27) :

$$q = K \cdot L = 0,0001 \cdot 50 = 0,005 \text{ m}^3/\text{s ili } 5 \text{ l/s} \quad \text{ili}$$

$$q = \frac{m}{b} = \frac{0,04}{8} = 0,005 \text{ m}^3/\text{s ili } 5 \text{ l/s}$$

- visina preljevnog mlaza (28) :

$$H = \frac{d_r}{2} = \frac{0,1}{2} = 0,05 \text{ m} = 5 \text{ cm}$$

- trajanje natapanja (29):

$$t = t_r = \frac{d_r}{K} = \frac{0,1}{0,0001} = 1000 \text{ s} = 16 \text{ min } 40 \text{ s}$$

- brzina toka (6) :

$$v = d \cdot H = 2 \cdot 0,05 = 0,10 \text{ m/s}$$

*Tablica Crevata*

Izraz (25)  $L = \frac{\alpha \cdot d_r^2}{4 \cdot K}$  rješava se jednostavno, jer se lako dolazi do vrijednosti

$$\alpha = n \cdot \sqrt{i} .$$

Kada je odnos  $\frac{H}{L}$  funkcija pada, dobije se:

$$\alpha = n \cdot \sqrt{i + \frac{H}{L}} = n \cdot \sqrt{i + \frac{d_r}{2 \cdot L}}$$

pa izraz (25) postaje :

$$L = \frac{d_r^2}{4 \cdot K} \cdot n \cdot \sqrt{i + \frac{d_r}{2 \cdot L}} \quad (30)$$

Ako se izraz (30) adaptira za vrijednost hrapavosti  $n = 20$ :

$$L = \frac{5 \cdot d_r^2}{K} \cdot \sqrt{i + \frac{d_r}{2 \cdot L}} \quad (31)$$

Izraz daje vrijednosti za  $L$  u funkciji  $d$ ,  $i$  i  $K$  i teško se rješava. Mogu se raditi aproksimacije i metodom proba doći do vrijednosti  $L$ . Crevat je dao tablicu za proračun  $L$  u funkciji dviju od triju označenih varijabli. Te su dvije varijable nagib terena  $i$  te natapna norma  $d_r$ . Treća je varijabla  $K$  unaprijed određena:  $K = 0,0001 \text{ m/s}$ . Kako je  $L$  obrnuto proporcionalan s vrijednosti  $K$ , to se lako određuje  $L$  u svim slučajevima.

*Teorijska duljina natapne parcele za različite natapne norme i različite nagibe terena uz brzinu upijanja vode od 0,0001 m/s*

Tablica 21-2

Pad i	Natapna norma $d_r$ (m)												
	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14
0,000	1,58	3,1	5,0	7,3	9,9	12,9	16,0	19,5	23,3	27,2	31,5	36,0	40,6
0,001	1,67	3,3	5,5	8,0	11,0	14,4	18,2	22,2	26,8	31,6	36,9	42,5	48,5
0,002	1,76	3,6	5,9	8,7	12,1	15,9	20,2	24,6	30,2	35,9	42,1	48,8	55,9
0,003	1,84	3,8	6,3	9,4	13,1	17,3	22,2	27,3	33,4	40,0	47,1	54,8	62,9
0,004	1,92	4,0	6,7	10,1	14,1	18,7	24,1	30,0	36,6	43,8	51,8	60,2	69,4
0,005	2,00	4,2	7,1	10,7	15,0	20,1	25,9	32,4	39,7	47,5	56,1	65,4	75,4
0,006	2,08	4,4	7,5	11,3	16,1	21,4	27,6	34,6	42,4	50,9	60,3	70,3	81,1
0,007	2,16	4,6	7,8	11,9	16,9	22,6	29,2	36,7	45,0	54,1	64,1	75,0	86,6
0,008	2,24	4,8	8,2	12,5	17,8	23,8	30,8	38,7	47,5	57,2	67,8	79,2	91,6
0,009	2,32	5,0	8,6	13,1	18,6	25,0	32,3	40,7	49,9	60,2	71,4	83,4	96,1
0,010	2,39	5,1	8,9	13,6	19,4	26,1	33,8	42,6	52,3	62,1	74,8	87,5	101
0,012	2,53	5,5	9,5	14,6	20,9	28,1	36,5	46,0	56,6	68,4	81,3	94,8	110
0,015	2,73	5,9	10,4	16,1	23,0	31,1	40,4	49,8	63,0	78,9	90,1	105	122
0,020	3,1	6,7	11,8	18,3	26,2	35,5	46,2	58,4	71,6	86,8	103	121	140
0,025	3,3	7,4	13,0	20,2	29,0	39,4	51,4	64,9	80,0	96,8	115	135	156
0,030	3,6	8,0	14,2	22,1	31,6	43,0	56,1	70,9	87,4	106	126	148	171
0,035	3,9	8,6	15,2	23,8	34,1	46,4	60,5	76,5	94,2	114	135	159	184
0,040	4,1	9,2	16,3	25,4	36,5	49,4	64,5	81,6	101	122	145		
0,045	4,3	9,7	17,2	26,9	38,7	52,4	68,3	86,4	107	129			
0,050	4,6	10,2	18,1	28,2	40,6	55,1	71,9	91,0	112				
0,055	4,8	10,7	18,9	29,5	42,5	57,7	75,4	95,3					
0,060	5,0	11,1	19,7	30,8	44,3	60,2	78,7						
0,065	5,2	11,6	20,6	32,0	46,1	62,7							
0,070	5,4	12,0	21,3	33,2	47,8	65,1							
0,080	5,7	12,8	22,8	35,5	51,1								
0,090	6,0	13,6	24,1	37,6									
0,100	6,3	14,3	25,4	39,7									
0,120	6,9	15,6	27,9										
0,150	7,7	17,5											
0,200	9,0												
0,250	10,0												
t=d/ K	200s	300 s	400s	500 s	600s	700 s	800s	900 s	1000 s	1100 s	1200 s	1300 s	1400 s



*Primjer korištenja podataka iz tablice*

Za primjer proračuna duljine parcele koristit će se podaci koji su navedeni ranije:

$$I = 0,01$$

$$d_r = 0,1 \text{ m}$$

$$K = 0,0001 \text{ m/s}$$

Iz tablice 21-2 dobije se vrijednost za  $L = 52,3 \text{ m}$ . Pojednostavljenom metodom dobila se vrijednost  $L = 50 \text{ m}$ . Dakle, razlika je mala.

Ukoliko se vrijednosti  $K$  razlikuju od  $K = 0,0001 \text{ m/s}$  (tablica), tada se vrši korekcija, koja slijedi iz činjenice da su  $K$  i  $L$  obrnuto proporcionalni. Na primjer ako je  $K = 0,00004 \text{ m/s}$ , korekcija se vrši na sljedeći način :

$$L = 52,3 \cdot \frac{0,0001}{0,00004} = 131 \text{ m}$$

*Korekcije vrijednosti L pri malim padovima*

Ukoliko je pad terena manji od 2%, Crevat savjetuje da se reducira duljina parcele  $L$  za toliko postotaka koliko je pad terena, izražen u promilima, manji od 20%.

*Primjer*

Tlo ima sljedeće karakteristike :

$$k = 0,007 \text{ m/m}$$

$$d = 0,10 \text{ m}$$

$$K = 0,0001 \text{ m/s}$$

Iz tablice 21-2 dobijemo vrijednost  $L = 45 \text{ m}$ . Kako je pad ograničen s 0,020, vršimo redukciju vrijednosti  $L$  za 13% :

$$L = \frac{45 \cdot (100 - 13)}{100} = 39,15 \text{ m}$$

*Korekcije vrijednosti L zbog neravnosti površine tla*

Kako površina terena nije idealno nivelirana, pojavljuju se lokalne depresije, pukotine i slično. Jedan dio vode služi za popunu depresija. Crevat procjenjuje da srednja količina vode potrebna za takvu "popunu" iznosi  $20 \text{ l/m}^2$ , tj. dodatak je natapnoj normi  $0,02 \text{ m}$ .

U praksi se to radi tako da se smanji natapna norma s kojom se potom računa. Na primjer, ako je norma  $d = 0,10 \text{ m}$ , vrijednost s kojom se ulazi u račun jest  $d' = d - 0,02 = 0,08 \text{ m}$  ( $800 \text{ m}^3/\text{ha}$ ).

*5. Diskusija racionalne teorije Crevata*

Slično kao i kod ostalih racionalnih teorija, i za tu se teoriju mogu postaviti pitanja, kao na primjer koja je vrijednost teorije, kako se rezultati potvrđuju u

realizaciji itd. Već je Crevat naznačio da je rezultate proračuna po teoriji potrebno redovno "interpretirati", tj. korigirati vrijednosti prema rezultatima pokusa i iskustvenim podacima.

### *Osnovna teorijska načela*

Može se postaviti prigovor da je teorijsko načelo teorije nedovoljno precizno. To se odnosi na vrijednost formule  $v = n \cdot h \cdot \sqrt{I}$ , koja se temelji na Chezyevoj formuli za tok vode u otvorenim kanalima. Idući prigovor odnosi se na koeficijent hrapavosti  $n$ .

Neki autori postavili su hipotezu da brzina toka vode preko površine nije proporcionalna visini vode u mlazu vode  $h$ , već je proporcionalna s  $\sqrt{h}$ . Tako osnovna formula poprima oblik:

$$v = n' \cdot \sqrt{I} \cdot \sqrt{h} \quad (32)$$

Hrapavost  $n'$  ima, u tom obliku formule, vrijednosti 4 do 5, 2 i 1. Ako se s tim načelom izvedu potrebni izrazi za elemente natapanja i primjer proračuna, prikazan ranije, provede s novim izrazima, dobije se vrijednost duljine parcele  $L' = 80 \text{ m}$  ( $L = 50 \text{ m}$ ). To je produljenje parcele normalno jer nova hipoteza postavlja proporcionalnost brzine  $v$  s  $\sqrt{h}$ , a ne s  $h$  kao originalna teorija. To implicira sporije umanjeње brzine toka mlaza od originalne hipoteze.

Međutim, iskustvo je pokazalo da primjena originalne hipoteze Crevata ( $t = t_r$ ) daje duljine parcela koje su prihvatljivije.

### *Vrijednost uvjeta $t = t_r$*

Uvjet  $t = t_r$ , tj. da je vrijeme natapanja jednako vremenu toka vode preko parcele, postužilo je za izračunavanje duljine parcele. Može se postaviti pitanje da li se na taj način voda najbolje iskorišćuje.

U stvarnosti je to jednostavan uvjet, lako se primjenjuje, ali dovodi do gubitka vode. Gornji je (uzvodni) dio parcele više vlažen nego donji dio.

U pristupima proračunima, naročito u SAD, precizirani su uvjeti da vrijeme toka mlaza preko površine tla ne prelazi 1/4 vremena natapanja ( $t_1 = t/4$ ). To je načelo u biti već nova teorija toka vode preko površine. Primjena te hipoteze ( $t = t/4$ ) daje za naš primjer duljinu parcele  $L = 30 \text{ m}$ , što čini smanjenje od 36%.

### *6. Praktična metoda određivanja elemenata*

Diskusija racionalne teorije Crevata ukazuje da rezultate proračuna po toj teoriji treba smatrati prvim korakom u proračunu. U područjima s iskustvom u natapanju, nužno je usporediti rezultate proračuna s opaženim i iskustvenim podacima. To znači da proračune uvijek treba započeti s kratkom teorijskom studijom i potom adaptirati rezultate s iskustvenim i opaženim veličinama.

*Primjer*

Primijenimo ove postavke na obrađeni primjer:

$$i = 0,01$$

$$K = 0,0001 \text{ m/s}$$

$$d_r = 0,1 \text{ m}$$

$$m = 0,04 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dosljedna primjena teorije Crevata daje  $L = 50 \text{ m}$ , a upotreba tablice  $L = 52,3 \text{ m}$ . Smanjujemo duljinu parcele 10-30% zbog neravnosti površine i dobijemo vrijednost  $L = 40 \text{ m}$ . S raspoloživim modulom dobije se jedinična parcela  $400 \text{ m}^2$ , širine  $10 \text{ m}$ . To je preširoka parcela u odnosu na duljinu:  $b/L = 1/4$ . Poželjan je odnos  $1/6$  do  $1/12$  za lagana tla i  $1/10$  do  $1/20$  za teška tla. U našem primjeru dijelimo parcele na dvije parcele po  $5 \text{ m}$  širine, koje se istovremeno natapaju modulom. Dalje, iz praktičnih razloga smanjujemo  $L$  na  $38 \text{ m}$  pa je rezultat  $L = 38 \text{ m}$ ,  $b = 5 \text{ m}$  (odnos  $b/L$  jest između  $1/7$  i  $1/8$ ).

## 2.1.4.3. Ostali načini proračuna

## 1. Jednadžbe toka vode

Tok vode po površini u sustavima natapanja može se opisati jednadžbama Saint-Venanta. Jednadžbe opisuju tok vode preko površine tla izražavajući dva principa : održanje mase (ili jednadžba kontinuiteta) i drugi zakon Newtona (jednadžbe gibanja). Rješenja tih diferencijalnih jednadžbi mogu se naći u literaturi iz hidraulike.

Jednadžba kontinuiteta može se izraziti:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} + I_x = 0 \quad (33)$$

Jednadžba gibanja vode:

$$\frac{1}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} = S_o - S_f + \frac{I_x \cdot V}{2 \cdot g \cdot A} \quad (34)$$

gdje je:

$x$  – udaljenost (L)

$t$  – vrijeme (T)

$Q$  – protok (L<sup>3</sup>/T ili L<sup>2</sup>/T)

$A$  – površina presjeka mlaza vode (L<sup>2</sup>)

$I_x$  – infiltracija (L/T)

$g$  – gravitacija (L/T<sup>2</sup>)

$V = Q/A$ ; srednja brzina toka (L/T)

$y$  – dubina toka (L)

$S_o$  – pad dna kanala/terena

$S_f$  – pad vodnog lica

Jednadžba (33) uključuje pretpostavku da je gustina vode konstantna. Glavna je pretpostavka u rješenju izraza (34) da su tlakovi hidrostatski, da je pad dovoljno malen, tako da je cosinus kuta približno jednak jedinici te da je raspodjela brzina u profilu toka uniformna.

Pri natapanju prelijevanjem, prva je pretpostavka moguća i opravdana. I ostale su pretpostavke razumljive. Na svaki način, netočnosti prouzročene tim pretpostavkama, daleko su manje nego one zbog nepreciznih podataka o infiltraciji i hidrauličkim otporima.

Ukupni otpori toku vode određuju se empirijski, uglavnom pokusima s jednolikim tečenjem vode. Tako je učinjena pretpostavka da nejednoliko tečenje u natapanju ima jednake hidrauličke otpore kao jednoliko tečenje vode pri istoj dubini i protoku. Greške zbog toga također su mnogo manje od grešaka izazvanih prognozom otpora u jednolikom tečenju. Sve te neizvjesnosti skupljene su u koeficijentu otpora  $C_h$  u Chezyevoj formuli, definiranom u izrazu za  $S_f$  :

$$S_f = \frac{V^2}{C_h^2 \cdot R} \quad (35)$$

gdje je:

$R$  – hidraulički radius (L)

Koeficijent otpora računa se najčešće po Manningu :

$$C_h = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{1}{6}} \quad (36)$$

gdje je:

$n$  – Manningov koeficijent otpora.

Suprotno konceptu Manningove formule, u kojoj je  $n$  funkcija samo apsolutne geometrije hrapavosti, pri natapanju imamo i jaki utjecaj dubine toka.

### 2. Formule za proračun elemenata natapanja

#### Jedinični protok

Protok po jedinici širine natapne parcele  $q$  ( $m^2/s$ ) može se odrediti za neto normu natapanja po izrazu:

$$q = 0,00167 \cdot \frac{F_n \cdot L}{(T_n - T_L) \cdot E} \quad (37)$$

gdje je:

$F_n$  – norma natapanja (mm)

$L$  – duljina parcele (m)

$T_n$  – vrijeme natapanja (tok vode po površini) (min)

$T_L$  – "lag time"; vrijeme zadržavanja ili zaostajanja vode na kraju parcele nakon što je zaustavljeno dotjecanje vode

$E$  – učinkovitost primjene vode

Kako je "lag time" funkcija protoka, nije moguće izravno rješenje, osim ako pad prelazi 0,4% i "lag time" postaje neznačajan. Za pad manji od 0,4%, računa se metodom "proba-greška".

#### Vrijeme natapanja

Vrijeme natapanja određuje se po izrazu:

$$T_n = \left[ (F_n - c) / a \right]^{\frac{1}{b}} \quad (\text{min}) \quad (38)$$

gdje je:

$T_n$  – vrijeme natapanja (min)

$F_n$  – norma natapanja

$a, b, c$  – konstante za "familije krivulja" SCS metode

#### Vrijeme zaostajanja vode (lag time)

To vrijeme može se zanemariti za padove strmije od 0,4%. Za parcele s padom većim od 0,4%, "lag time" iznosi :

$$T = \frac{q^{0,2} \cdot n^{1,2}}{120 \cdot S_o^{1,6}} \quad (\text{min}) \quad (39)$$

Za parcele s padom 0,4% ili manjim, "lag time" računa se iz izraza :

$$T = \frac{q^{0,2} \cdot n^{\frac{1}{2}}}{120 \left( S_o + \frac{0,0094 \cdot n \cdot q^{0,175}}{T_n^{0,88} \cdot S_o^{0,5}} \right)} \quad (\text{min}) \quad (40)$$

Te se vrijednosti mogu odrediti i iz tablice koja se nalazi u citiranoj literaturi (3).

#### Ukupno vrijeme

Ukupno vrijeme dobije se odbijanjem vremena zaostajanja od vremena natapanja:

$$T_a = T_n \cdot T_L \quad (41)$$

### *Maksimalna duljina parcele*

Izraz za određivanje maksimalne duljine natapne parcele glasi :

$$L_{\max} = \frac{q \cdot E \cdot (T_n - T_L)}{0,00167 \cdot F_n} \quad (m) \quad (42)$$

Elementi natapanja, utvrđeni na gornji način, tj. izrazima (37 do 42), moraju ostati ispod ustanovljenih graničnih vrijednosti, koje se mogu izraziti formulama ili tabelarnim podacima.

## LITERATURA

1. Criddle, W.D., Devis, S. and Pair, C.H.: Methods for Evaluating Irrigation Systems, Agricult. Handb., 82. USDA, 1956.
2. Gereš, D.: Površinsko navodnjavanje, u: Navodnjavanje poljoprivrednih zemljišta. DGIT i DONH, Zagreb, 1986.
3. Hart, W.E., Collins, H.G., Woodward, G. and Humpherys, A.S.: Design and Operation of Gravity or Surface Systems. U: "Design and Operation of Farm Irrigation Systems" (M.E. Jensen, Ed.). Monogr. 3, ASCAE, Michigan, 1983.
4. Kos, Z.: Hidrotehničke melioracije tla, navodnjavanje. Školska knjiga, Zagreb, 1987.
5. Ollier, Ch. et Poiree, M.: Irrigation. 6 me Edition, Eyrolles, Paris, 1983.
6. USDA: Border Irrigation. CH 4, Sec. 15. Soil Conser. Serv.Nat.Eng. Handb. 1979.





## 2.NATAPANJE PRELIJEVANJEM

**Prof.dr. ZORKO KOS**

**Mr. IVICA Plišić**

Građevinski fakultet

Sveučilišta u Rijeci

### 2.2.METODE NATAPANJA PRELIJEVANJEM

#### 2.2.1.Općenito

Kao što je već ranije opisano, kod natapanja prelijevanjem, natapnom površinom protječe tanak vodeni sloj uz istovremenu infiltraciju u tlo sve dok se ne dostavi planirana natapna norma. Voda se prelijeva preko ruba brazde natapnice bilo samo na jednu ili obje strane, po čitavoj duljini ili iz otvora, već prema primijenjenoj metodi.

Da bi se postigla ravnomjernost vlaženja, tlo koje se natapa tim načinom mora imati ravnomjeran nagib. Što se tiče najmanjega i najvećeg nagiba terena na kome se ono može primijeniti, mišljenja se pojedinih autora o tome znatno razlikuju. Kod nekih je gornja vrijednost nagiba 5% (Ch.Ollier), dok drugi to ograničavaju na 15% (M.E.Jensen), a neki spominju mogućnost natapanja čak i na padinama s padom do 50% (Di Ricco). Kao najmanji pad spominje se obično 0,1 i 0,5%. Kod toga je veoma značajan sastav tla (tekstura) i vrste usjeva koje se uzgajaju. Nema nikakve sumnje da će tla fine teksture s veoma gustim i kvalitetnim sklopom krmnog bilja omogućiti primjenu natapanja na znatno većim nagibima negoli pjeskovita tla upotrijebljena za oranične usjeve. Premalen nagib bitno smanjuje debljinu vodenog mlaza koji se kreće površinom, usporava brzinu i uzrokuje neravnomjernost vlaženja tla. Dakle, pri izboru tog načina natapanja u ovisnosti od nagiba terena, treba pomno analizirati maksimalne vrijednosti u odnosu na mogućnost erozije tla, a minimalne zbog moguće veće neravnomjernosti raspodjele vode.

Većina autora knjiga iz tog područja metode natapanja prelijevanjem dijele u dvije osnovne skupine: prirodne i umjetne. Prirodne su metode one kod realizacije kojih se uglavnom ne provode radovi planiranja tla, već se mreža natapnih i (eventualno) odvodnih kanala prilagodi prirodnom padu terena koji se planira natapati. Naravno, kod ravnih tala ili pak tala s nepravilnim nagibima, ako se želi primijeniti prelijevanje, mora se pribjeći umjetnom planiranju i uređenju parcela za tu svrhu: tako su nastale različite metode "umjetnog" natapanja prelijevanjem.

### 2.2.2. Prelijevanje s prirodnih padina

Ta se metoda primjenjuje u tlima sa znatnim padom, svakako većim od 1%. Najčešće se primjenjuje za natapanje livada i krmnog bilja. Ima veći broj podvrsta koje dobivaju nazive prema karakterističnom rješenju: npr. s nepravilnim natapnim brazdama, natapanje sustavom u vidu riblje kosti, ortogonalno i drugi.

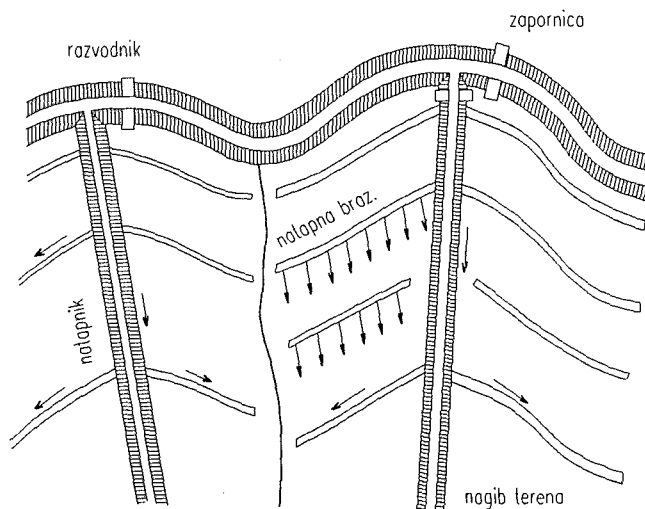
Razvodni kanal locira se obično na najvišim kotama tla kako bi dominirao cijelim poljem, uglavnom teče po slojnici s manjim padom, a može pronositi čitav ili dio modula.

Na razvodni kanal priključuju se natapnice, koje su položene u smjeru najvećeg pada, i obično na razmaku 40-80 m. Već prema površini koju natapaju i duljini toka, njihov se presjek postupno smanjuje prema nizvodnom dijelu.

#### a) Metoda s nepravilnim natapnim brazdama

Metoda s nepravilnim natapnim brazdama ili, kako se najčešće naziva, sustav po izohipsama, primjenjuje se gotovo isključivo za natapanje livada. Natapna se površina dijeli na jedinice s pomoću natapnica, a potom na male - kratke i široke - parcele pomoću brazda natapnica koje idu po izohipsama, odakle mu i naziv.

Voda se s pomoću zapornice upušta iz razvodnog kanala u natapnicu, a odavde u natapnu brazdu koja ima funkciju prelijevnog organa po čitavoj duljini. Na taj se način voda infiltrira u tlo, a eventualni višak sakupi u pomoćnu brazdu odakle teče dalje na niželežeću površinu. Dimenzioniranje pojedinih natapnih jedinica ne mora biti strogo točno provedeno, a ni definiranje modula. Bitno je da se odredi točna veličina norme natapanja u ovisnosti o veličini parcele. Kod pravilnog normiranja, gotovo da nema gubitka vode na poniranje. Višak vode prihvaćaju niže-ležeće brazde-natapnice i ponovno je razvode po polju. Dakle, metoda je jednostavna, jeftina, ekonomična i kod investicije i u pogonu.



Sl. 22-1 Natapanje prelijevanjem po slojnicama

Za adekvatan uspjeh poduhvata, nagib padine ne bi smio nikada biti ispod 1% ili još bolje 2%. Premalen pad uzrokuje neravnomjerno vlaženje - veći dio vode zadržava se neposredno nizvodno od natapne brazde pa udaljeniji dijelovi parcele ne dobivaju dovoljno vode. Čini se da je za tu metodu najpovoljnije birati padine s nagibom između 3 i 10%, ali je zabilježena uspješna primjena u planinskim predjelima (Alpe) i na padovima od 20, čak 30%.

Iz natapnica se na određenim razmacima granaju natapne brazde koje su obično krivocrtne i slijede slojnice, a širine su 20-30 cm. Preko njihova ruba voda se jednolično prelijeva i natapa svu nizvodnu površinu. Razmak između dviju susjednih natapnih brazda ovisi o sastavu i nagibu tla i varira u širokom rasponu od 5 do 40 m. Najmanji razmaci primjenjuju se na strmim i propusnim terenima, a najveći na teškim tlima blažeg nagiba. Ponekad se, kod većih razmaka, u sredini između dviju natapnih brazda ubacuje još jedna, tzv. pomoćna brazda, koja služi za prikupljanje natapne vode radi pravilne i ravnomjerne raspodjele na nizvodnom dijelu polja.

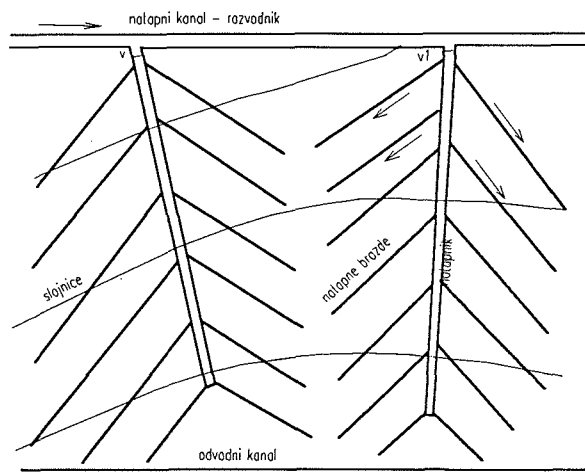
Kao što se vidi na priloženoj skici, sustav se sastoji od:

- razvodnih kanala
- natapnica
- natapnih brazda
- odvodne mreže (eventualno)

Svi su ti elementi izgrađeni u zemlji uz minimalne iskope i nasipe i veoma jeftini. Objekte - zapornice i čepove - dobro je izgraditi iz betona, odnosno čelika.

#### b) Prelijevanje sustavom oblika riblje kosti

Natapanje prelijevanjem na padini obronka ima veći broj modaliteta, pa tako i naziva, ovisno o tome da li su natapne brazde položene nepravilno, u vidu riblje kosti, ili su pak paralelne s razvodnim kanalom. U načelu tu nema nikakvih bitnih razlika: izbor ovisi o nagibu i razvedenosti terena te o mogućnosti izvedbe izvjesne količine zemljanih radova na planiranju.



Sl. 22-2 Prelijevanje u obliku riblje kosti

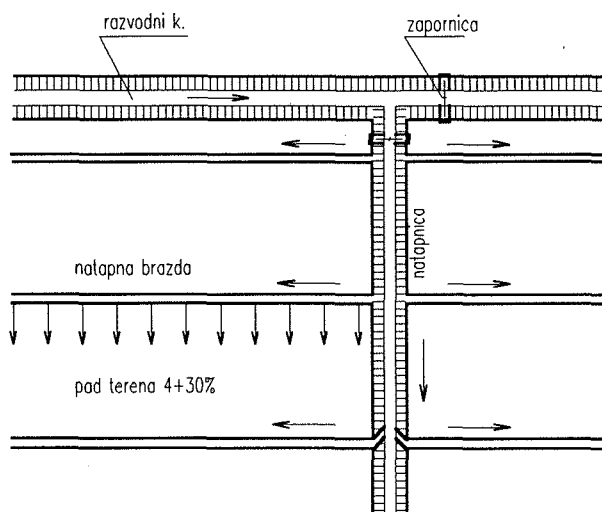
Ta je metoda nepovoljnija od prije opisane: daje nižu ravnomjernost raspodjele vode. Primjenjuje se u slučajevima kada je nagib terena manji od 1% ili kada je teško slijediti nagib terena s brazdama - natapnicama više-manje paralelnim i pravilnim. Često je primjenjuju sitni seljaci koji nemaju znanja ni sredstava da planiraju i realiziraju pravilan sustav.

Kod tog se sustava razvodni kanal ni po čemu ne razlikuje od onoga prije spomenutoga. Natapnice su također slične, samo što se u tom slučaju lociraju na grebenu padine. Brazde natapnice imaju dužinu između 10 i 20 m, a međusobni razmak može mu biti od 3-4 m pa do 20-30 m. Naprotiv, natapnice imaju najčešće međusobni razmak od 20 do 40 m.

Razvodni kanal ima obično trapezni presjek, a veličine u skladu s raspoloživom vodom količinom. Natapnice imaju konstantnu dubinu od 20-25 cm, a širinu od 30-40 cm, koja se postupno smanjuje prema kraju. Natapne brazde imaju promjenljivu dubinu i širinu od 20-25 cm na početku, dok na kraju spadnu na zanemarivu veličinu. Njihov nagib varira od 1 do 5%.

### c) Prelijevanje ortogonalnog tipa

U tu skupinu spada veći broj modaliteta kojima je svima glavna značajka da je sustav natapnica - natapna brazda okomito položen, odnosno da su parcele koje se natapaju pravokutnog oblika. Glavni su predstavnici te skupine "prelivanje ortogonalnog tipa" i "provansalske padine".

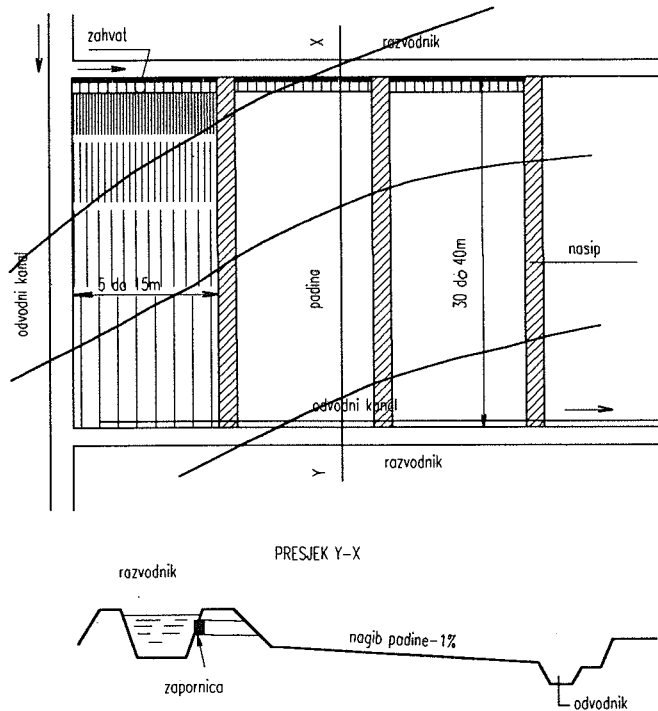


Sl. 22-3 Shema prelivanja ortogonalnog tipa

Prelivanje ortogonalnog tipa moguće je realizirati na prirodnim padinama jedino ako je teren takvoga uzdužnoga i poprečnog pada da omogućuje takav oblik parcela i raspored natapne mreže (vidi sl. 22-3). Dimenzije elemenata natapne mreže slične su kao u ostalim sustavima.

Natapanje prelivanjem provansalskog tipa ima značajke da su parcele također pravokutnog oblika, ali im je dužina znatno veća od širine (obično 2-4 puta). Parcele su odijeljene malim nasipima visine 15-tak cm, a širine u osnovi od 30-50 cm.

Primjenjuje se jako mnogo u dolini Rhone, ali i drugdje na jugu Francuske, i to ponajprije za natapanje umjetnih livada i lucerne. Princip je te metode da se izazove jedna vrsta polupotapanja, odnosno da se na najviše kote padine (uz razvodni kanal) dovede snažan mlaz vode koji potom, bez obzira na pad, teče niz padinu sve do suprotnog ruba, odnosno odvodnog kanala (vidi sliku).



Sl. 22-4 Prelijevanje provansalskog tipa ("Calant")

Ta je metoda osobito podesna za terene gdje se, uslijed slabog pada, ne bi mogla primijeniti metoda prelijevanja po izohipsama. Jeftinija je od mnogih drugih metoda i ne zahtijeva mehanizaciju pogona. Ona predstavlja neku vrstu prijelaznog oblika između natapanja potapanjem i prelijevanjem. Pogodna je za terene s padom većim od 1% i značajnije propusnosti. Nedostatak je metode što traži visoki natapni modul, ne manji od 100 l/s. Dakako, dužine parcela su to manje što je vodopropusnost tla veća, što je nagib tla manji i što je raspoloživi modul manji. Za prosječne prilike, na tlu srednje propusnosti, prosječnog pada 1,5% i uz natapni modul od 100 l/s, moguće je postići dužinu parcele od 40 m.

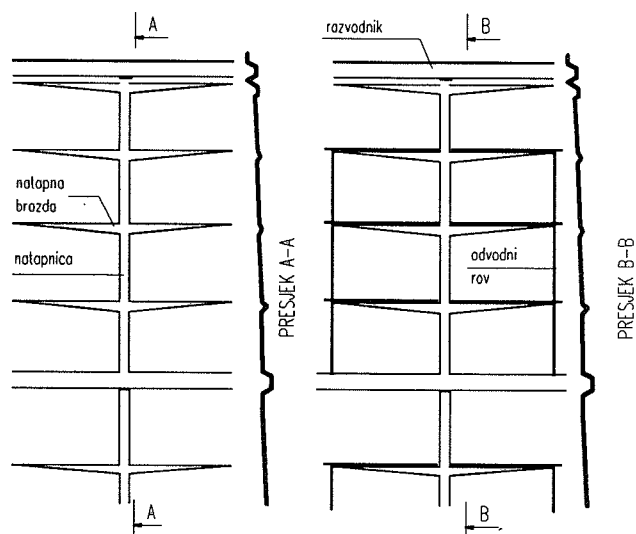
## 2.2.3. Prelijevanje s umjetnih obronaka i sedala

U poglavlju prije ovoga opisane su metode natapanja kod kojih se natapni sustav prilagođava prirodnom reljefu natapnih površina: gradi se uglavnom sama natapna i eventualno odvodna mreža. U ovom poglavlju pokazat će se metode kod kojih se također grade natapna i odvodna mreža, ali i površine se adekvatnom sistematizacijom (planiranjem) prilagode uvjetima dotičnog tipa sustava. Najčešće se intervenira da bi se nagib terena povećao i postao ravnomjeran.

## 2.2.3.1. Prelijevanje s umjetnih obronaka

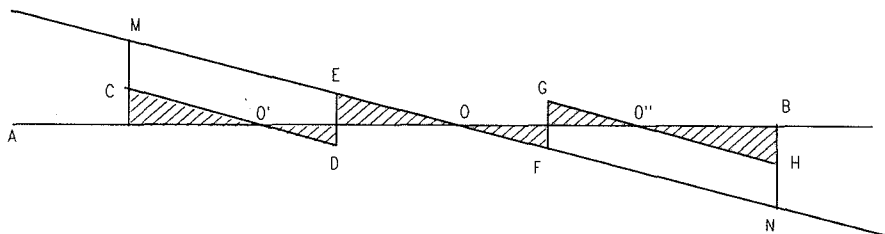
U načelu se ne razlikuje od već opisanih metoda, s izuzetkom što zahtijeva pomno snimanje i planiranje terena. Ako teren ima pravilan pad od oko 4%, bez većih odstupanja u poprečnom presjeku, ta se metoda može pokazati prilično racionalnom.

I tu natapne brazde slijede slojnice, a postavljaju se u pravilnim razmacima po padini polja. Medusobni razmak natapnica ovisi o padu tla i o propusnosti, ali općenito se kreće od 5 do 20 m, tako da se manji razmaci primjenjuju na strmijim i propusnijim tlima, a veći na teškim i manje nagnutim tlima. Ako je potrebno, u natapnu se mrežu može uklopiti i odvodna, kao što je prikazano na crtežu B. Razmak između dviju susjednih natapnica može biti nekoliko desetaka metara, ali je najčešće oko 30 m.



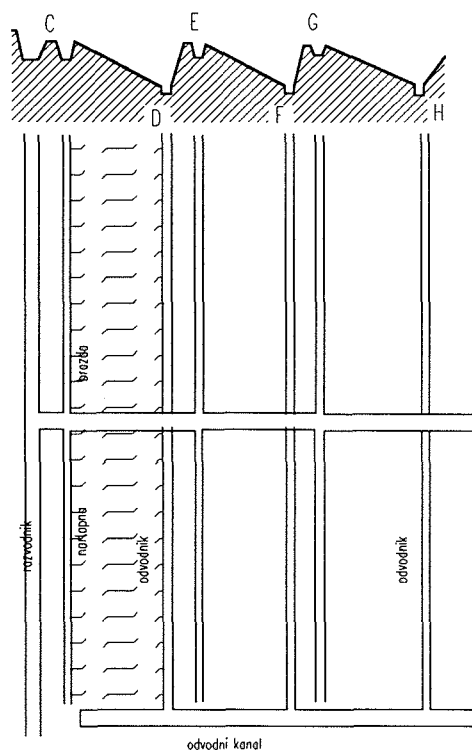
Sl. 22-5 Shema prelijevanja s umjetnog obronaka sa i bez odvodne mreže

Posebna podvrsta te metode nastaje kada se umjesto u jedinstvenoj ravnini kao u primjeru prije toga, teren planira stepenasto da se uštedi na zemljoradnjama (sl. 22-6). U tom slučaju dobivamo seriju nagnutih padina, koje imaju isti nagib kao i osnovna ravnina, samo s parcelama kraće dužine. Na taj je način moguće teren koji za tu metodu ima premalen pad (npr. 1%) prilagoditi za natapanje prelijevanjem izradom neke vrste terasa, odnosno stepenastih parcela koje će zadovoljiti zahtijevani nagib tla (npr. 4%).



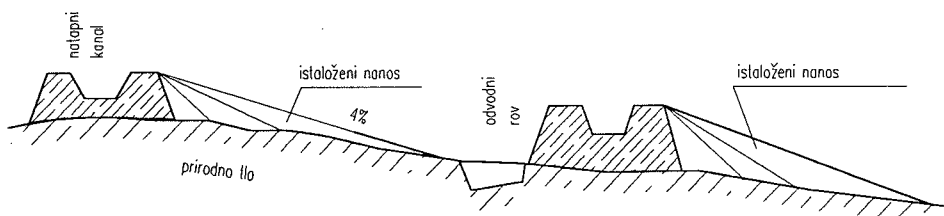
Sl. 22-6 Princip stepenaste izrade umjetnih padina

U praktičnoj primjeni, ovisno o nagibu prirodnog terena, svaka parcela (umjetna padina) ima dužinu od 5-10 m i opskrbljena je na uzvodnom rubu brazdom natapnicom, a na dnu odvodnim jarkom. Potrebne zemljoradnje provode se samo jedanput, i to tako da se izjednače iskopi i nasipi.



Sl. 22-7 Shema natapanja pomoću stepenastih umjetnih obronaka

U nekim krajevima Europe uobičajeno je da se radovi na uređenju terena za taj vid natapanja bitno smanje na taj način što se na određenim razmacima niz padinu (obično svakih 5-10 m, ovisno o nagibu) iskopa odvodni jarak, i to takvih dimenzija da se dobije dovoljno zemlje za izradu natapne brazde na nasipu. Visina nasipa mora biti takva da osigura nagib buduće terase od oko 4%. Teren se ne terasira, odnosno ne planira se u nagibu od 4%, već se prepušta da se taj nagib postigne vremenom nanosom koji natapna voda sobom nosi. Naravno, ta podvrsta pretpostavlja primjenu površinskih (riječnih) voda značajne muteži, jer se samo na taj način takav plan može realizirati u relativno kratkom roku. Na priloženoj su shemi zorno predočene faze realizacije takvog plana.



Sl. 22-8 Shema natapanja pomoću stepenastih obronaka na prirodnim padinama

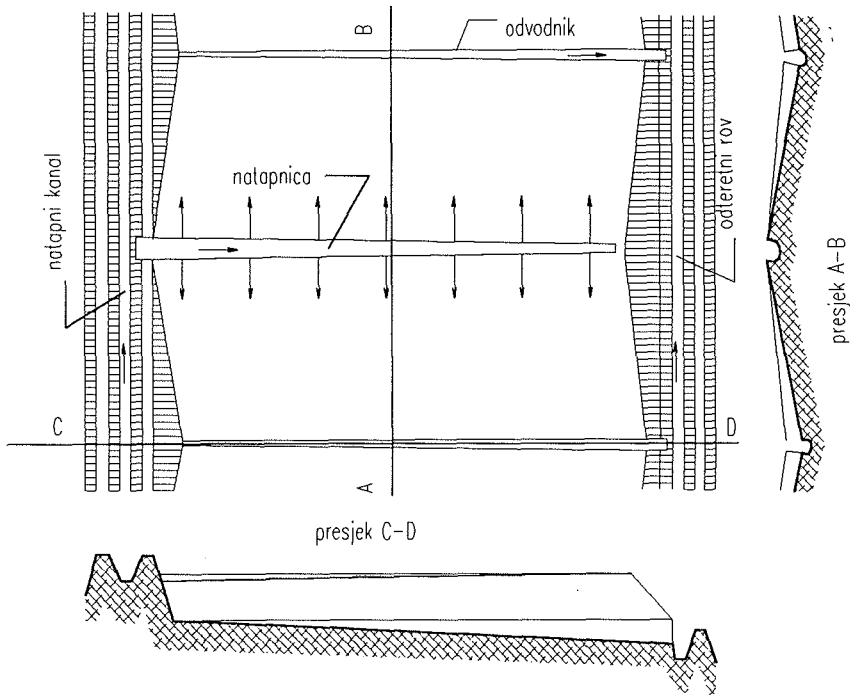
### 2.2.3.2. Prelijevanje s umjetnih sedala (krila)

Princip primjene te metode prelijevanja jeste u tome da se na tlima nagiba manjega od 2% organizira svrhovito natapanje. U tu svrhu teren se planira u vidu sedla s krilima koja imaju veći pad od prirodnog tla. Prema tome, ta je metoda veoma slična metodi umjetnog obronka. Danas se već rijetko primjenjuje jer zahtijeva velike zemljane radove i otežava rad mehanizacije.

Najčešće se planira s dva krila kao što je prikazano na sl. 22-9, ali se može izvesti samo s jednim krilom kao što je vidljivo na slici 22-10. Natapna brazda locirana je na najvišem dijelu nasipa (sljeme), te se od nje voda prelijeva ili na obje strane (krila) ili samo na jednu, ako ima samo jedno krilo. Nakon što je voda natopila površine krila, višak se sakuplja u odgovarajućem odvodnom rovu.

Ako teren u prirodnom stanju ima zanemariv pad, dobro je krilo tako planirati da os sedla ide u smjeru sjever-jug kako bi sve površine imale približno istu količinu sunčeve svjetlosti. Ako tlo ima veći nagib, sedla se mogu orijentirati ili paralelno sa slojnicama ili okomito na njih. Nagib terena najčešće ograničava dimenzije pojedinih elemenata sustava s obzirom na potrebu opsežnijih zemljanih radova da bi se tlo prilagodilo projektnim zahtjevima. Naime, teren ima obično nagib od 1-4%, a uređene površine (krila) od 4-8%.

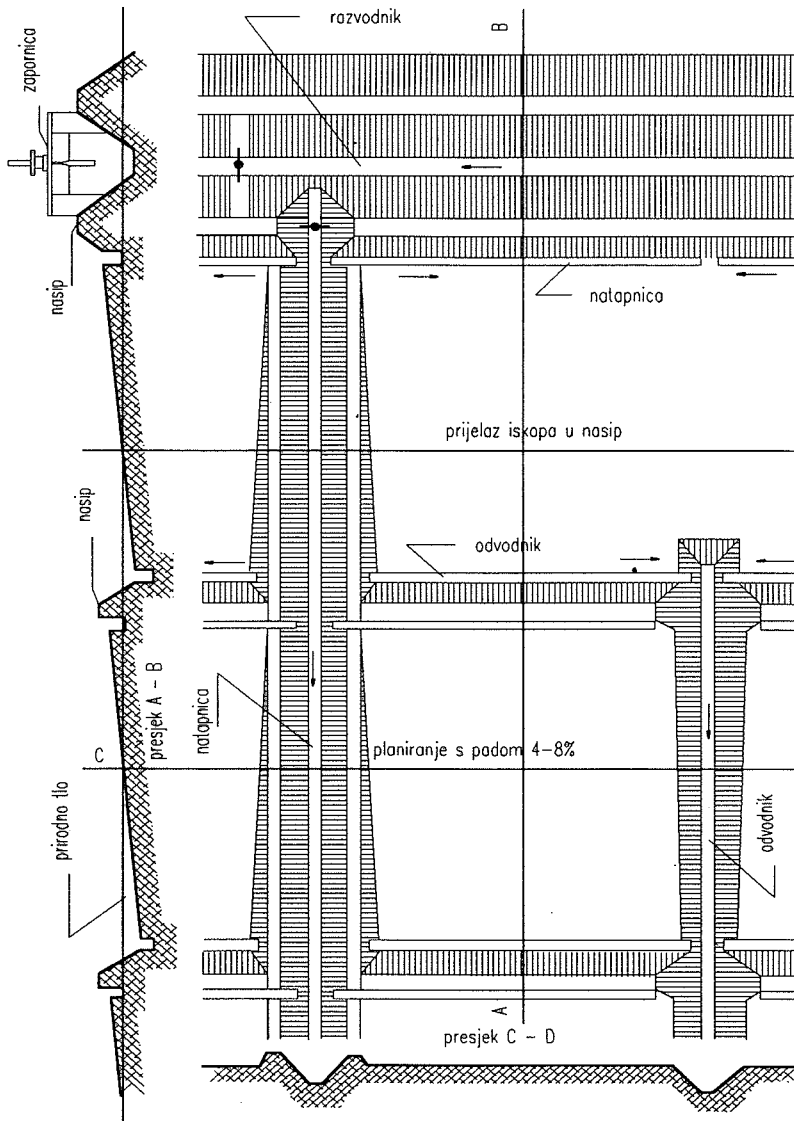




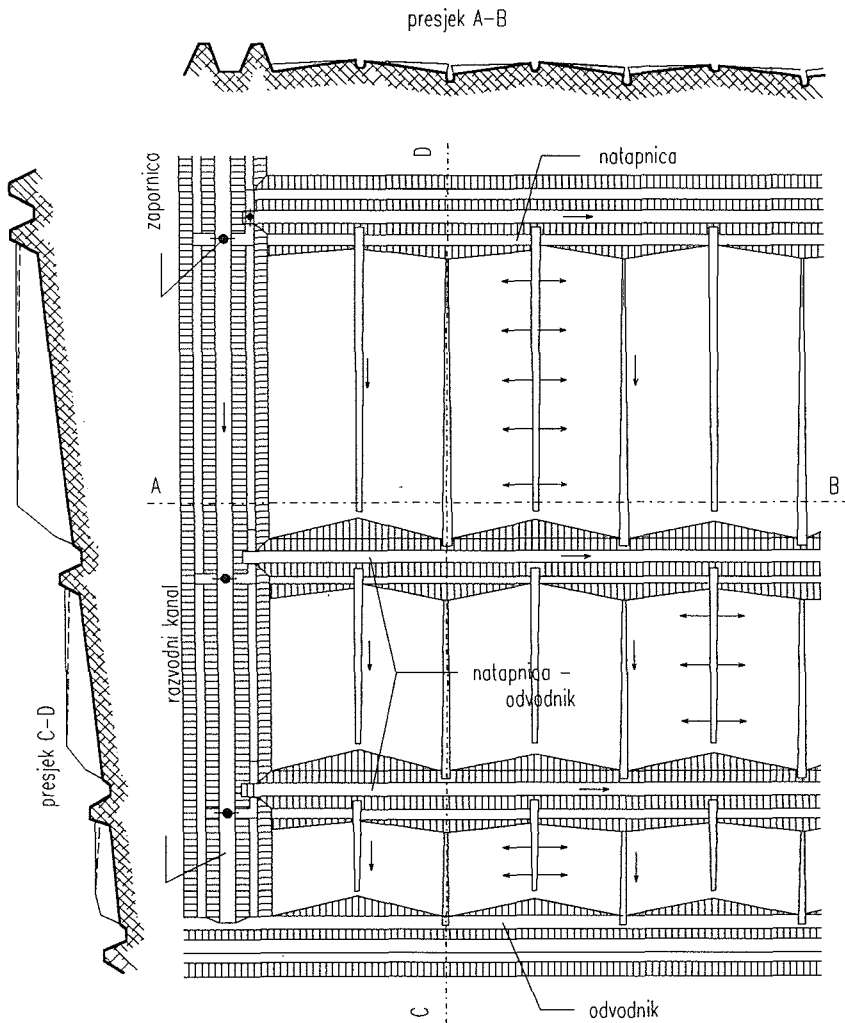
Sl. 22-9 Uređenje natapnih površina u obliku sedla

Poprečni presjek natapne brazde koja se nalazi na sljemenu stalno se smanjuje prema nizvodnom dijelu tako da na početku ima obično širinu 40-50 cm, a na kraju 15-20 cm. Dubina je na početku 15-20 cm, a na kraju spadne na nulu. Dno je obično ili horizontalno ili s malim protupadom kako bi se postigao određeni stupanj i visina prelijevanja.

Krila su relativno mala. Širina se obično kreće između 3 i 12 m, najčešće 5-8 m, a duljina je znatno veća, najčešće između 20 i 100 m, s prosjekom od oko 40 m. Pad površine krila varira između 4 i 8%.



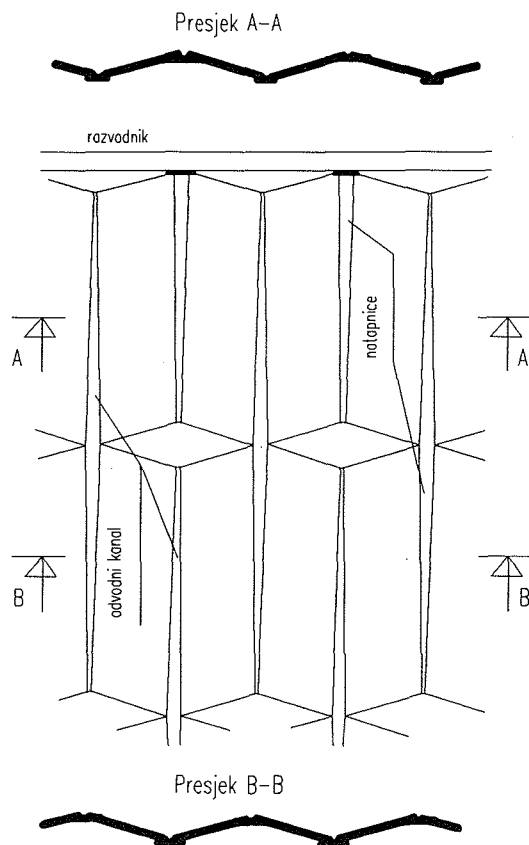
Sl. 22-10 Preljevanje s umjetnog krila



Sl. 22-11 *Primjer uređenja površina za natapanje s umjetnog sedla*

Da bi se natapna voda mogla svrhovito raspodijeliti na pojedine natapne parcele i da bi se u cijelosti iskoristile sve odlivne vode, u praksi ima više vrsta shema prelijevanja. Najčešće se primjenjuju tipovi "muško-žensko", "cik-cak" i etažno natapanje.

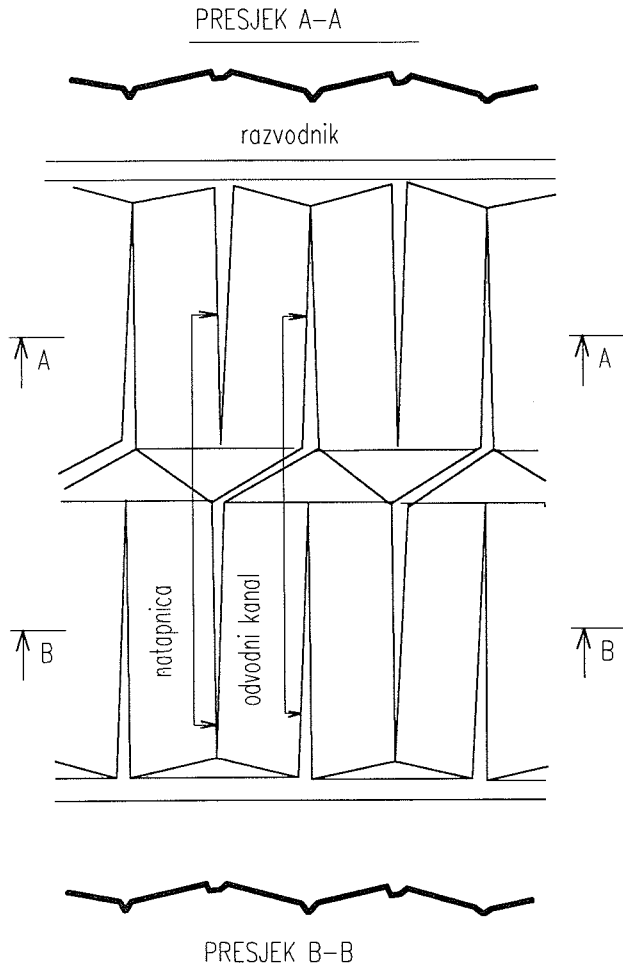
U razvodu tipa "muško-žensko", natapna voda, nakon što je natopila prvo sedlo, prikuplja se u određenom rovu koji u donjem redu djeluje kao natapna brazda. Tako se smjenjuju funkcije dovodnih i odvodnih kanala sve do najvišeg kata. Naravno, za realizaciju i svrhovito funkcioniranje tog sustava potrebni su zamašni i precizni zemljani radovi.



Sl. 22-12 *Preljevanje s umjetnog sedla, tip "muško-žensko"*

U tipu "cik-cak" odvodni jarak gornjeg kata priključuje se na natapnu brazdu donjeg kata, ali tako da se na istoj uzdužnoj osoviti nalaze ili natapni ili odvodni kanali, a ne kao u primjeru prije toga.

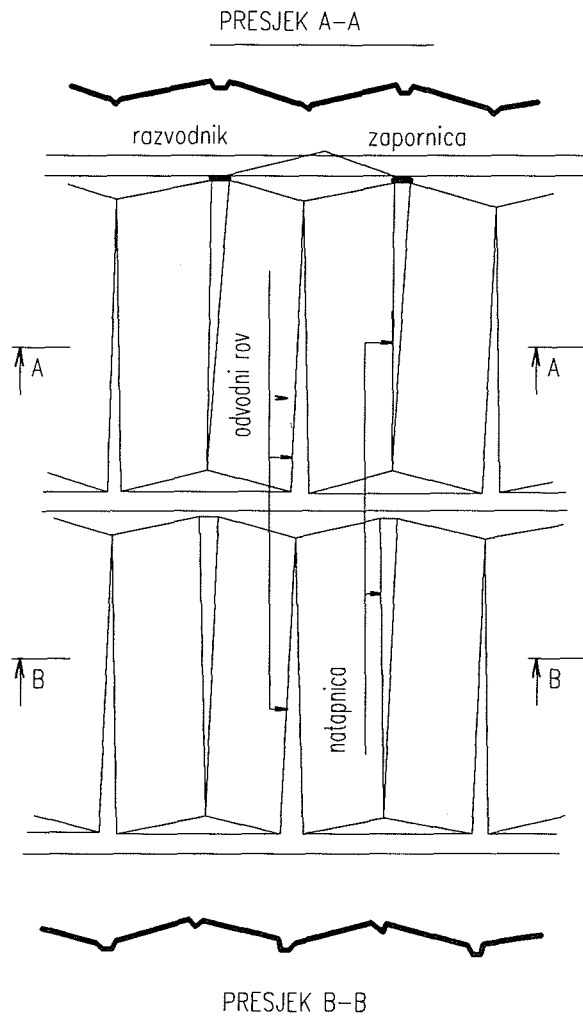
Kod etažnog prelijevanja iz umjetnog sedla višak natapne vode iza svakog "reda sedala" ponovno se prikuplja u odgovarajući odvodni kanal koji sada ima i funkciju natapnoga. U taj se kanal voda dovodi neposredno i neovisno o raspoloživoj vodi gornjeg kata iz razvodnoga natapnog kanala. Prema tome, taj tip ima stanovite prednosti u odnosu na prije spomenute tipove jer se svako sedlo i svaki kat mogu odvojeno natapati ili isključiti iz pogona jednostavnim manevriranjem s ulaznom zapornicom.



Sl. 22-13 Uređenje površina za prelijevanje, tip "cik-cak"

Etažno natapanje ima izvjesne prednosti u odnosu na ostala dva opisana zbog autonomnosti svakog reda sedala, što predstavlja značajnu prednost kod natapanja livada (marcita), jer se natapanje bilo kojeg reda sedala može obustaviti nekoliko dana prije košnje.

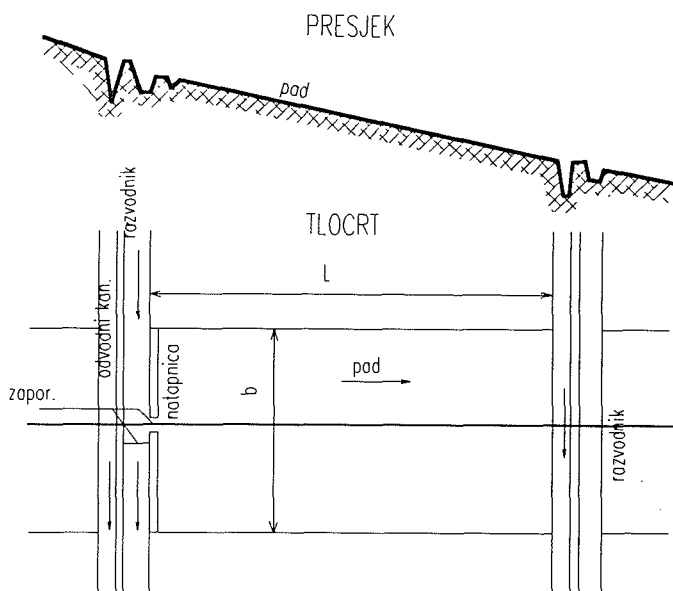
Time je ukratko opisano nekoliko tipova uređenja tla za natapanje prelijevanjem, koji se, međutim, danas sve rjeđe primjenjuju zbog potrebe za opsežnim zemljanim radovima, a i zato što u pogonu traže osjetno više radne snage negoli neki drugi. Nadalje, u praktičnoj realizaciji rijetko se susreće "čisti tip", već se natapanje projektira prema terenskim prilikama, imajući u vidu minimalne investicijske i pogonske troškove tako da postoji više međusobnih kombinacija i isprepletenosti.



Sl. 22-14 Shema etažnog prelijevanja

## 2.2.4. Prelijevanje iz otvora

Ta je metoda natapanja najviše raširena u nizinskim terenima dolina velikih rijeka jer je veoma prikladna za tla malog nagiba. Natapna se površina dijeli na veći broj natapnih parcela ravnomjernog pada, međusobno odijeljenih malim nasipima, a njome dominira natapni kanal (razvodnik), koji ide po najvišim kotama terena. Ponekad se na nizvodnom rubu parcele postavi odvodni kanal.



Sl. 22-15 Shema prelijevanja iz otvora

Razvodnik slijedi slojnice s malim padom; može biti dimenzioniran na cijeli modul ili njegov dio u ovisnosti o diobi i uređenju parcela i veličini primijenjenog modula.

Razmak između susjednih razvodnika ovisi o različitim parametrima, a naročito o nagibu terena, teksturi tla, količini raspoložive vode (modulu) i dr., ali općenito varira između 20 i 100 m, najčešće 60-90 m. Dobro je manje duljine primjenjivati za tla veće propusnosti i nagiba koji su veći ili manji od optimalnih. Inače, optimalan nagib za taj tip natapanja iznosi od 1 do 1,5%. Između dviju susjednih parcela izgrade se mali nasipi visine 10-15 cm, a širine u dnu do 50 cm (da ne smetaju mehanizaciji). Njihova je funkcija da spriječe koncentraciju vodnog mlaza na jednom mjestu. Uz optimalan nagib tla i natapni modul od 100 l/s te srednje vodopropusnosti tla, postižu se duljine parcela od oko 70 m. Širina parcela najčešće varira između 5 i 20 m. Opskrba vodom svake parcele provodi se s pomoću otvora u nasipu razvodnika koji su oprksbljeni zapornicima ili čepovima. Ispravno je da se odmah nizvodno od otvora izvede jedna brazda okomito položena na smjer toka vode, koja ima funkciju da vodu ravnomjerno raspoređuje po širini parcele (vidi sl. 22-15).

### 2.2.5.Ostali načini prelijevanja

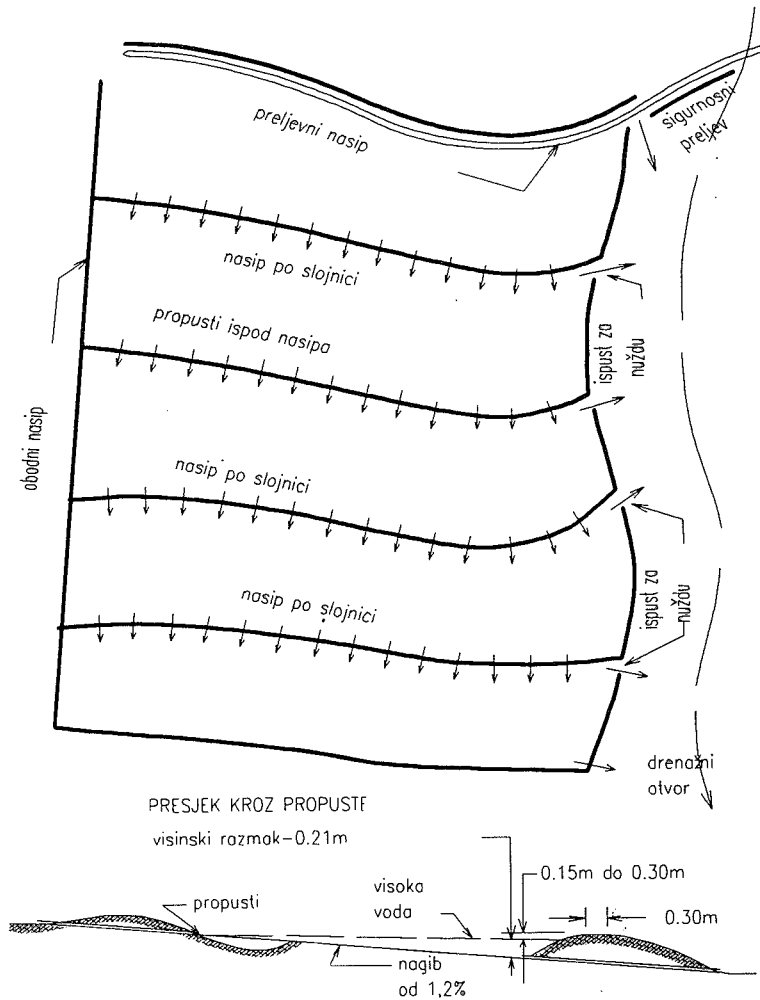
Naprijed opisane metode natapanja nazvane su prema uobičajenoj terminologiji u europskim zemljama, pretežno Italiji i Francuskoj. U SAD su se razvile metode, a primjenjuje se i terminologija koja se donekle razlikuje od ranije opisane, mada se u biti radi o istim principima. Cjelokupna se američka literatura uglavnom koristi nazivljem i prikazom metoda koje je u mnogobrojnim publikacijama i priručnicima obradilo ministarstvo poljoprivrede (USDA Soil Conservation Service), pa je samim time osiguran jedinstven pristup i tumačenje.

Tako npr. metoda poznata pod nazivom "contour ditch irrigation" (natapanje natapnicama po slojnicama) ili "wild flooding" ("divlje preplavlivanje") jest, ustvari, verzija našeg prelijevanja s prirodnog obronka ili padina. Slično je i s nazivom "border irrigation", koje najbliže odgovara našem pojmu "prelijevanje iz otvora". "Contour levee irrigation" ("natapanje s pomoću nasipa po slojnicama") jest, ustvari, prijelazni oblik između natapanja prelijevanjem i potapanjem, te se može primijeniti kako za "standardne usjeve" tako i za rižišta. Realizira se u dvije verzije: sa i bez odvodne mreže te okomitih nasipa na slojnice (tada se polje pretvara u bazen za potapanje). Po značajkama je najbliža našoj metodi natapanja iz otvora.

Metoda "water spreading" ("prelijevanje vodom"), slična je našem pojmu prelijevanje iz prirodnih padina, uz jednu bitnu razliku, a to je da se našim prelijevanjem s prirodnog obronka natapa tlo dovodom vode iz nekog izvorišta (vodotoka, akumulacija) u turnusima ili na neki drugi način, i to samo kada postoji potreba natapanja. U američkom "water spreadingu" tlo se uredi za preplavlivanje iz susjednoga prirodnog vodotoka (potoka) samo kada u tom vodotoku teče voda. Uobičajeno je da se takav sustav dimenzionira na trajanje oborine od 6 sati, i to povratnog perioda od 2 - 5 godina.

Ministarstvo poljoprivrede SAD (USDA Soil Conservation Service) ovako definira tu metodu: "To je poseban oblik površinskog natapanja koji se sastoji u skretanju velikih voda iz prirodnih vodotoka i njihovom razlijevanju na relativno nizinske površine. Derivacija i prelijevanje reguliraju se sustavom brana, nasipa i jaraka, a planirano je da zadovolji izračunatu potrebu vode kako po veličini mlaza (modulu) tako i po volumenu". Na taj se način natapaju gotovo isključivo pašnjaci. Ima više vrsta tehničkih rješenja, a jedan od njih, tzv. sustav nasipa i propusta, prikazan je na priloženoj skici.





Sl. 22-16 Shema natapanja prelijevanjem iz prirodnog vodotoka

### 2.3. RAČUNSKI PRIMJER

Računski primjeri za natapanje prelijevanjem i potapanjem izrađeni su po metodologiji Američkog ministarstva poljoprivrede (USDA, SCS), za što je u odnosnim uvodnim poglavljima dana potrebna teorijska osnova. Za detaljnija obrazloženja u tom postupku, čitalac se upućuje na odnosnu literaturu. Ovdje se daju samo pomagala (tablice, grafikoni) koji su poslužili za izradu ovih primjera.

*Računski primjer (prema američkoj metodi SCS)*

Zadano:

- familija krivulja	0,5
- neto norma ( $N_n$ )	100 mm
- nagib padine ( $I_0$ )	0,001 m/m
- Manningov koef. hrap. ( $n$ )	0,15
- procijenjena učinkovitost primjene vode ( $E$ )	70%
- max. visina toka ( $h$ )	150 mm
- dužina parcele ( $L$ )	250 m
- usjev	lucerna

Treba izračunati:

- vrijeme poniranja ( $T_p$ )
- vrijeme zakašnjenja recesije ( $T_z$ )
- jedinični natapni modul ( $Q$ )

Rješenje:

Vrijeme poniranja potrebno da bi se zadovoljile potrebe bilja za vodom, može se izračunati iz izraza za kumulativni izraz poniranja :

$$T_p = \frac{(m_n - c)^{\frac{1}{b}}}{a}$$

gdje je :

$m_n$  –neto natapna norma.

Iz tablice 23-1 o koeficijentima napredovanja mlaza imamo :

$$a = 1,196; b = 0,748; c = 7$$

Dakle, imamo:

$$T_p = \frac{(100 - 0,7)^{\frac{1}{0,748}}}{1,196} = 320 \text{ min}$$

Iz tablice 23-2 izlazi da se vrijeme zakašnjenja ( $T_z$  - od prestanka doziranja vode do početka recesije) za zadani nagib i hrapavost kreće od 7,5 do 21,4. Rješenje se dobiva pokušajem.

a) Prvi pokušaj uz  $T_z = 17 \text{ min}$

$$Q = \frac{0,00167 \cdot N_n \cdot L}{(T_p - T_z) \cdot E}$$

$$Q = \frac{0,00167 \cdot 100 \cdot 250}{(320 - 17) \cdot 70} = 0,00197 \text{ m}^2/\text{s} \text{ (po jedinici širine 1m)}$$

b) Drugi pokušaj:  $T_z = 13 \text{ min}$ .

$$Q = \frac{0,00167 \cdot N_n \cdot L}{(T_p - T_z) \cdot E}$$

$$Q = \frac{0,00167 \cdot 100 \cdot 250}{(320 - 13) \cdot 70} = 0,00194 \text{ m}^2/\text{s}$$

Kontrola :

$$T_z = \frac{n^{1,2} \cdot Q^{0,5}}{120 \cdot I_o + \frac{0,0094 \cdot n \cdot Q^{0,175^{16}}}{T_p^{0,88} \cdot I_o^{0,5}}}$$

$$T_z = \frac{0,15^{1,2} \cdot 0,00194^{0,2}}{120 \cdot 0,001 + \frac{0,0094 \cdot 0,15 \cdot 0,00194^{0,175^{16}}}{320^{0,88} \cdot 0,001^{0,5}}} = 13,1 \text{ min}$$

$$T_z \cong 13 \text{ min}$$

Prema tome, rješenje je:

- vrijeme poniranja,  $T_p = 320 \text{ min}$
- vrijeme zakašnjenja,  $T_z = 13 \text{ min}$
- jedinični natapni modul,  $Q = 0,00194 \text{ m}^2/\text{s}$

Priložen je grafikon (sl. 23-1) za rješavanje jednadžbe familije krivulja koja glasi :

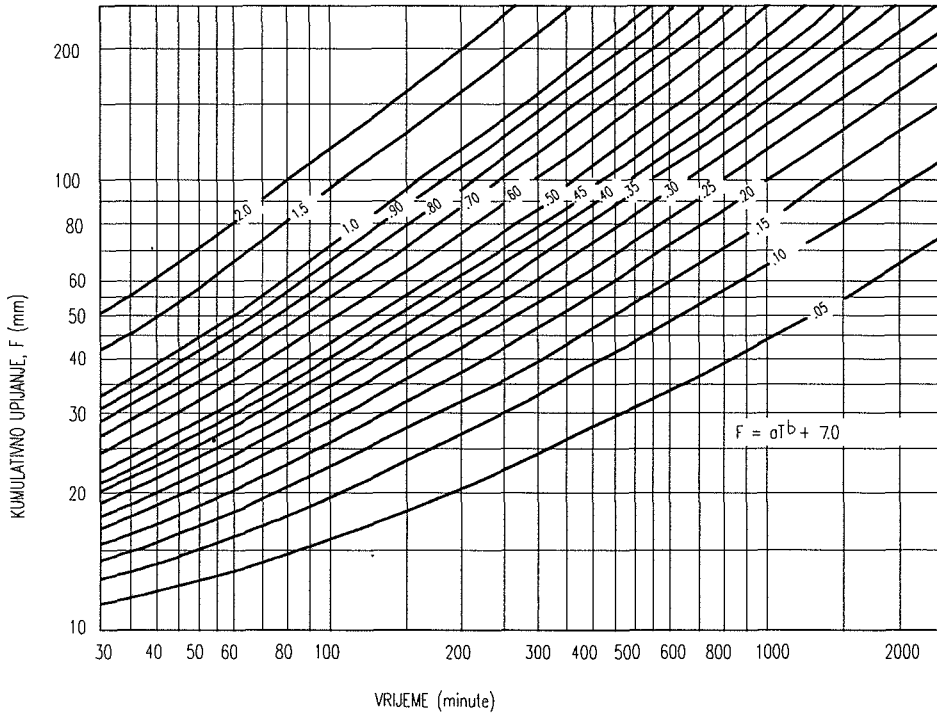
$$F = a \cdot T^b + c$$

gdje je:

$F$  – kumulativna količina upijanja tla u mm

$T$  – vrijeme u kojem je voda u kontaktu s tlom u minutama,

dok su  $a$ ,  $b$  i  $c$  konstante koje se navode u tablici 23-1. Ujedno se prilaže tablica odnosa vremena toka vode po površini  $T_z$  i neto planiranog vremena natapanja  $T_n$  prema učinkovitosti  $E$ . Kao što je vidljivo, vrijeme toka vode po površini dobiva se tako da se vrijeme poniranja (upijanja) množi s odnosom  $R$  (tablica 23-3).



Sl. 23-1 Familije krivulja upijanja (USDA, 1979.)

*Koeficijenti familije krivulja upijanja tla  
(za sve načine površinskog natapanja)*

Tablica 23-1

familija krivulja	a	b	c	f	g
0,05	0,534	0,618	7,0	7,16	$1,088 \cdot 10^{-4}$
0,10	0,6198	0,661	7,0	7,25	$1,251 \cdot 10^{-4}$
0,15	0,7110	0,683	7,0	7,34	$1,414 \cdot 10^{-4}$
0,20	0,7772	0,699	7,0	7,43	$1,577 \cdot 10^{-4}$
0,25	0,8534	0,711	7,0	7,52	$1,741 \cdot 10^{-4}$
0,30	0,9246	0,720	7,0	7,61	$1,904 \cdot 10^{-4}$
0,35	0,9957	0,729	7,0	7,70	$2,067 \cdot 10^{-4}$
0,40	1,064	0,736	7,0	7,79	$2,230 \cdot 10^{-4}$
0,45	1,130	0,742	7,0	7,88	$2,393 \cdot 10^{-4}$
0,50	1,196	0,748	7,0	7,97	$2,556 \cdot 10^{-4}$
0,60	1,321	0,757	7,0	8,15	$2,883 \cdot 10^{-4}$
0,70	1,443	0,766	7,0	8,33	$3,209 \cdot 10^{-4}$
0,80	1,560	0,773	7,0	8,50	$3,535 \cdot 10^{-4}$
0,90	1,674	0,779	7,0	8,68	$3,862 \cdot 10^{-4}$
1,00	1,786	0,785	7,0	8,86	$4,188 \cdot 10^{-4}$
1,50	2,284	0,799	7,0	9,76	$5,890 \cdot 10^{-4}$
2,00	2,753	0,808	7,0	10,65	$7,451 \cdot 10^{-4}$

*Napomena*

Kad primjenjujemo natapanje brazdama, imamo:

$$F = (a \cdot T^b + c) \cdot \frac{P}{W} \quad (mm)$$

gdje je :

$T$  - vrijeme u minutama

$P/W$  = omočeni obod / razmak brazda

$$T_t = \frac{x}{f} \cdot e^{g \cdot x / Q \cdot I^{1/2}} \quad (min)$$

gdje je :

$Q$  - dotok u brazdu

$I$  - nagib brazda

$x$  - udaljenost



*Učinkovitost (efikasnost) kao funkcija odnosa  
učinkovitosti napredovanja mlaza  $R$  ( $R = T_z/T_n$ )*

Tablica 23-3

Učinkovitost E u %	Odnos učinkovitosti napredovanja $R$ ( $R = T_z/T_n$ )	Učinkovitost E u %	Odnos učinkovitosti napredovanja $R$ ( $R = T_z/T_n$ )
95	0,16	70	1,0
90	0,28	65	1,45
85	0,40	60	1,90
80	0,58	55	2,45
75	0,80	50	3,20

## 2.4. OCJENA NATAPANJA PRELIJEVANJEM

Osnovna pitanja koja se postavljaju za ocjenu kvalitete pogona i postupka natapanja jesu: "Je li dovoljno suho da se započne s natapanjem?", odnosno: "Je li dovoljno vlažno da se prestane s natapanjem?". Nadalje, prilikom samog postupka natapanja pojavljuju se problemi jednoličnosti raspodjele vode, gubitaka na duboko poniranje i površinsko otjecanje i drugi. Pri tome je bitno, najprije da se problemi identificiraju i kvantificiraju, a potom na adekvatan način riješe.

Ocjena kvalitete pri natapanju prelijevanjem obuhvaća sljedeća motrenja i mjerenja:

1. Utvrđivanje stanja vlažnosti tla (prije natapanja).
2. Motrenje prelijevanja vode po parceli, naročito zona neravnomjerne raspodjele (previše ili premalo vode).
3. Postavljanje letava za motrenje visine vode na jednakim razmacima uzduž parcele (npr. svakih 25 m).
4. Motrenje i bilježenje vremena u kojemu voda doteče do svakog stajališta (letve), čime je određeno vrijeme napredovanja. Na jednak način treba zabilježiti vrijeme u kojemu voda ponire, nakon što je zatvoren dovod, kako bi se mogla nacrtati krivulja recesije.
5. Bilježenje vremena i mjesta čela vodnog mlaza nakon što je dovod vode obustavljen.
6. Motrenje veličine otjecanja. Trajanje otjecanja zabilježeno je pod 4.

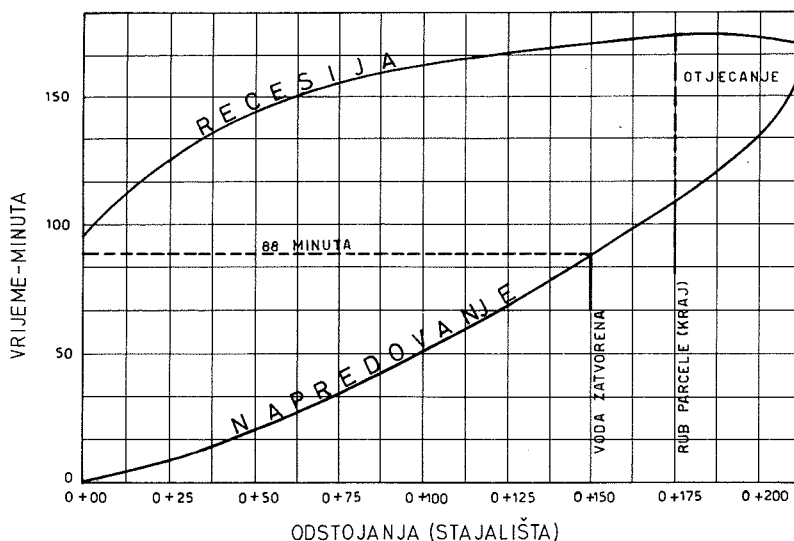
7. Kontrolno mjerenje o vlaženju po dužini parcele da bi se utvrdila jednoličnost natapanja (naročito na kraju).

Na temelju tako prikupljenih podataka, treba izraditi analizu da se utvrdi učinkovitost korištenja tla, vode i radne snage u okviru ostalih upravljačkih odluka. Uzimajući u obzir gornje navode od 1. do 7., ta se analiza u najkraćem obliku može sažeti kako slijedi:

1. Stanje vlažnosti tla utvrđuje se jednom od uobičajenih metoda, a na temelju tog nalaza slijedi natapanje.

2. Motrenja prelijevanja (toka) vode po površini pokazuju da li ima mjesta sa stagnirajućom vodom, odnosno površina koje nisu primile dovoljno vode.

3.-5. Rezultati motrenja napredovanja vodnog mlaza u ovisnosti o vremenu, a na svakome mjernom stajalištu (letvi), vidljivi su na priloženoj slici (sl.24-1). Na stajalištu 1+50.(stac. 150) dovod je vode zatvoren, a to odgovara izmjerenom vremenu tečenja od 88 minuta. Vidljivo je da je čelo vala kod zatvaranja dotoka bilo veoma blizu kraja parcele, pa je uslijedio znatan dotok u odvodni jarak (ili donji dio parcele). Iz toga se može zaključiti da je zatvaranje dotoka bilo prekasno.



Sl. 24-1 Krivulja napredovanja vala i recesije pri natapanju prelijevanjem

6. Iz grafičkog prikaza napredovanja i recesije vidljivo je da je mlaz bio relativno slab te da vrijeme proteklo između pojave čela mlaza na stajalištu 1+75 (kraj parcele) i recesije iznosi 65 minuta, pa je treba ili sakupiti u neki bazen ili odvesti odvodnim kanalom.

7. Prilikom kontrole vlaženja tla po dužini parcele, naročito je važno ustanoviti to stanje na donjem rubu parcele, gdje tlo redovito dobiva manje vode. Zato, ako nigdje drugdje, tu treba izmjeriti sadržaj vode nakon natapanja.

Nakon što su utvrđeni osnovni parametri o postignutom učinku natapanja, mogu se izračunati najznačajniji pokazatelji kvalitete natapanja, a to su:

a) Ravnomjernost raspodjele (RR), što se definira kao odnos između najmanje i srednje količine vode infiltrirane (dodane) na parceli (uzduž toka vode). Visoka



vrijednost te veličine znači da su krivulja napredovanja mlaza i krivulja recesije bile uglavnom paralelne.

b) Potencijalna efikasnost natapnog sustava (*PE*) jest odnos deficita vlage tla prema srednjoj količini dodane vode. Taj parametar ustvari prikazuje kako natapni sustav može funkcionirati pod zadanim uvjetima.

c) Stvarna efikasnost (*SE*) jest pokazatelj koji opisuje koliko je dodane količine vode natapanjem ostalo u tlu i raspoloživo bilju na mjestu najmanje dodane količine. To je ustvari pokazatelj u kojoj je mjeri sustav dobro primijenjen.

## LITERATURA

1. Cancellara, E.: Irrigazione Aziendale e Collettiva, REDA, Roma, 1958.
2. Constatinidis, C.: Bonifica ed Irrigazione, Edagricole, Bologna, 1970.
3. Di Ricco, G.: Le Irrigazioni dei Terreni, Edizioni Agricole, Bologna, 1970.
4. Izraelsen, I.: Praktične osnove navodnjavanja, "Građevinska knjiga", Beograd, 1956.
5. Jensen, M.E.: Design and Operation of Farm Irrigation Systems, ASAE, 1981.
6. Kos, Z.: Hidrotehničke melioracije tla, II dio, Navodnjavanje, Školska knjiga, Zagreb, 1987.
7. Poiree, M. - Ollier, Ch.: Irrigation, Eyrolles, Paris, 1957.
8. Ollier, Ch. - Poiree, M.: Irrigation, 5<sup>o</sup> Edition, Eyrolles, Paris, 1981.
9. Trisoldi, A.: L'Irrigazione, Edizioni Agricole, Bologna, 1965.

### 3. NATAPANJE POTAPANJEM

**DRAGUTIN GERESŠ, dipl.inž.građ.**

Javno vodoprivredno poduzeće  
"Hrvatska vodoprivreda", Zagreb

#### 3.1. OSNOVE I PRIMJENA NATAPANJA POTAPANJEM

##### 3.1.1. Uvod

Natapanje je potapanjem metoda površinskog natapanja pri kojem se kontrolirana količina vode aplicira na natapne površine, općenito u kraćem vremenskom razdoblju. Površine mogu biti bilo kojeg oblika i omeđene su kontrolnim malim nasipima. Temeljna razlika natapanja potapanjem i ostalih tradicionalnih načina površinskog natapanja jest u tome što se voda infiltrira u tlo nakon što se natapna polja prekriju slojem vode. To je uglavnom statički proces, za razliku od dinamičkog procesa pri natapanju prelijevanjem ili brazdama. Dimenzioniranje sustava natapanja potapanjem ovisi o modulu natapanja i karakteristikama infiltracije tla. Veliki natapni moduli i/ili niska infiltracija omogućuju velike natapne površine, na kojima je tada moguća učinkovita upotreba strojeva. Taj se način natapanja općenito može primjenjivati za sve biljke.

Natapanje je potapanjem uobičajena metoda navodnjavanja koja se primjenjuje u cijelom svijetu. Historijski gledano, pretpostavlja se da je to bio i prvi primijenjeni način natapanja uopće. Razlikuju se dvije skupine tog načina: prirodno i umjetno potapanje. Natapanje je potapanjem posebno pogodno za uzgoj riže (Israelsen, 1955., Kos, 1987.).

##### 3.1.2. Prednosti i nedostaci natapanja potapanjem

Natapna voda, kod tog načina natapanja, dodaje se ujednačeno i s velikim stupnjem učinkovitosti. Visoka učinkovitost postiže se iz razloga što nema otjecanja vode s natapnog polja. Također se postiže visoki stupanj ujednačenosti raspodjele natapne vode. Duboko je poniranje vode minimalno pri ispravnom planiranju i

održavanju tog načina natapanja. To smanjuje mogućnost podizanja razine podzemne vode i minimizira potrebe za odvodnjom polja. Hraniva, topiva u vodi, lako se dodaju izravno u vodu prije upuštanja u polje. Precizna aplikacija vode održava hraniva u zoni korijena biljke, čime se smanjuje opasnost onečišćenja podzemne vode.

Da bi se postigla visoka učinkovitost i ravnomjernost raspodjele vode, potrebno je natapnu vodu dodati za cijelo natapno polje što je brže moguće, tako da je trajanje infiltracije vode u tlu podjednako za cijelo polje. Različite vrste tala unutar natapnog polja mogu izazvati probleme u distribuciji vode.

Kod natapanja potapanjem mogu se upotrijebiti veći natapni moduli, čime se reducira vrijeme natapanja. Ta mjera smanjuje potrebu za radnom snagom za pogon. Pri korištenju većih modula potrebno je obratiti pažnju na zaštitu od erozije.

Nužno je ravnanje površine tla ako se želi postići ujednačena raspodjela vode. Danas je relativno lako postići veliku preciznost u ravnanju pomoću raspoložive opreme. Veličina ravnjanja ograničena je debljinom aktivnog sloja tla kao i troškovima ravnjanja. Troškovi pripreme polja za taj način natapanja ovise o veličini polja i topografiji terena. Sa stajališta natapanja, veličina natapnog polja ovisi o natapnom modulu i infiltracijskim karakteristikama tla. Veći modul omogućuje i veće polje. Međutim, veće natapno polje može zahtijevati veće zemljane radove pri ravnanju (ukoliko površina nije relativno ravna). Iz toga slijedi da je topografija terena odlučujuća za ograničenje veličine natapnog polja.

Automatska kontrola može se primijeniti za taj način natapanja. Voda se dozira volumenski, pa je potrebno nekoliko upusta koji rade u položaju "otvoreno" ili "zatvoreno".

Natapni modul mora biti ispravno utvrđen. Taj je zahtjev posebno izražen kod natapanja potapanjem iz razloga što bi primjena prevelikog modula dovela do prekomjernog zadržavanja vode u natapnom polju. Time bi trpjeli usjevi. Suprotno, potcijenjena veličina modula izaziva nedovoljno vlaženje tla.

Tim načinom natapanja postoji mogućnost eventualnog ispiranja soli. Voda pokriva cijelu površinu polja jednoliko te je ispiranje učinkovito.

Biljke koje se uzgajaju uz natapanje potapanjem moraju podnijeti potapanje do 12 sati. Sustav je potapanja primjenjiv za tla srednje do male brzine upijanja vode. Mali nasipi, kanali i objekti zahtijevaju stalno održavanje.

#### 3.1.3. Primjena natapanja potapanjem

Većina kulturnog bilja može se uzgajati primjenom natapanja potapanjem. Naročito se primjenjuje za natapanje lucerne i ostalih mahunarki, trave - livada, riže itd., a zatim za usjeve koji se siju u redovima i koji mogu podnijeti potapanje kroz izvjesno vrijeme: šećerna repa, kukuruz, pamuk, kao i drugi usjevi ako se siju u redovima na hrptu brazde. Taj je način natapanja prikladan za natapanje voćnjaka, vinograda i jagoda. Natapanje potapanjem primjenjuje se u velikoj mjeri za uzgoj riže. Potapanje je najprikladnije za tla srednje do male brzine upijanja vode (50 ili manje mm/sat). Pri primjeni na tlima visoke do srednje brzine upijanja vode, natapna polja moraju biti vrlo mala.

Tla srednje do fine teksture, s kapacitetom skladištenja vode jednakim ili većim od 100 mm/m te ukupnim kapacitetom u zoni korijena biljke najmanje 60 mm, prikladne su za taj način natapanja.

Potapanje se primjenjuje na površinama s malim padom, najbolje do 0,5 ‰, maksimum do 2 ‰. Valovit teren kao i stepenasti, mogu se ravnanjem pripremiti za taj način natapanja (Gereš, 1986.).

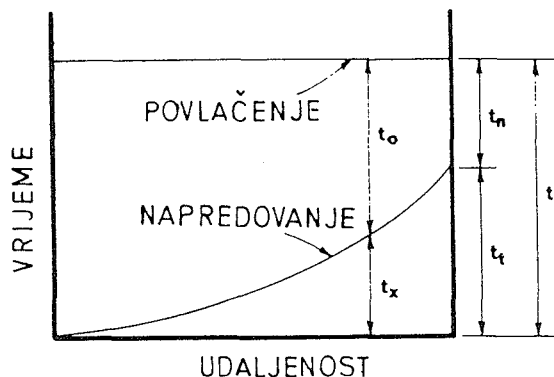
### 3.1.4. Osnove proračuna

#### 3.1.4.1. Uvod

U sustavu natapanja potapanjem voda se prvo kreće preko polja, a zatim sloj vode pokriva natapno polje. Ukupan protok modula odabire se u takvoj veličini da voda relativno brzo pokrije polje. Veći dio količine vode infiltrira se u tlo za vrijeme statičkog razdoblja plavljenja polja.

Dimenzioniranje sustava natapanja potapanjem uključuje određivanje dimenzija natapnih polja na takav način da se postigne tražena ujednačena raspodjela vode s odgovarajućim natapnim modulom, odnosno visinom vode u natapnom polju. Taj uvjet traži da se postigne ravnoteža između upijanja vode u tlo, raspoloživog dotoka vode i veličine natapnog polja. Uočava se tendencija u proračunima da se koristi velikim dotokom vode, ali iza određenih ograničavajućih uvjeta, povećanje dotoka ne povećava uniformnost raspodjele vode i ne omogućuje dulja polja.

Količina je upijene vode u tlo veća kada struja vode dođe do kraja polja i dovod vode se nastavlja da bi se postigao određeni nivo vode u polju. Recesija ili povlačenje vode jest vrijeme u kojemu se ukupno dodana voda u natapno polje upije u tlo. Pri potapanju pretpostavlja se da se upijanje vode događa u isto vrijeme u cijelom natapnom polju.

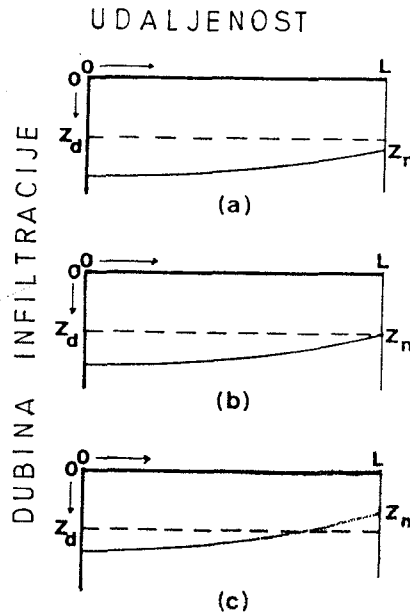


Sl. 31-1 Krivulja napredovanja i recesije vode kod natapanja potapanjem

Primjer krivulja napredovanja i povlačenja vode prikazuje se na slici 31-1. Vrijeme punjenja polja je  $t_f$ , vrijeme recesije  $t_r$ , razlika između vremena  $t_r$  i  $t_f$  jest vrijeme za infiltraciju na kraju polja,  $t_n$ .

Stupanj ujednačenosti raspodjele vode,  $DU$  jest odnos dubine infiltrirane vode  $Z_n$  na krajunatapnog polja i visine vode u polju  $Z_g$ . Učinkovitost primjene vode  $E_a$  definira se kao odnos srednje dubine infiltrirane vode u zoni korijena i visine vode u polju  $Z_n$  (Citirano po Hillel, 1982.). Različite situacije odnosa  $E_a$  i  $DU$  prikazane su na slici 31-2, gdje oznaka  $Z_d$  znači deficit vlage. Primjer a) pokazuje da je dodano previše vode, primjer b) pokazuje stanje ravnoteže, tj. da je postignuta dubina infiltrirane vode jednaka zahtijevanoj, a primjer c) pokazuje da je dio polja nedovoljno natapan. Uspoređujući učinkovitost  $E_a$  i raspodjelu vode  $DU$  može se označiti za primjere na slici 31-2:

- a) previše dodane vode:  $Z_n > Z_d$ ,  $DU = Z_n/Z_g$ ,  $E_a = Z_u/Z_g$ ,  $DU > E_a$
- b) ispravna količina vode:  $Z_n = Z_d$ ,  $DU = E_a = Z_n/Z_g$
- c) nedovoljno vode:  $Z_n < Z_d$ ,  $DU = Z_n/Z_g$ ,  $DU < E_a < Z_d/Z_g$



Sl. 31-2 Profili infiltrirane vode u tlu

3.1.4.2. *Upijanje vode (infiltracija)*

Infiltracijske karakteristike tla mogu se prikazati funkcijama (BASSET ETAL., 1983.):

$$I = k \cdot \tau^a \text{ (za ukupnu količinu vode)} \quad (1)$$

$$i = a \cdot k \cdot \tau^{a-1} \text{ (brzina infiltracije)} \quad (2)$$

gdje je:

$I$  – kumulativna infiltracija

$\tau$  – vrijeme trajanja infiltracije

$k$  – konstanta tla

$a$  – eksponent (0,10 - 0,80)

$i$  – infiltracija u vremenu  $\tau$  ili brzina infiltracije

Ujednačenost raspodjele vode u polju  $DU$  može se funkcionalno opisati kao:

$$DU = f(g, t, L, n, I) \quad (3)$$

gdje je:

$g$  – dotok vode po jedinici širine

$t$  – vrijeme punjenja polja vodom

$L$  – dužina polja

$n$  – koeficijent otpora po Manningu

$I$  – infiltracijske karakteristike tla

3.1.4.3. *Otpori pri gibanju vode*

Pri proračunu natapanja potapanjem primjenjuje se Manningov izraz:

$$v = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (4)$$

gdje je:

$v$  – brzina tečenja (m/s)

$n$  – koeficijent hrapavosti

$R$  – hidraulički radius (m)

$I$  – pad (‰)

Koeficijent hrapavosti  $n$ , izražava otpor tečenja vode zbog različitih hidrauličkih rubnih uvjeta, uvjeta na površini tla, načina obrade tla i utjecaja raznih kultura koje se gaje. Soil Conservation Service, SCS (USDA, 1974.) preporučio je vrijednosti koeficijenta  $n$  za razne uvjete:

$n = 0,04$  za ravno i golo tlo i za usjeve koji se gaje u redovima

$n = 0,10$  za redne kulture ukoliko su redovi u smjeru tečenja vode

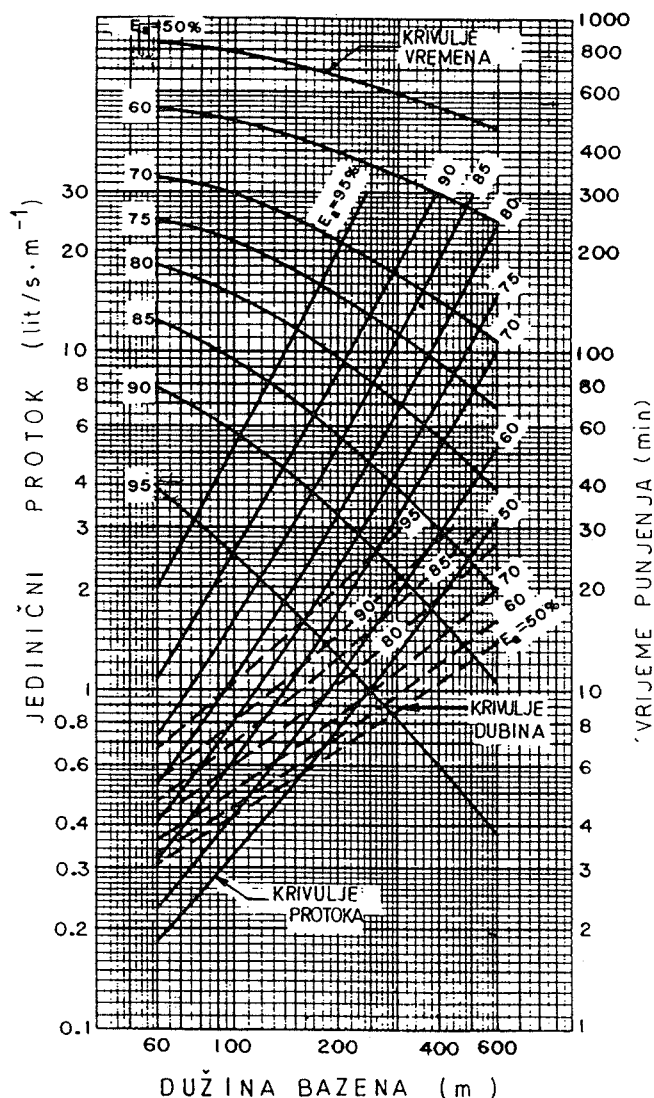
$n = 0,15$  za lucernu i slično

$n = 0,25$  za gusti sklop kultura i redove koji su okomiti na smjer tečenja

vode

## 3.1.4.4. SCS postupak

U SCS priručniku (USDA, 1974.) prikazana je serija grafikona za proračun elemenata natapanja potapanjem. Obradeni su elementi sustava: dotok vode, dužina polja i vrijeme punjenja polja vodom u funkciji učinkovitosti i  $DU$ . Grafikoni su obradeni za veličine koeficijenta hrapavosti  $n = 0,04; 0,15$  i  $0,25$ , zatim za niz infiltracijskih karakteristika tla, označenih kao "familije krivulja" (0,1 do 4,0) i za neto visinu vode dodane u polje. Primjer grafikona za  $n = 0,15$ , infiltracijsku "familiju" = 0,5 i za  $Z_n = 7,6$  cm pokazuje slika 31-3.



Sl. 31-3 SCS grafikon za određivanje elemenata sustava natapanja potapanjem



## LITERATURA

1. Bassett, D.L., Fangmeier, D.D., Strelkoff, T.: Hydraulics of Surface Irrigation. U: "Design and Operation of Farm Irrigation Systems" (M. E. Jensen, Ed.), Monogr. 3, ASCAE, Michigan, 1983.
2. Gereš, D.: Površinsko navodnjavanje. Seminar DGIT-DONH, 60 str., Zagreb, 1986.
3. Hillel, D.: Advances in Irrigation, Vol. 1 (Ed.). Academic Press, New York, 1982.
4. Israelsen, O.W.: Irrigation Principles and Practices. Wiley, New York - London, 1955.
5. Kos, Z.: Hidrotehničke melioracije tla, navodnjavanje. Školska knjiga, Zagreb, 1987.
6. USDA: Border Irrigation. National Eng. Handbook, USDA, Washington, D.C., 1974.



### 3. NATAPANJE POTAPANJEM

**Prof.dr. ZORKO KOS**

Građevinski fakultet  
Sveučilišta u Rijeci

#### 3.2. POTREBA ZA VODOM PRI NATAPANJU POTAPANJEM

##### 3.2.1. Općenito

U točkama ispred ove spomenuto je da se natapanje potapanjem može, u osnovi, primijeniti gotovo kod svih poljoprivrednih usjeva, dakako, vodeći pri tome računa da vrijeme potapanja bude kraće od dozvoljenog trajanja za pojedine usjeve, koje najčešće varira od nekoliko sati pa do jednog dana (najčešće je oko 12 sati). Prema tome, određena norma vode dostavlja se poljima u turnusima (obično 8-15 dana), a tlo je upije u vremenu koje je proporcionalno veličini infiltracije. Kod toga, zbog specifične fiziologije ishrane, najosjetljivije su leguminoze, pa o tome treba voditi računa.

Iako klasični način natapanja rižinih polja pretpostavlja trajno potapanje tla slojem vode koji ovisi o fazi uzrasta bilja, treba napomenuti da se još uvijek danas susreću na svijetu najrazličitiji načini uzgoja te žitarice koji se mogu svrstati u sljedeće:

- a) bez ikakvog natapanja
- b) natapanje prelijevanjem
- c) potapanje s prekidima
- d) trajno potapanje

a) Uzgoj riže bez ikakvog natapanja susreće se u nekim planinskim područjima, pretežno u Aziji. Odsutnost je natapanja samo u izuzetnim slučajevima rezultat dovoljne opskrbe vodom polja prirodnim putem. Takav je način uobičajen i u nekim nizinskim područjima srednje Azije. Primjerice na brdovitom dijelu otoka Jave s obilnim kišama, uobičajen je uzgoj riže na parcelama bez ikakvog uređenja (planiranje, nasipi), a istovremeno postoje dobro uređeni bazeni za potapanje koji se opskrbljuju vodom isključivo putem oborina.

b) U područjima gdje nema dovoljno vode za potapanje prakticira se i natapanje prelijevanjem. Polje se natapa slojem vode koji teče dok se ne dostavi određena norma, i taj se postupak ponavlja svakih nekoliko dana.

c) Potapanje s prekidima prakticira se u većem broju zemalja. Najčešće se primjenjuje metoda naizmjeničnog punjenja i pražnjenja, i to bilo u jednakim razmacima (npr. pet dana pod vodom, a pet dana prazno) ili još češće s periodima

potapanja koji su duži od perioda kada su bazeni prazni. Razloga za takav postupak ima više, ali najčešći su ušteda vode i sanitarne prilike (npr. borba protiv malarije i nekih drugih bolesti). Što se utroška vode tiče, u literaturi se najčešće spominje količina od oko 10.000 m<sup>3</sup> po hektaru za čitavu vegetacijsku sezonu, koja traje oko 150 dana. Treba, međutim, naglasiti da se na mnogim poljima troše bitno veće količine, koje ponekad premašuju i 50.000 m<sup>3</sup>/ha. U tim slučajevima najveći gubici otpadaju na duboko poniranje, pa prilikom izbora rižišta treba voditi računa o problemu infiltracije.

d) Trajno je potapanje metoda koja se najčešće primjenjuje, pa će ona u nastavku biti detaljnije obrađena. Ovdje treba naglasiti da u marginalnim krajevima uzgoja te kulture, potapanje može imati i funkciju modificiranja mikroklima, a time omogućavanja njena uzgoja i u tim krajevima.

#### 3.2.2. Proračuni potrebe za vodom

Kao što je već ranije spomenuto, preduvjet je za natapanje potapanjem adekvatna priprema natapnih polja. Svaka parcela na polju mora biti opskrbljena rubnim nasipima, a nagib tla ovisan o veličini parcele. Nasipi su obično visoki između 40 i 50 cm, dok je dubina vode u bazenima između 10 i 30-40 cm, ovisno o uzrastu biljaka. Nagib terena mora biti što manji, obično ne veći od 2 ‰. Kod vrlo malih bazena kakvi se često susreću na poljima sjeverne Afrike, taj pad može biti i znatno veći. Tlo ne smije biti visoke propusnosti, izuzev kod vrlo malih bazena.

Voda u polje dotječe na jednom ili više mjesta, i to u vremenu jednakom 70-80% vremena potrebnome za poniranje u tlo. Tom se metodom može postići visoka učinkovitost natapanja, a pogon se može prilično jednostavno i automatizirati. Ako se planiranje pomno izvede tako da nagib bude jako malen, natapna polja mogu biti površine čak do 15 ha. Gubici zbog poniranja i otjecanja mogu se svesti na minimum.

U pogonu natapanja razlikujemo tri tipična slučaja:

- a) dovod vode obustavlja se čim se doznači propisana količina,
- b) dovod vode na natapne površine nastavlja se i nakon što se postigne određena razina u natapnim bazenima, i to takvim intenzitetom da se namire tekući gubici kako bi se razina vode održala konstantnom,
- c) u određenim prilikama i pod određenim uvjetima prijeko je potrebno u bazenima osigurati zamjenu, odnosno protočnost vode, za što treba osigurati dopunske količine.

Za vrijeme punjenja bazena pojavljuju se gubici od isparavanja i poniranja, što treba imati u vidu. Isparavanje sa slobodne vodne površine u uvjetima našeg klimata u prosjeku iznosi oko 5 mm dnevno (u vegetacijskom razdoblju), ali u pojedinim mjestima i danima može dostići i do 10 mm, što iznosi od 50 do 100 m<sup>3</sup> dnevno po ha. Veličinu isparavanja treba odrediti mjerenjima s pomoću isparitelja ili je pak, u nedostatku opažanja, izračunati na osnovi Daltonova zakona. Infiltracija može varirati u širokim granicama, ovisno o vrsti tla i brzini poniranja  $k$ . Prema gruboj procjeni, obično je oko 100 puta veća od isparavanja s obrađenih površina. Određuje se mjerenjima pomoću infiltrometra, i to u uvjetima natapanja, a izražava u m/s.

Pri utvrđivanju pojedinih elemenata proračuna koristit ćemo se sljedećim oznakama:

- $A$  – površina natapnog bazena,  $m^2$   
 $h$  – dubina vode u bazenu,  $m$   
 $m$  – norma (volumen) natapanja,  $m^3$   
 $Q$  – natapni modul, odnosno kapacitet dovoda,  $m^3/s$   
 $T_p$  – vrijeme punjenja (potapanja) polja,  $s$   
 $T_o$  – vrijeme održavanja potapanja,  $s$   
 $T_z$  – vrijeme zamjene (interval),  $s$   
 $k$  – koeficijent propusnosti tla,  $m/s$   
 $E$  – isparavanje s vodne površine,  $m/s$

Na temelju navedenoga, očigledno će za potapanje (punjenje) bazena slojem vode  $h$  biti potrebno:

$$V_k = A \cdot h - \text{korisni volumen}$$

Za podmirenje gubitaka na duboko poniranje:

$$V_p = k \cdot A \cdot T_p,$$

a za gubitak na isparavanje sa slobodne vodne površine:

$$V_e = E \cdot A \cdot T_p,$$

odnosno za punjenje bazena i podmirenje gubitaka na poniranje i isparavanje ukupna količina:

$$m_1 = V_k + V_p + V_e = A \cdot h + k \cdot A \cdot T_p + E \cdot A \cdot T_p$$

$$m_1 = A \cdot h + T_p (k + E) \quad (m^3)$$

iz čega slijedi da će ukupan protok modula (kanala) za fazu potapanja biti:

$$Q_1 = \frac{m_1}{T_p} = \frac{A [h + T_p (k + E)]}{T_p} \quad (m^3/s)$$

Prema tome, izraz za  $Q_1$  udovoljava uvjetu pod a), tj. osigurava dovod propisane količine vode na natapno polje. Ako sada želimo neprekidno održavati konstantnom dostignutu razinu vode u bazenu, prijeko je potrebno doznačivati u neprekinutom trajanju takav protok koji će kompenzirati gubitke zbog poniranja i isparavanja. Dakle, za tu drugu fazu natapanja morat će se osigurati volumen vode:

$$m_2 = A \cdot (k + E) T_o \quad (m^3)$$

odnosno natapni će modul iznositi:

$$Q_2 = A \cdot (k + E) \quad (m^3/s)$$

$$Q_2 = \frac{m_2}{T_0} = A \cdot (k + E) \quad (m^3/s)$$

Na taj način udovoljava se uvjetu pod b), odnosno podmiruju se potrebe na poniranje i isparavanje te održava konstantna razina vode u polju.

Zamjena vode u natapnim poljima - bazenima, odnosno udovoljavanje uvjetu pod c), može se obaviti tako da se sva voda zamijeni odjednom ili da se mijenja postupno. Način zamjene ovisi o više činilaca, naročito o raspoloživoj količini vode te o stanju i uvjetima okoline, posebno o temperaturi vode u bazenima i intenzitetu oksidacije i redukcije.

Ako vodu želimo mijenjati postupno, moramo poznavati ciklus zamjene, odnosno vrijeme  $T_z$  u kojemu će se čitava količina vode obnoviti, pa možemo pisati:

$$m_3 = A \cdot h, \text{ odnosno } Q_3 = \frac{m_3}{T_z} = \frac{A \cdot h}{T_z} \quad (m^3/s)$$

a ako se u cijeloj vegetacijskoj sezoni voda mijenja  $n$  puta, onda će za to vrijeme potreban protok za tu namjenu biti:

$$M'_3 = A \cdot h \cdot n$$

odnosno :

$$Q'_3 = \frac{A \cdot h \cdot n}{T_z} \quad (m^3/s)$$

Prema tome, količina vode potrebna za kontinuiranu opskrbu polja u toku čitavoga vegetacijskog ciklusa, uzimajući u obzir da je polje prije toga potopljeno, odnosno da je prva faza gotova, iznositi će:

$$m_4 = A \cdot (k + E) \cdot T_0 + A \cdot h \cdot n \quad (m^3),$$

odnosno:

$$Q_4 = A \cdot \left[ (k + E) + \frac{h \cdot n}{T_z} \right] \quad (m^3/s)$$

### 3.3. METODE NATAPANJA POTAPANJEM

Općenito uzevši, bez obzira na metodu natapanja koja se primjenjuje i vrste usjeva koji se uzgajaju, neka su opća pravila kojih se treba držati jedinstvena za sve slučajeve.

Teorijski, na početku punjenja bazena imamo najveći dotok vode i najveći gubitak na poniranje. Za bilo koje stanje punjenja, dubina vode raste direktno, a poniranje indirektno proporcionalno jediničnom dotoku vode (dotok vode po jedinici širine parcele). Prema tome, ako raspolažemo s ograničenom količinom vode, onda se duboko poniranje može smanjiti jedino smanjenjem dužine parcele (bazena).

Gubitke vode na duboko poniranje treba minimizirati odgovarajućim tehničkim rješenjima i pravilima pogona. To je u prvom redu nužno u područjima s nedostatnim količinama vode, jer se često najveće količine vode gube poniranjem, ali i zbog stvaranja teških problema odvodnje (drenaže). Da bi se to izbjeglo, učinkovitost natapanja ne bi trebala biti manja od 80%. To se može postići ako vrijeme potrebno za potapanje parcele nije veće od 60% vremena poniranja. Vrijednost do 70% može se dozvoliti samo ako je tlo odlično drenirano. Ako je odvodnja loša, ako su usjevi osjetljivi na potapanje ili manjka natapne vode, zahtijevanu učinkovitost natapanja treba povisiti na 90%.

Prema načinu realizacije projekata, natapanje potapanjem možemo podijeliti u dvije osnovne skupine: prirodno i umjetno.

#### 3.3.1. Prirodno natapanje potapanjem

Prirodno natapanje potapanjem sastoji se u skretanju voda prirodnoga vodnog toka na natapno područje. Obično na tim poljima nije izgrađena odgovarajuća dovodna i razvodna natapna mreža, već, po potrebi, poljodjelac sam intervenira ako je potrebno. Jedino treba osigurati odvodnju nakon dozirane norme ili pojave iznenadnih jačih kiša.

Tom se metodom najčešće natapaju rižišta, ali i livade i drugi usjevi. U Egiptu se natapanje potapanjem prakticiralo od davnine, i to prelijevanjem voda rijeke Nila. U novije doba ta je metoda bitno izmijenjena i unaprijeđena. Prirodno potapanje ima i tu prednost što pored opskrbe vodom usjeva donosi na obrađene površine velike količine hranjivog nanosa (kolmacija), što u pojedinim slučajevima zadovoljava potrebe kulturnog bilja za cijelu vegetaciju (primjer doline rijeke Nila). Ovdje treba naglasiti da se potapanje riječnim vodama - kolmacija - kao jedna od metoda odvodnje bitno razlikuje od potapanja - natapanja, ali je po načinu realizacije veoma slična. Odvodnja je kolmacijom prije stotinjak godina realizirana u dolini Neretve, ali se proces nije dovršio te je u novije doba napuštena. Kako taj aspekt potapanja ne spada u okvir ove knjige, neće se dalje obrađivati.

## 3.3.2. Umjetno natapanje potapanjem

Ta se metoda sastoji u skretanju odgovarajuće količine vode na za to pripremljene i zasijane parcele (bazene). Ona u njima stagnira sve dok se ne utroši na isparavanje i poniranje ili se, pak, stalno dodaje izvjesna količina tako da je razina vode u bazenima konstantna (rižišta). Zahtijeva značajne tehničke pripreme i izgradnju odgovarajućeg sustava s više specifičnih građevina.

Površina planirana za natapanje dijeli se u manje parcele omeđene niskim nasipima koje se najčešće nazivaju bazeni (za potapanje). Površina koju može imati takav bazen ovisi o nagibu tla, vodopropusnosti tla i o protoku natapnog kanala (modul). Prosječna je dubina vode u bazenima oko 0,25 m, a obično varira između 0,10 m na najvišim kotama tla do 0,40 m na najnižima. Dakako, dubina vode ovisi i o fazi razvoja bilja (visini biljke). Prema tome, ako sada razmatramo ovisnosti dužine parcele o padu terena, onda možemo postaviti odnos da je:

$$L = \frac{\Delta h}{I_u}$$

gdje je :

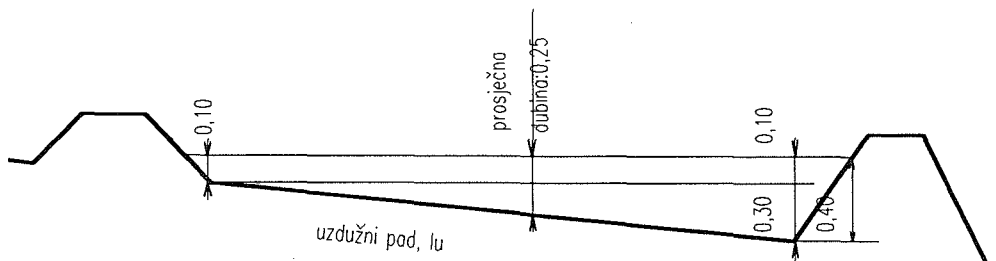
$\Delta h$  - razlika između najveće i najmanje dubine vode u bazenu

$I_u$  - prosječan pad doline (uzdužni)

$L$  - dužina parcele, tj. razmak između nasipa položenih okomito na smjer toka vode

Na primjer, ako je najveća dubina vode 0,40 m, a najmanja 0,10 m, onda je  $\Delta h = 0,30$  m i ako je  $I_u = 0,001$ , onda će biti:

$$L = \frac{0,30}{0,001} = 300 \text{ m}$$

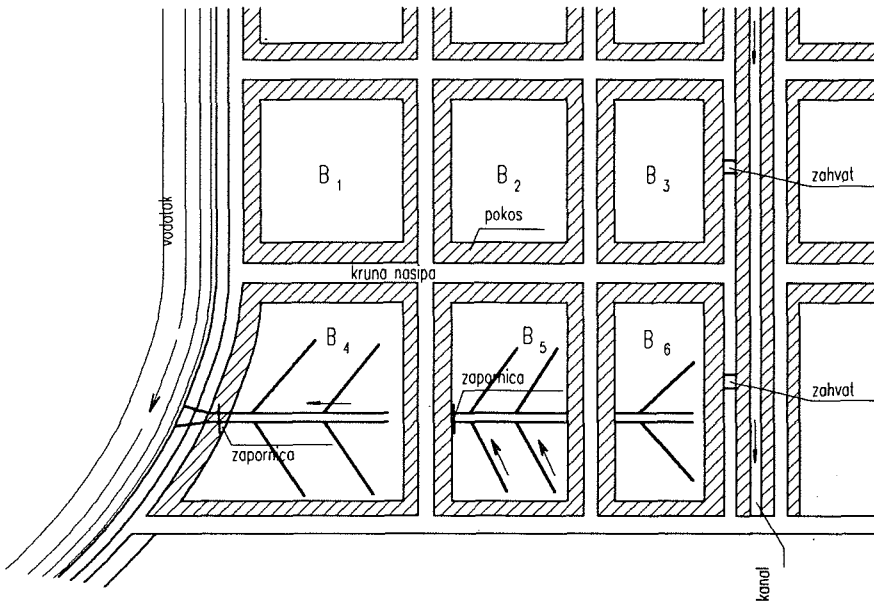


Sl. 33-1 Presjek bazena za potapanje



Što se tiče uzdužnih nasipa, tj. paralelnih s tokom vode, njihov se razmak određuje ovisno o poprečnom padu doline  $I_p$ , pa će kao u prije opisanom primjeru biti  $= \Delta h / I_p$ . Ako za primjer uzmemo da je poprečni pad  $I_p = 0,0005$ , onda će njihov razmak biti 600 m, dakle moći ćemo u takvoj dolini graditi bazene najvećih dimenzija od 300 x 600 m, odnosno od po 18 ha. Treba međutim naglasiti da se danas još uvijek najveći broj rižinih polja sastoji od relativno malih bazena za potapanje obično od svega nekoliko ari pa do 10-20 ari. U nekim dijelovima sjeverne Afrike na pješčanim tlima, za uzgoj povrća i krmnog bilja uobičajena je primjena bazena minijaturnih dimenzija od svega 2-4 m<sup>2</sup>.

Za praktičnu primjenu najpovoljnije je da su bazeni kvadratnog oblika, ali se u praksi vrlo često susreću najrazličitiji (nepravilni) oblici. Visina je nasipa najčešće 0,50 m, tako da je nadvišenje iznad normalnog vodostaja 0,20 - 0,30 m, radi mogućeg oštećenja uslijed valova. Dakako, kod jako malih jedinica to nadvišenje može biti bitno manje. Nasipi su u kruni obično široki 30-50 cm (služe kao staze), a nagib pokosa iznosi 1:1 (45°). Obično služe kao travnjaci tako da nema nikakvog gubitka na površini.



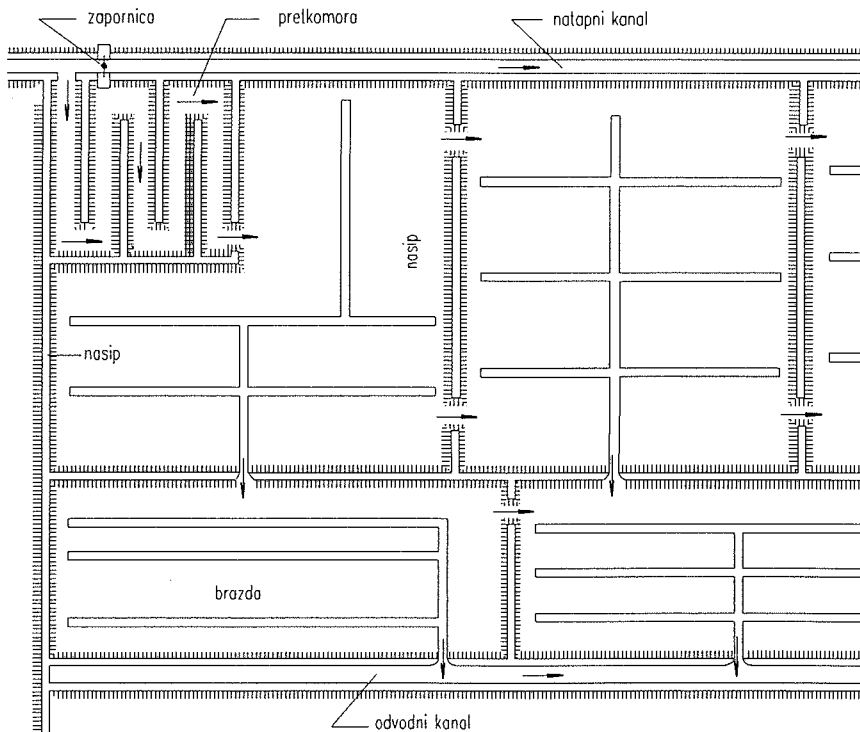
Sl. 33-2 *Primjer bazena za potapanje*

Bazeni se mogu neposredno puniti vodom iz natapnog kanala ili se pak (što je najčešće) voda prelijeva iz jednog bazena u drugi. U tom slučaju, da bi se bazeni (pogotovo oni niže položeni) što brže punili oprksbljuju se razvodnom mrežom u vidu riblje kosti. Ta mreža služi kasnije i za odvodnju (pražnjenje). Dakako, radi omogućavanja dotoka vode iz jednog bazena u drugi, u nasipima su ugrađeni otvori opskrbljeni zapornicama.

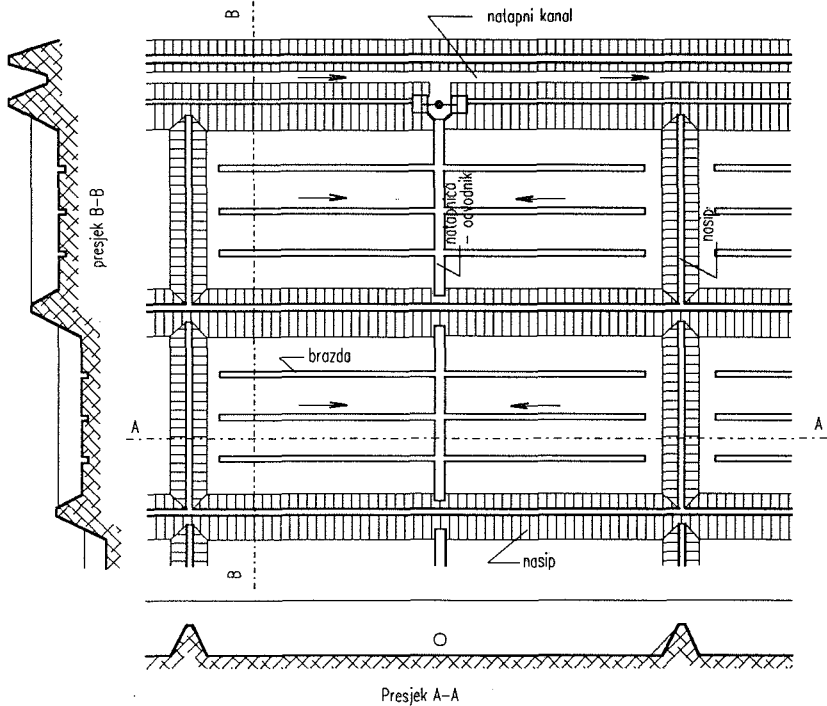
*Još neke upute za planiranje bazena*

a) Nagib tla

Kao što je već navedeno, veličina je parcele ovisna o nagibu. Nagib je potreban i radi bržeg pražnjenja pojedinog polja. Obično se uzima (ako se planira) od 1 do 2 ‰. Ako prirodni nagib tla dopušta, obično se planira u obliku sedla (s hrptom u sredini) ili se primjenjuje neki drugi način uređenja, koji omogućuje dobar dovod i odvod vode. Već je ranije spomenuto da je najveća dubina vode u bazenu obično 0,40 m. Veće dubine otežale bi rast usjeva, a i radovi na uređenju tla (posebno nasipi) bili bi skuplji. U nekim zemljama svijeta (Daleki Istok, npr.), za tu se namjenu uređuju i brežuljkasta tla, i to tako da se bazeni za potapanje formiraju na terasama, pa je visinska razlika između susjednih polja ponekad i značajna.



*Sl. 33-3 Tipičan primjer bazena za rižišta u Padskoj dolini (Piemonte); pravokutnog su presjeka i međusobno povezani, s pretkomorom za zagrijavanje vode*



Sl. 33-4 *Primjer uređenja rižišta za terene s većim padom (sjeverna Italija)*

b) Utjecaj vjetra

Ako je polje za potapanje većih dimenzija, vjetar može prouzročiti značajno gibanje vodene mase u obliku valova, što zahtijeva nadvišenje obodnih nasipa za visinu vala. Vjetar može također štetno djelovati na stabilnost biljaka i nasipa.

c) Modul

O veličini natapnog modula ovisi veličina površine koja se njime može natapati. S jednim natapnim modulom može se natapati ili samo jedan bazen ili grupa bazena, što ovisi o njihovoj površini. Voda najčešće dotječe u prvi bazen po redu, a iz njega otječe u drugi, treći i tako redom, ali ako su površine veće, može se svaki bazen neposredno opskrbljivati iz natapnog kanala.

#### 3.4. PRAKTIČNI PRIMJERI

Računa se da se danas u svijetu natapa potapanjem oko 80 mil. ha, od čega daleko najveći dio otpada na rižišta. Nema nikakve sumnje da se najveće površine natapane tim načinom nalaze u Aziji, i to u Kini, Indiji i susjednim zemljama. Nama najbliža, pa prema tome najinteresantnija rižišta, nalaze se u sjevernoj Italiji, Makedoniji i Bugarskoj.

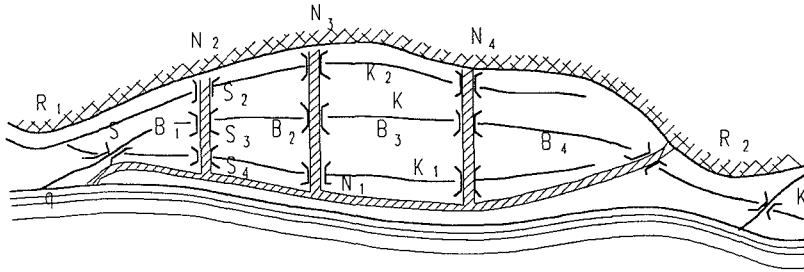
Natapanje je potapanjem u Egiptu značajno iz više razloga: nalazi se u prostranoj dolini s minimalnim padom u oba smjera, a tradicija potapanja traje nekoliko milenija. Tu ima veliki broj bazena od 200 do 1000 ha, ali i primjeraka od nekoliko tisuća - sve do oko 15000 ha. Osnova strategije korištenja blagodatima voda rijeke Nila za razvoj poljoprivrede kroz proteklih nekoliko milenija sastoji se u tome da se polja potapaju u vrijeme visokih voda, a voda se na tlu zadržava tako dugo dok se ne zasiti debeli sloj tla koji potom osigurava opskrbu usjevima za duže razdoblje. Sjetva se obavlja nakon povlačenja (ispuštanja) vode u rijeku.

Danas se natapanje potapanjem u dolini Nila provodi planski i organizirano uz pomoć veoma složenoga natapnog sustava, koji se sastoji od velikog broja najrazličitijih građevina: nasipa, derivacija, zahvata vode, sifona, regulatora razine vode, itd. Zahvat vode provodi se u doba visokih vodostaja rijeke, što je obično u kolovozu, pa se uglavnom natapaju jesenski i zimski usjevi (žitarice, grahorice, krmno bilje i sl.). Tu se natapanjem unosi na obrađene površine i veća količina hranjiva koja rijeka ispire u svom slivu, što još više pridonosi uspjehu gospodarenja. Dakako, takvo natapanje ne može zadovoljiti potrebu bilja za vodom za čitavu vegetacijsku sezonu, pa je nužno da se u proljeće i ljeti dopuni drugim načinima. Zato se za ostali dio sezone upotrebljavaju vode Nila iz tekućeg dotoka (pomoću natapnih kanala) ili se pak crpi podzemna voda i razvodi kanalima na natapne površine. Na taj posljednji način natapaju se velike plantaže pamuka i šećerne trske (ljetni usjevi), koje čine najveće bogatstvo Egipta. U tom slučaju ne može se primijeniti potapanje, što znači da površine moraju biti pripremljene za primjenu drugih načina natapanja.

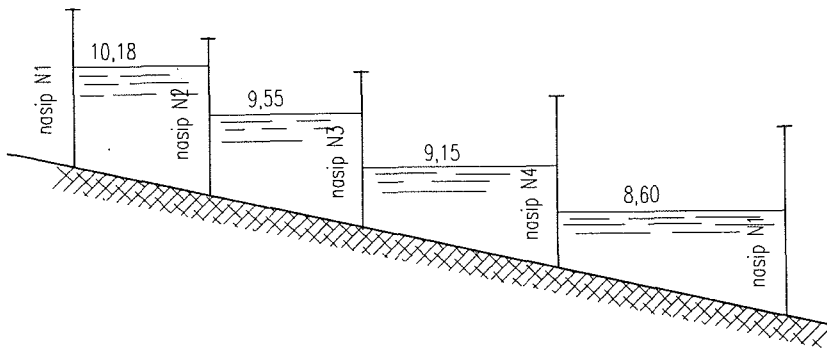
##### 3.4.1. Primjer potapanja u Egiptu

Kada se govori o natapanju, posebno kroz stoljeća i milenije, onda je Egipt, bez sumnje, zemlja koja se najviše citira. U dolini Nila pošlo je za rukom organizirati ne samo svrhovito natapanje velikih površina plodnoga tla, već postići i druge značajne blagodati od adekvatnog uređenja i gospodarenja vodama (gnojidba riječnim nanosom, promjene mikroklimе i dr.). Da bi čitalac stekao predodžbu o tim zahvatima, u nastavku će se ukratko prikazati jedan tipičan sustav bazena za potapanje kakvih u Egiptu ima mnogo. Princip se pogona kroz stoljeća nije mijenjao, ali se zato usavršavao natapni i odvodni sustav te je danas postao složeni mehanizam koji se sastoji od velikog skupa najrazličitijih hidrotehničkih uređaja i građevina.

Na slici 34-1 dane su osnovne konture i prikazani glavni elementi takvog sustava. U dijelu doline između rijeke i okolnog brežuljka nalazi se površina od nekih 10-tak tisuća hektara. Ukupna dužina poteza od rta  $R_1$  do  $R_2$  iznosi oko 30 km, a širina u sredini polja 4-5 km. Opći uzdužni pad doline jest  $I=0,00009$ , a u poprečnom smjeru pada prema brežuljku.



Presjek po osovini bazena



Sl. 34-1 Tipičan sustav za potapanje u dolini Nila

Glavna uzdužna građevina, obrambeni nasip rijeke Nila, proteže se po cijeloj dužini i štiti natapno područje od svih velikih voda (nadvišenje oko 1,0 m). Poprečni nasipi  $N_2$ ,  $N_3$  i  $N_4$  dijele dolinu u četiri bazena označenih s  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$  i  $B_4$ , koji primaju vodu za potapanje pomoću sustava kanala. Glavni natapni kanal sa zahvatom u rijeci uzvodno od rta  $R_1$  dijeli se u polju na dva kanala  $K_1$  i  $K_2$  i natapa povišene dijelove uz rijeku i uz rub doline. Drugi natapni kanal, označen s  $K$ , ima zahvat na početku tog sustava, nižu razinu vode, protječe najnižim dijelovima doline, puni donje dijelove bazena  $B_1$  i  $B_2$ , te na kraju tog sustava postaje glavni natapni kanal za idući sustav.

Svi su kanali na presjeku poprečnog nasipa opskrbljeni sifonima ( $s_1$ ,  $s_2$ ,  $s_3$  ..) i uređajima za reguliranje razine vode. Uobičajena je dubina vode između 0,40 i 0,80 m, i to na najvišim kotama terena. Bazeni se pune tako da kanal  $K$  puni donje dijelove bazena  $B_1$  i  $B_2$ , a ostala dva u cijelosti. Gornje dijelove bazena  $B_1$  i  $B_2$  pune kanali  $K_1$  i  $K_2$ . Površine tih bazena iznose od 2000 do 3000 ha. Ostali su detalji vidljivi na priloženoj skici. Naselja se grade na okolnim brežuljcima ili na umjetno povišenim "otocima".

## 3.4.2. Empirijska metoda po Booheru

Booher je 1974.g. predložio metodu za određivanje veličine parcele za potapanje u ovisnosti o teksturi tla i veličini natapnog modula. Podaci su prikazani u tablici 34-1.

*Veličina bazena za potapanje u ovisnosti o vrsti tla i natapnog modula (Booher, 1974.)*

Tablica 34-1

Vrsta tla			
Pijesak	Pjeskovita ilovača	Glinovita ilovača	Glina
Jedinica površine, ha/100 l/s			
0,067	0,20	0,40	0,67

Autor navodi da su vrijednosti približne, a da metodu treba smatrati samo kao putokaz u rješavanju problema.

Kao što je već ranije istaknuto, iz tablice je vidljivo da tla visoke vodopropusnosti (pjeskovita) zahtijevaju male parcele, čak i kada su na raspolaganju velike količine vode (moduli). S druge pak strane bazeni na glinovitim tlima mogu biti manji i veći, što ovisi o veličini raspoloživog modula. Cilj je izbora takve površine bazena da se čitavo polje može potopiti u relativno kratkom roku s odgovarajućom normom i da se time postigne visoka ravnomjernost vlaženja na čitavoj površini.

## 3.4.3. Primjeri određivanja potrebe za vodom pri potapanju

U poglavlju 3.2.2. dan je prikaz jednostavne metode za proračun potrebe za vodom u rižištu za čitavu vegetacijsku sezonu. Navedeni su izrazi za određivanje utroška vode po vrstama kao i za pojedine faze natapanja i vegetacije. U nastavku ćemo na jednostavnom primjeru ilustrirati primjenu tih izraza.

*Računski primjer 1.*

Neka je zadano:

$a = 2 \text{ ha} = 20000 \text{ m}^2$  - površina parcele

$h = 0,3 \text{ m}$  - dubina vode u bazenu

$T_p = 48 \text{ sati} = 172800 \text{ s}$  - vrijeme potapanja

$k = 0,00001 \text{ m/s}$  - koeficijent propusnosti tla

$E = 0,0000001 \text{ m/s}$  - isparavanje sa slobodne vodne površine (8,6 mm/dan)

Za fazu potapanja biti će:

$$\begin{aligned}
 M_1 &= A \left[ h + T_p \cdot (k + E) \right] = \\
 &= 20000 \cdot 0,3 + 172800 \cdot (0,00001 + 0,0000001) = \\
 &= 40905 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$Q_1 = \frac{m_1}{T_p} = \frac{40905}{172800} = 0,236 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

odnosno modul natapanja, tj, kapacitet dovodnog kanala mora biti najmanje 236 l/s.

Za drugu fazu, odnosno održavanje konstantne razine vode u bazenima, potreba će iznositi:

$$Q_2 = A \cdot (k + E) = 20000 \cdot (0,00001 + 0,0000001) = 0,202 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ako sada želimo vodu u bazenu mijenjati dva puta tjedno, dobit ćemo:

$$\begin{aligned}
 Q_4 &= A \cdot \left( k + E + \frac{h \cdot n}{T_z} \right) = \\
 &= 20000 \cdot (0,00001 + 0,0000001) + \frac{0,3 \cdot 2}{7 \cdot 86400} = \\
 &= 0,220 \text{ (m}^3/\text{s)}
 \end{aligned}$$

Dakle, rezultat proračuna dokazuje nam da će kapacitet natapnog kanala od 236 l/s biti dovoljan i za potrebe održavanja razine vode kroz čitavo vegetacijsko razdoblje kao i za eventualnu zamjenu vode ritmom od dva puta tjedno.

*Napomena:*

Rezultati toga numeričkog primjera upućuju nas na zaključak da to tlo nije pogodno za trajno potapanje, jer bi se u tom slučaju trošile upravo ogromne količine vode. Potapanje se tu može prakticirati samo uz dodavanje određene norme u turnusima. Raščlanimo malo potrošnju vode po vrstama:

Za fazu potapanja, to će biti:

- punjenje bazena:	6.000 m <sup>3</sup> ili 14,7%
- infiltracija:	34.560 m <sup>3</sup> ili 84,5%
- evapotranspiracija:	345 m <sup>3</sup> ili 0,8%

---

Svega: 40.905 m<sup>3</sup> 100,0%

Za fazu održavanja:

- infiltracija: 0,200 m<sup>3</sup>/s ili 99%
- evapotranspiracija: 0,002 m<sup>3</sup>/s ili 1%

Dakle, za redovno održavanje vode u bazenima troši se svega 1% vode na isparavanje i transpiraciju, a čak 99% na poniranje. Slijedi da za trajno potapanje treba birati tlo sa znatno manjim koeficijentima vodopropusnosti, i to reda veličine od 10<sup>-6</sup> ili još bolje 10<sup>-7</sup>.

#### *Računski primjer 2.*

Po metodi USDA, SCS - vrijedi za sve usjeve, osim riže.

Zadano:

- familija krivulja 0,5
- zahtijevana učinkovitost  $E = 80\%$
- jedinični natapni modul  $Q = 0,005 \text{ m}^2/\text{s}$
- najveća visina vode  $h = 150 \text{ mm}$
- neto norma natapanja  $N_n = 100 \text{ mm}$
- Manningov koef.hrapavosti  $n = 0,15$

Treba izračunati:

- vrijeme poniranja,  $T_p$
- dužinu bazena,  $L$
- vrijeme punjenja,  $T_a$
- najveću visinu vode (stvarnu),  $h$

Rješenje

Vrijeme poniranja:

$$T_p = \frac{(m_n - c)^{\frac{1}{b}}}{a} = 320 \text{ min}$$

gdje su  $a = 1,196$ ,  $b = 0,748$  i  $c = 7$  uzeti iz tablice 23-1.

Vrijeme napredovanja mlaza:

Iz tablice 23-3 za učinkovitost 80% imamo odnos  $T_t / T_p = 0,58$  ( $T_t$  - vrijeme napredovanja mlaza). Slijedi da je:

$$T_t = 0,58 \cdot T_p = 0,58 \cdot 320 = 186 \text{ min}$$



Duljina bazena:

$$L = \frac{6 \cdot 10^4 \cdot Q \cdot T_t}{\frac{a \cdot T_t^b}{1+b} + 7 + 1798 \cdot n^{\frac{3}{8}} \cdot Q^{\frac{9}{16}} \cdot T_t^{\frac{3}{16}}} =$$

$$= \frac{6 \cdot 10^4 \cdot 0,005 \cdot 186}{\frac{1,186 \cdot 186^{0,748}}{1+0,748} + 7 + 1798 \cdot 0,15^{\frac{3}{8}} \cdot 0,005^{\frac{9}{16}} \cdot 186^{\frac{3}{16}}} =$$

$$= 345 \text{ m}$$

Vrijeme punjenja:

$$T_a = \frac{N_n \cdot L}{600 \cdot Q \cdot E} = \frac{100 \cdot 345}{600 \cdot 0,005 \cdot 80} = 144 \text{ min}$$

Najveća stvarna visina vode :

$$h = 2250 \cdot n^{\frac{3}{8}} \cdot Q^{\frac{9}{16}} \cdot T_a^{\frac{3}{16}} = 2250 \cdot 0,15^{\frac{3}{8}} \cdot 0,005^{\frac{9}{16}} \cdot 144^{\frac{3}{16}}$$

$$h = 142 \text{ mm}$$

### 3.5. OCJENA NATAPANJA POTAPANJEM

Kao što je ranije naglašeno, natapanje potapanjem može se jednostavno primjenjivati za usjeve koji se mogu povremeno ili trajno potapati, odnosno za natapanje prije sjetve te za ispiranje tla. Može se primijeniti kako na veoma malim tako i na veoma velikim površinama. Nasipi kojima su omeđene parcele mogu biti trajni ili privremeni (za jednu vegetacijsku sezonu).

Ocjena kvalitete natapanja provodi se uglavnom motrenjem. Da bi se mogla adekvatno ocijeniti stvarna učinkovitost natapanja, treba poznavati jednoličnost raspodjele, primijenjeni modul, trajanje natapanja i površinu bazena.

Da bi se moglo provesti, prijeko je potrebno učiniti sljedeće:

1. Izraditi mapu bazena koji se proučava.

2. Kontrolirati vlažnost tla na nekoliko mjesta. Zabilježiti razlike o uzrastu usjeva na pojedinim točkama, teksturu tla i deficit vlage. Usporediti minimum raspoloživa sadržaja vlage i dopustiva sniženja vlage u tlu te odrediti da li je vrijeme za početak natapanja.

3. Odrediti normu natapanja i zabilježiti vrijeme početka i prestanka natapanja.

4. Motriti napredovanje čela vodnog mlaza, a rezultate zabilježiti na mapu, i to za šest do osam vremenskih intervala. Neravnomjernost napredovanja upućuje na zaključak o neravnosti površine tla. Za točniju analizu te pojave mogu se uzduž parcele postaviti letve na jednakim razmacima, pogotovo ako je bazen velik. U fazi opadanja vode, bilježiti pojavu stagniranja vode ili "otoka" te napredovanje čela recesije na jednak način kao ranije i to unijeti na istu kartu, ali u drugoj boji.

5. Kod tog načina natapanja nije jednostavno odrediti brzinu upijanja (infiltracije). Najjednostavnije je postaviti vodomjernu (ili drugu) letvu u blizini ispusta vode u bazen. Čitanjem vodostaja u pravilnim vremenskim razmacima i bilježenjem, može se odrediti veličina upijanja. Zabilježiti treba vrijeme otvaranja ulazne zapornice kao i prestanka natapanja te vrijeme punjenja bazena. Na temelju zabilježenih podataka o visini vode i vremenu dotoka, moguće je izraditi kumulativnu krivulju upijanja ovisnosti visina/vrijeme. Ta krivulja neće biti sasvim točna zbog vremena punjenja, različitih vremena toka na raznim mjestima parcele, utjecaja vjetra, bočnog širenja vode i drugih čimbenika.

6. Razlike u veličini upijanja na različitim točkama parcele mogu se uočiti na niže opisane načine, ali sve su to samo indikativne vrijednosti.

a) Kad je bazen napunjen vodom, obilaziti parcelu i po potrebi miješati po površini tla da se podigne mutež, čime će se omogućiti bolja vidljivost smjera toka vode.

b) Čim se bazen ispuni vodom, na brzinu podijeliti bazen na veći broj manjih bazena, i to nasipima do visine vodnog lica. Motrenjem brzine sniženja vode u pojedinim bazenima, mogu se utvrditi mjesta veće ili manje brzine upijanja. Za točniju mjeru sniženja može se u svaki bazen postaviti po jedna vodomjerna letva.

c) Jednako kao i u primjeru opisanome prije toga, samo s otvorima u nasipima između susjednih bazena. Motrenjem smjera i brzine toka vode iz bazena u bazen, utvrdit će se mjesto veće, odnosno manje propusnosti.

d) Jednako kao u slučaju b), samo s razlikom što se nasipi grade prije punjenja, a onda se na brzinu svi bazeni napune s određenom (poznatom) količinom vode. Motrenjem sniženja vode (s pomoću letava) u pojedinim bazenima mogu se utvrditi mjesta različite veličine upijanja.

e) Dakako, najbolji podaci dobit će se pomoću infiltrometra i to mjerenjem na većem broju točaka. Ta metoda zahtijeva dugotrajna i skupa motrenja, ali je i najvjerodostojnija.

Nakon što se dovrše sva terenska mjerenja, analiziraju se rezultati, odnosno ocjenjuju se primijenjene metode postupka natapanja te predlažu poboljšanja metodologije.

Veličina stvarnog deficita vlage tla prema dopustivom deficitu odgovorit će nam na pitanje da li je određeno vrijeme za natapanje prerano, prekasno ili upravo odgovarajuće. Time se ujedno određuje količina vode koju treba dodati natapanjem.

Količina dodane vode dobije se tako da se natapni modul množi s trajanjem. Ako želimo dobiti visinu vode u bazenu, onda taj rezultat podijelimo s površinom.

Ravnomjernost infiltracije (upijanja) ovisi o vremenu trajanja vode na površini i veličini upijanja. Određuje se na jedan od načina opisanih u točki 6.

Ravnomjernost raspodjele (*RR*) dobije se iz odnosa:

$$RR = (\text{min. visina infiltracije} / \text{srednja visina infiltracije}) \cdot 100$$

Potencijalna je učinkovitost sustava postotak odnosa minimalne visine vode u trenutku kada je jednaka stvarno potrebnoj količini vode ili deficit vlage tla prema prosječnoj visini dodane vode.

Stvarna je učinkovitost dodane vode pokazatelj koji opisuje koliko je dodane vode natapanjem ostalo u tlu i raspoloživo je bilju na mjestu najmanje dodane vode.

Ukratko, praktički rečeno, natapanje potapanjem biti će jako učinkovito jedino ako je bazen horizontalna ili s minimalnim padom i ima tlo ravnomjerne brzine upijanja, a potapanje se provede jako brzo.

## LITERATURA

1. Cancellara, E.: Irrigazione Aziendale e Collettiva, REDA, Roma, 1958.
2. Constantinidis, C.: Bonifica ed Irrigazione, Edagricole, Bologna, 1970.
3. Di Ricco, G.: Le Irrigazioni dei Terreni, Edizioni Agricole, Bologna, 1970.
4. Izraelsen, O.: Praktične osnove navodnjavanja, "Građevinska knjiga", Beograd, 1956.
5. Jensen, M.E.: Design and Operation of Farm Irrigation Systems, ASAE, 1981.
6. Kos, Z.: Hidrotehničke melioracije tla, II dio, Navodnjavanje, "Školska knjiga", Zagreb, 1987.
7. Poirce, M. - Ollier, Ch.: Irrigation, Eyrolles, Paris, 1957.
8. Ollier, Ch. - Poirce, M.: Irrigation, 5<sup>o</sup> Edition, Eyrolles, Paris, 1981.
9. Trisoldi, Al: L'Irrigazione, Edizioni Agricole, Bologna, 1965.
10. Walker, W.R.: Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems, FAO Irrigation and Drainage Paper 45, Rome, 1989.

## 4. NATAPANJE INFILTRACIJOM

**DRAGUTIN GEREŠ, dipl.inž.grad.**

Javno vodoprivredno poduzeće  
"Hrvatska vodoprivreda", Zagreb

### 4.1. OSNOVE PRORAČUNA

#### 4.1.1. Uvod

Infiltracija je način dovodenja vode na polje koje se natapa putem malih, plitkih kanala, najčešće u obliku brazda između redova kultura. Voda se upušta u gornji dio brazda kojima dolazi do biljaka. Tlo upija vodu gravitacijskim i kapilarnim silama. Voda se upušta u brazde do veličine natapne norme. Ovisno o kulturama i veličini kanala, razlikujemo dva tipa: natapanje brazdama i korugacijom. Brazde se koriste za redne kulture, a korugacija za višegodišnje kulture gusta sklopa - trave. Osnovna je razlika u veličini kanala, njihovu razmaku i karakteristikama upijanja vode.

Natapanje infiltracijom dijeli se na dvije skupine:

- a) površinsko natapanje pomoću brazda
- b) podzemno natapanje ili subirigacija

#### 4.1.2. Primjena natapanja infiltracijom

Tim načinom može se navodnjavati većina usjeva, osim onih koji se uzgajaju u vodi kao riža, i to naročito povrće, voćnjaci i vinogradi. Posebno je pogodno za natapanje usjeva koji se ne mogu ni djelomično potapati. Tada se biljke uzgajaju na prostoru između brazdi.

Način natapanja infiltracijom najbolje odgovara za tla srednje do umjereno fine teksture. Ta tla imaju visok raspoloživi kapacitet držanja vode i provodljivost, koji omogućuju značajno kretanje vode u tlu u horizontalnom i vertikalnom smjeru. Način natapanja može se koristiti i za tla fine teksture i slabe provodljivosti vode s malim padom. Pri većim se padovima u tim tlama pojavljuje otjecanje vode iz brazde, jer tlo zahtijeva vrlo malu struju vode kroz dulje vrijeme.

U tlima grube teksture kretanje je vode za natapanje uglavnom prema dolje, s vrlo slabom bočnom infiltracijom. Učinkovite brazde na tim tlima moraju biti kratke, položene na malu odstojanju. Trajanje je natapanja kratko.

Uzdužni pad brazda ograničen je erozijom tla od oborina ili natapnom vodom. Pad treba biti 1% ili manji, ali može biti i 3% u aridnim područjima, gdje ne postoji opasnost erozije od oborina. U humidnom području pad brazde ne prelazi 0,3%, izuzetno 0,5% za kratke brazde. Minimalni je pad od 0,03% do 0,05% u humidnim područjima nužan za osiguranje površinske odvodnje.

Maksimalni pad za erozivna tla izračunava se iz izraza:

$$I_{\text{maks}} = 67 \cdot (P_{30})^{1,3} \quad (1)$$

gdje je:

$$\begin{array}{ll} I_{\text{maks}} & \text{- maksimalni dozvoljeni pad brazde u \%} \\ P_{30} & \text{- 30 min. oborina iz 2-godišnjeg povratnog razdoblja} \end{array}$$

#### 4.1.3. Prednosti i nedostaci

Natapanje infiltracijom ima srednju do visoku učinkovitost korištenja vode u slučaju kada je tlo dobro pripremljeno. Postiže se ušteda u količini vode, jer se natapa dio površine tla. Sukcesivno se mogu uzgajati različite kulture bez promjena sustava i načina pogona. Troškovi su pripreme tla manji jer se brazde izvode uobičajenom poljomehanizacijom. Voda nije u kontaktu sa stabljikom biljke, pa se tako izbjegavaju oštećenja. Postiže se odlična površinska odvodnja tla kad je pad brazdi dovoljan i postoje odgovarajući kanali na kraju brazda. Uz pravilne elemente natapanja i pravilan sustav, nema štete od erozije i ne remeti se struktura tla.

U nedostatke tog načina natapanja dolazi opasnost od erozije pri većim padovima u klimatskim područjima gdje intenzitet i količina oborina izazivaju površinsko otjecanje. Potrebno je mnogo radne snage, jer je potrebno regulirati dotok vode u brazde da bi se postigla jednolika distribucija vode. Opasnost od koncentracije soli na hrptu između brazdi može smanjiti prinose. Potrebno je ravnanje zemljišta za osiguranje jednolikog nagiba brazda.

#### 4.1.4. Proračun elemenata za natapanje brazdama

##### 4.1.4.1. Uvod

Prilikom planiranja i projektiranja tog načina natapanja, potrebno je odrediti sljedeće veličine: nagib i dimenzije brazda., oblik i razmak između brazda, dotok vode na početku natapanja, prigušeni dotok, dužinu brazda i širinu polja za natapanje. Projektiranje je moguće tek nakon prikupljanja podataka i karakteristika za tlo, kulture, topografiju, veličinu i oblik polja za natapanje i raspoloživu opremu. Potrebno je poznavati infiltracijske karakteristike i kapacitet držanja vode za tla. Topografski podaci određuju smjer i nagib brazda te njihovu duljinu. Poljoprivredna oprema i mehanizacija utječu na razmak i maksimalni kapacitet brazda.

##### 4.1.4.2. Pretpostavke i ograničenja u proračunu

Pri proračunu natapanja brazdama rade se pretpostavke, i to za odnos protok-vrijeme, brzinu napredovanja i recesije vodne struje, usporenje toka struje vode u brazdi i odnos protoka i omočenog oboda brazde. Pretpostavlja se da je brzina napredovanja funkcija protoka, infiltracijskih karakteristika, oblika brazde, nagiba, duljine i hrapavosti brazde.

Protok u brazdi ograničen je kapacitetom, koji je ovisan o veličini i obliku poprečnog presjeka, nagibom i hidrauličkim karakteristikama hrapavosti. Brzina napredovanja struje vode treba omogućiti uniformnu infiltraciju vode po duljini brazde. Maksimalni tok ograničen je brzinom, koja ne izaziva eroziju. Za erozivna tla brzina je ograničena s veličinom 0,15 m/s, a za manje erozivna tla brzina može biti 0,18 m/s. Brzina i dubina vode u brazdi, uz određeni pad i poprečni presjek, ovise o hrapavosti. Manningov koeficijent hrapavosti za potrebe proračuna brazda iznosi 0,04, a za korugaciju iznosi 0,10.

Vrijeme recesije, tj. potrebno vrijeme da se voda infiltrira u tlo nakon što je prestalo upuštanje na gornjem kraju brazde, ovisi o veličini struje vode u brazdi i duljini brazde, njenu obliku i nagibu za specifično tlo. Vrijeme je recesije relativno kratko i može se zanemariti kada nagib brazde prelazi 0,05%. Vrijeme recesije ne može se zanemariti za padove <0,05% ili za horizontalne brazde. Posljedica je prevelika zadržavanja vode duboko poniranje koje ne bi trebalo da premašuje 20 do 25% projektne količine vode.

Razlikuju se tri tipa brazda na temelju načina kontrole vode koja se upušta :

1. brazde u nagibu, s otvorenim krajem; te brazde imaju kontinuirani jednolik protok za cijelo vrijeme natapanja te prikupljanje i eventualno recikliranje viška vode;

2. brazde s nagibom i otvorenim krajem i dvostrukim režimom protoka; protok se reducira nakon što struja vode dostigne kraj brazde; nakon toga dodaje se prigušeni, tj. reducirani, protok za preostalo vrijeme natapanja;

3. horizontalne ili potopljene brazde, koje se drže ispunjene vodom sve dok se ne postigne obrok natapanja; taj način upotrebljava se i kada ukupna visinska razlika gornjega i donjeg kraja brazde ne premašuje projektnu dubinu struje vode na brazdi.

## 4.1.4.3. Proračun brazda po metodi SCS-USDA

Prikazuje se način proračuna elemenata natapanja brazdama po metodi Soil Conservation Service - USDA, 1979. Jednadžbe opisuju odnose između duljine, vremena upuštanja, veličine protoka, dubokog poniranja, površinskog otjecanja i učinkovitosti korištenja vode za izabrane projektne vrijednosti za obrok natapanja, veličinu infiltracije i nagib i razmak brazda. Sve dubine izražene su kao ekvivalentne dubine za razmak brazda i po jedinici dužine. Teorijske osnove proračuna prikazane su u poglavlju 2.1.4. *Natapanje prelijevanjem* i tu se ne ponavljaju. Infiltracija po jedinici dužine brazde ovisna je o površini tla u kontaktu s vodom, tj. o omočenom obodu brazde. Omočeni se obod povećava jer postoji horizontalna infiltracija iz brazde. Povećanje se vrši empirijskom konstantom. Empirijski izraz za prilagođeni omočeni obod glasi:

$$P = 0,265 \cdot (Q \cdot n / S^{0,5})^{0,425} + 0,227 \quad (2)$$

gdje je :

- $P$  - prilagođeni omočeni obod (m)
- $Q$  - protok u brazdi (l/s)
- $S$  - nagib ili hidraulički gradijent (m/m)
- $n$  - Manningov koeficijent hrapavosti

Vrijednost  $P$  ne može biti veća od razmaka brazda  $b$ .

Vrijeme potrebno da struja vode dostigne određenu točku u brazdi jest polulogaritamski odnos dužine, protoka i nagiba, dobijen iz regresijske analize serije mjerenja.

$$T_n = \frac{x}{f} \cdot e^{\beta} \quad (3)$$

gdje je :

- $T_n$  - vrijeme napredovanja (ili vrijeme potrebno za punjenje brazda) (min)
- $x$  - udaljenost (m) od gornjeg kraja brazde do mjesta  $x$  (najveća je vrijednost  $x$  duljina brazde  $L$ )

- $Q$  - protok u brazdi (l/s)
- $S$  - nagib brazde (m/m)
- $f$  i  $g$  - koeficijent napredovanja (tablica)
- $\beta = g \cdot x / Q \cdot S^{1/2}$

Koeficijenti infiltracijskih krivulja i napredovanja prikazani su u tablici

41-1.



*Koeficijenti za infiltracijske familije krivulja  
i za vrijeme napredovanja*

Tablica 41-1

FAMILIJA KRIVULJA	a	b	c	f	g
0,05	0,5334	0,618	7,0	7,16	1,08x10 <sup>-4</sup>
0,10	0,6198	0,661	7,0	7,25	1,251x10 <sup>-4</sup>
0,20	0,7772	0,699	7,0	7,43	1,578x10 <sup>-4</sup>
0,30	0,9246	0,720	7,0	7,61	1,904x10 <sup>-4</sup>
0,40	1,064	0,736	7,0	7,79	2,230x10 <sup>-4</sup>
0,50	1,196	0,748	7,0	7,97	2,556x10 <sup>-4</sup>
0,60	1,321	0,757	7,0	8,15	2,883x10 <sup>-4</sup>
0,80	1,560	0,773	7,0	8,50	3,535x10 <sup>-4</sup>
1,00	1,786	0,785	7,0	8,66	4,188x10 <sup>-4</sup>
1,50	2,284	0,799	7,0	9,76	5,819x10 <sup>-4</sup>
2,00	2,753	0,808	7,0	10,65	7,451x10 <sup>-4</sup>

Infiltracija:  $F = (a \cdot T^b + c) \cdot P/b$  (mm)

Napredovanje: izraz (3)

Vrijeme za infiltraciju vode iz brazde u bilo kojoj točki računa se iz izraza:

$$T_o = T_1 - T_n + T_r \quad (4)$$

gdje je:

$T_o$  - vrijeme za infiltraciju u točki  $x$  (min)

$T_1$  - vrijeme dotoka (min); konstantno za određeno natapanje

$T_n$  - vrijeme napredovanja (min)

$T_r$  - vrijeme recesije (min); pretpostavka: za brazde u nagibu s otvorenim krajem  $T_r = 0$

S tim pretpostavkama i pomoću izraza (3) dobije se vrijeme za infiltraciju za brazde u nagibu.

$$T_o = T_1 - \frac{x}{f} \cdot e^\beta \quad (5)$$

gdje je:

$T_1$  - vrijeme dotoka (min); zbroj vremena napredovanja struje do kraja brazde i vremena ispunje zone korijena vodom.

Srednje vrijeme za infiltraciju dobije se integracijom izraza (5) između granica 0 i  $x$  a podijeljeno s  $x$  jest :

$$T_{(o-x)} = T_1 - \frac{0,0929}{f \cdot x \cdot (0,305 \cdot \beta/x)^2} \cdot [(\beta - 1) \cdot e^\beta + 1] \quad (6)$$

Vrijeme za infiltraciju za cijelu dužinu brazde  $T_{(o-L)}$  određuje se iz izraza (6) s  $x = L$ .

Bruto natapna norma jest:

$$F_b = \frac{60 \cdot Q \cdot T_1}{b \cdot L} \quad (7)$$

gdje je:

$F_b$  - bruto natapna norma (mm)

$b$  - razmak brazda (m)

$L$  - duljina brazde (m)

$Q$  - protok u brazdi (l/s)

Ukupno upijanje-infiltracija izražava se kao ekvivalentna dubina na razmak brazda i jediničnu duljinu :

$$F_{(o-x)} = (a \cdot T_{(o-x)}^b + c) \cdot P/b \quad (8)$$

gdje je:

$F_{(o-x)}$  - ekvivalentna dubina upijanja (mm)

$T_{(o-x)}$  - vrijeme (min)

$a, b, c$  - koeficijenti familije krivulja upijanja - tablica 41-1

Potrebno vrijeme za sukcesivno vrijeme natapanja za izabranu neto natapnu normu  $F_n$  može se procijeniti iz rješenja izraza :

$$T_{sn} = \left( \frac{F_n \cdot b / p - c}{a} \right)^{1/b} \quad (9)$$

Površinsko otjecanje, tj. izlaz vode na otvorenom kraju brazde, može se izračunati kao razlika bruto natapne norme i ukupnog upijanja:

$$PO = F_b - F_{(o-L)} \quad (10)$$

gdje je:

$PO$  - srednje površinsko otjecanje vode na kraju brazde (mm)

Duboko poniranje računa se po izrazu:

$$DP = F_{(o-L)} - F_n \quad (11)$$

gdje je:

$DP$  - duboko poniranje vode (mm)

$F_{(o-L)}$  - ukupno upijanje (mm)

$F_n$  - neto natapna norma (mm)

Učinkovitost primjene vode na polju jest:

$$UP = 100 \cdot F_n / F_b \quad (12)$$

Učinkovitost na udaljenosti  $x$ :

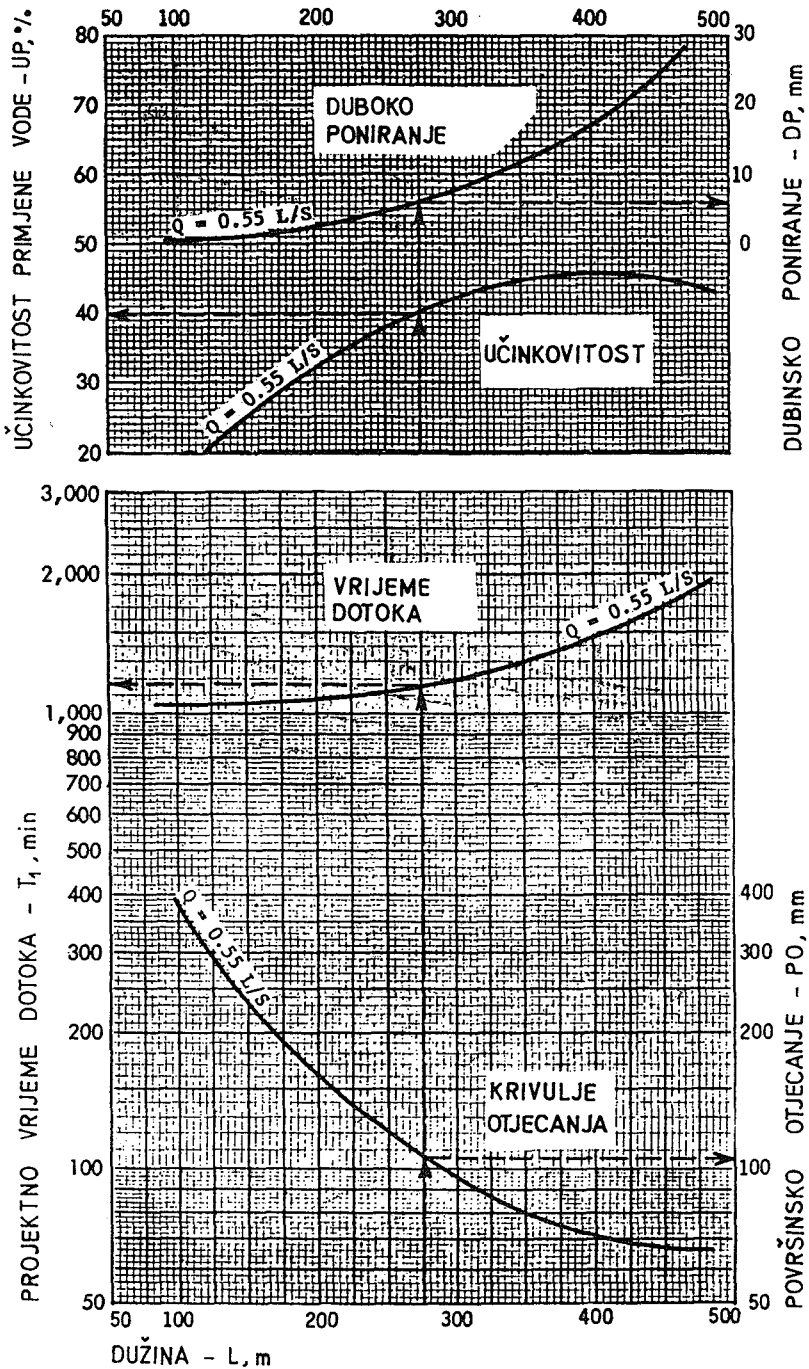
$$UP = 100 \cdot (F_{(o-x)} - DP) / F_b \quad (13)$$

gdje je:

*UP* - učinkovitost primjene vode u %.

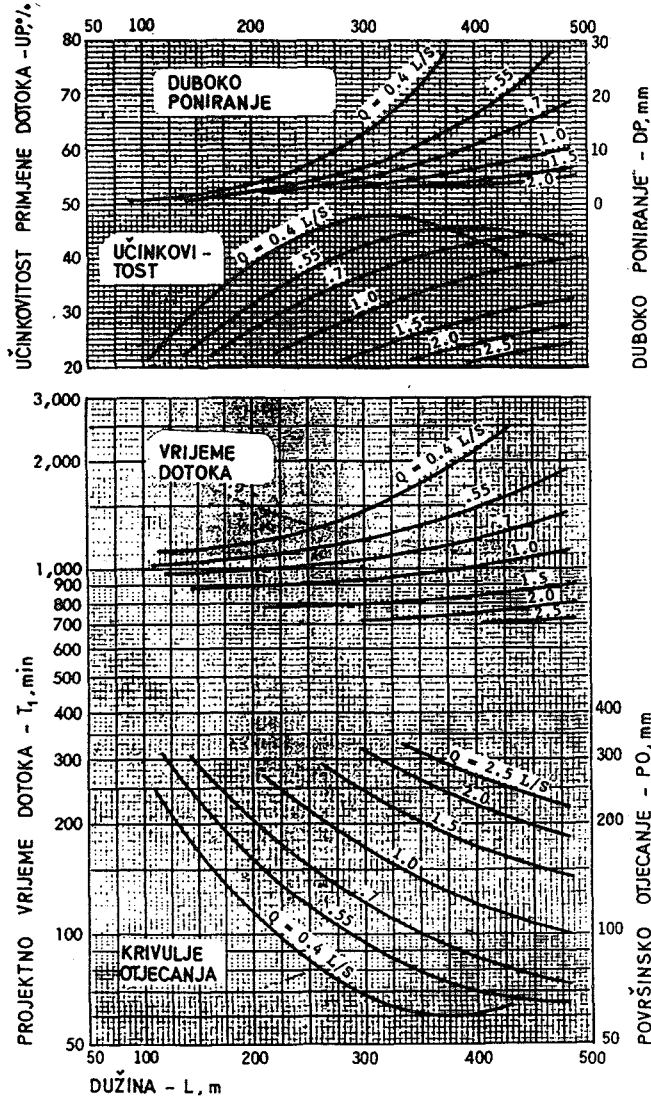
Procedura za proračun projektnih elemenata brazda u nagibu s otvorenim krajem može se pojednostaviti upotrebom grafikona, kojih su primjeri prikazani na slikama 41-1 i 41-2.

Grafikoni se pripremaju za razne odnose hrapavosti, infiltracije, protoka i nagiba brazda.



Infiltracijske krivulje 0,3; natapna norma 75 mm; nagib 0,004 m/m; hrpavost 0,04; razmak brazdi 0,75 m

Sl. 41-1 SCC-USDA grafikon za proračun brazdi za brojčani primjer



Infiltracijske krivulje 0,3; natapna norma 75 mm; nagib 0,004 m/m; hrpavost 0,04; razmak brazdi 0,75 m

Sl. 41-2 SCC-USDA grafikon za proračun brazdi- opći oblik

Primjer proračuna brazda u nagibu s otvorenim krajem

Zadano:

- familija upijanja vode (za brazde),  $I_f = 0,3$
- duljina brazde,  $L = 275 \text{ m}$
- nagib,  $S = 0,004 \text{ m/m}$

- razmak brazda,  $b = 0,75 \text{ m}$
- koeficijent hrapavosti,  $n = 0,04$
- natapna norma (preko cijele duljine brazde),  $F_n = 75 \text{ mm}$
- protok u brazdi,  $Q = 0,6 \text{ l/s}$

Koeficijenti upijanja i vremena napredovanja za  $I_f = 0,3$  dobiju se iz tablice 41-1 :

$$\begin{aligned} a &= 0,925 & f &= 7,61 \\ b &= 0,720 & g &= 1,904 \cdot 10^{-4} \\ c &= 7,0 \end{aligned}$$

Potrebno je izračunati:

- vrijeme dotoka,  $T_1$
- površinsko otjecanje,  $PO$
- duboko poniranje,  $DP$
- učinkovitost primjene vode,  $UP$

Rješenje:

Vrijeme napredovanja,  $T_n$  (izraz 3):

$$\beta = \frac{1,904 \cdot 10^{-4} \cdot 275}{0,6 \cdot \sqrt{0,004}} = 1,38$$

$$T_n = \frac{275}{7,61} \cdot e^{1,38} = 143,6 \text{ min}$$

Prilagođen omočeni obod,  $P$  (izraz 2):

$$P = 0,265 \cdot (0,6 \cdot 0,04 / \sqrt{0,004})^{0,425} + 0,227 = 0,4 \text{ m}$$

Potrebno vrijeme za sukcesivno natapanje,  $T_{sn}$  (izraz 9):

$$T_{sn} = \left( \frac{75 \cdot 0,75 / 0,40 - 7,0}{0,925} \right)^{1/0,720} = 999 \text{ min}$$

Projektno vrijeme dotoka (zbroj  $T_n$  i  $T_{sn}$ ):

$$T_1 = 143,6 + 999 = 1143 \text{ min}$$

Bruto natapna norma,  $F_b$  (izraz 7):

$$F_b = \frac{60 \cdot 0,6 \cdot 1143}{0,75 \cdot 275} = 200 \text{ mm}$$

Srednje vrijeme za infiltraciju vode,  $T_{(o-L)}$  (izraz 6):

$$T_{(o-L)} = 1143 - \frac{0,0929}{7,61 \cdot 275 \cdot \left(\frac{0,305 \cdot 1,38}{275}\right)^2} \cdot [(1,38 - 1) \cdot e^{1,38} + 1] =$$

$$= 1143 - 47,6 = 1095$$

Srednje upijanje,  $F$  (izraz 8):

$$F_{(o-L)} = (0,925 \cdot 1095^{0,72} + 7,0) \cdot \frac{0,4}{0,75} = 80 \text{ mm}$$

Površinsko otjecanje,  $PO$  (izraz 10):

$$PO = 200 - 80 = 120 \text{ mm}$$

Duboko poniranje,  $DP$  (izraz 11):

$$DP = (80 - 75) = 5 \text{ mm}$$

Učinkovitost primjene vode,  $UP$  (izraz 12)

$$UP = 100 - 75/200 = 37,5\%$$

Na sličan način dolazi se do jednadžbi za dimenzioniranje za slučaj brazda s nagibom i otvorenim krajem s dvostrukim režimom protoka te za horizontalne (potopljene) brazde. Podaci za proračun nalaze se u citiranoj literaturi.

## LITERATURA

1. Gereš, D.: Površinsko navodnjavanje. U: "Navodnjavanje poljoprivrednih zemljišta". DGIT i DONH, Zagreb, 1986.
2. Gereš, D.: Hidrotehničke melioracije, dio III: Navodnjavanje. Građevinski kalendar 1992. SGITJ, Beograd, 1991.
3. Hart, W.E., Collins, H.G., Woodward, G. and Humpherys, A.S.: Design and Operation of Gravity or Surface Systems. U: "Design and Operation of Farm Irrigation Systems" (M.E.Jensen, Ed.). Monogr. 3, ASCAE, Michigan, 1983.
4. Kos, Z.: Hidrotehničke melioracije tla, navodnjavanje. Školska knjiga, Zagreb, 1987.
5. USDA:Furrow Irrigation. Chapt. 5, Sec. 15. Soil Conserv. Serv. Nat. Eng. Handb., 1979.



## 4. NATAPANJE INFILTRACIJOM

**Prof.dr. ZORKO KOS**

Građevinski fakultet  
Sveučilišta u Rijeci

### 4.2. METODE POVRŠINSKOG NATAPANJA INFILTRACIJOM

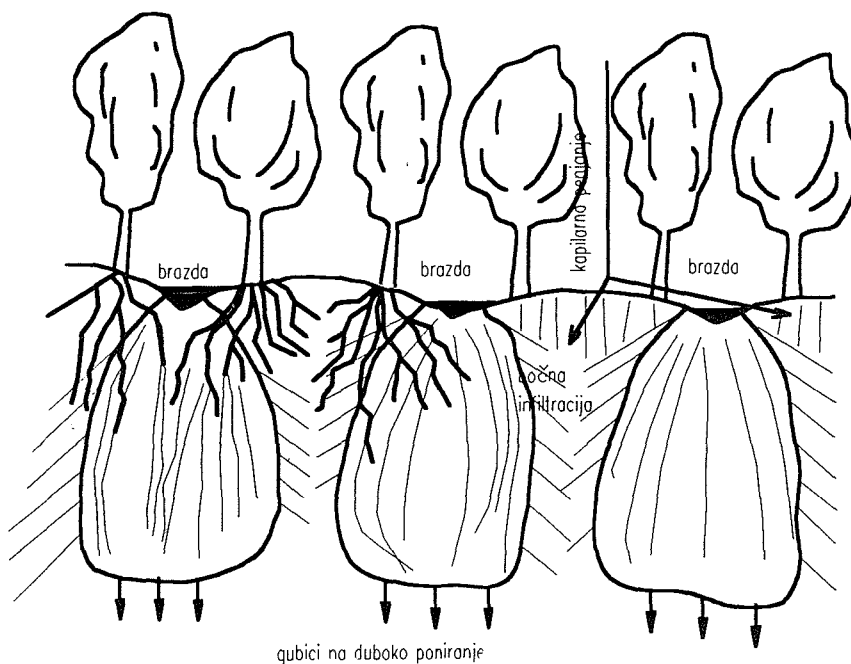
#### 4.2.1. Općenito

Natapanje infiltracijom, koje se vrlo često naziva i natapanje brazdama, razlikuje se od dvaju prije opisanih načina u tome što se voda ne prelijeva na površinu tla i ne pokriva, bilo povremeno ili trajno, njegovu površinu. Voda se najčešće razvodi sustavom gustih rovova (brazda) po površini obrađena tla i nikada se ne prelijeva iz tih rovova, već se vertikalno i bočno infiltrira u tlo, natapajući površinu između dviju susjednih brazda. Kod izvedbe tog načina natapanja, topografija se terena najčešće ne mijenja.

Teoretski, brazda bi morala natapati pojas tla između dviju susjednih brazda i to do računске dubine zakorijenjivanja. Prema tome, volumen tla natopljenoga pojedinom brazdom predstavljen je tijelom čija je širina razmak između dva reda usjeva, a visina - dubina vlaženja (vidi skicu). Iz toga slijedi da se površinski sloj tla na kome se nalazi uzgajano bilje opskrbljuje vodom isključivo kapilarnim penjanjem.

Prema tome, kod tog načina, odnosno metode natapanja, bilje se opskrbljuje vodom koja se u tlu kreće u dva oblika: u središnjem dijelu, odnosno ispod brazde, postoji gravitacijski tok vode, a bočno i gore kapilarni tok vode (zapravo u svim ostalim smjerovima).

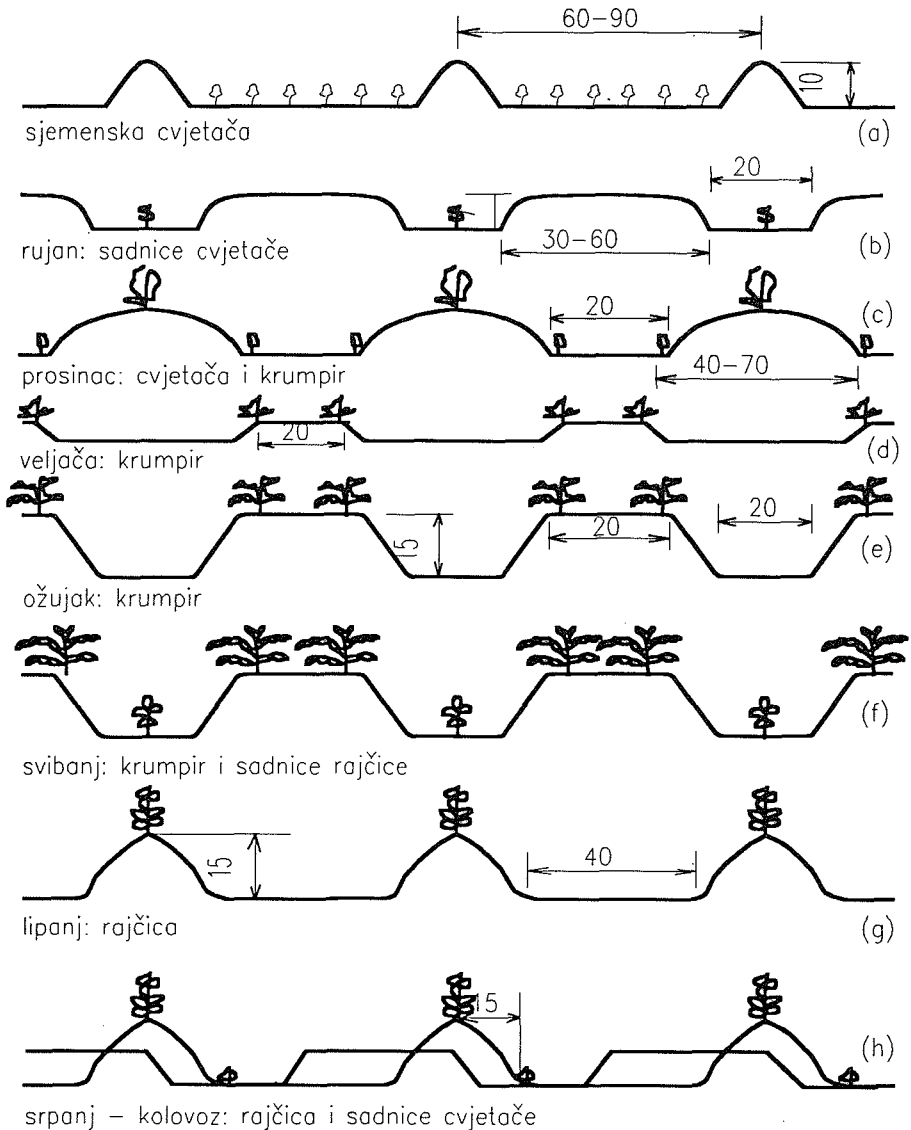
Tim se načinom može natapati veliki broj usjeva. Izuzetak čini riža uzgajana u vodi, a za livade nije sasvim prikladno zbog velikog gubitka tla, a i poteškoća prilikom košnje. Najprikladnije je za usjeve uzgajane u redovima, kao što je većina povrća, zatim voćnjake i vinograde, te usjeve koji ne podnose povremeno makar djelomično potapanje, jer se uzgajaju na grebenu između dviju brazda, pa je biljka stalno na suhom.



Sl. 42-1 *Princip natapanja površinskom infiltracijom*

U južnim predjelima Europe, gdje se praktički povrće uzgaja cijele godine, postoji slijed proljetno-ljetnih i zimskih usjeva. U takvim uvjetima uobičajeno je da paralelno s razvojem pojedine kulture, kao i združenim uzgojem (introdukcijom) drugog usjeva, tijekom vegetacijske sezone (godišta) tlo mijenja u više navrata presjek, odnosno raspored natapnih i uzgojnih elemenata, kao što je to vidljivo na priloženoj skici.

Metode natapanja infiltracijom prikladne su za tla srednje do umjereno sitne teksture, s relativno visokim kapacitetom za vodu i dobrim kapilarnim svojstvima, što omogućuje intenzivno vertikalno i bočno gibanje vode. Može se primijeniti i na tlima sitne teksture i slabe vodopropusnosti te malog nagiba. Ako se primijeni na tlima krupnije granulacije, kao što su npr. pijesak ili pjeskovita ilovača, nastaje pretežno vertikalno gibanje vode s malom bočnom infiltracijom. Takav sustav zahtijeva veoma kratke brazde, međusobno usko položene, s kratkim trajanjem natapanja i malim natapnim normama.



*Sl. 42-2 Moguće promjene presjeka natapanog tla tijekom godine pri uzgoju povrtlarskih usjeva u južnim predjelima Europe*

Prilikom projektiranja, odnosno dimenzioniranja sustava natapanja infiltracijom (brazdama), treba imati u vidu da je brzina toka vode u brazdi funkcija natapnog modula, infiltracijskih značajki tla, oblika, nagiba, dužine i hrapavosti brazde. Voda u brazdi mora teći brzinom koja će osigurati ravnomjerno upijanja vode u tlo po čitavoj dužini brazde. Gornja granica brzine mora biti podređena erodibilnosti tla. Tako npr. kod tala podložnih eroziji ne smiju se primjenjivati brzine veće od 0,15 m/s, dok općenito brzine veće od 0,18 m/s nisu preporučljive ni za ostala tla. Brzina vode i dubina toka za određeni presjek i nagib ovise o hrapavosti brazde. Pri tome se najčešće

primjenjuje koeficijent hrapavosti u Manningovoj formuli od 0,04 (za proračun brzina). Vrijeme poniranja nakon prestanka dotoka (recesija) uglavnom ovisi o veličini mlaza, dužini, obliku i nagibu brazde, a za određeni tip tla. Vrijeme je poniranja relativno kratko i može se zanemariti ako je nagib veći od 0,05%. Međutim, kod malih nagiba ili horizontalnih brazda, taj je element jako značajan.

#### 4.2.2. Osnovna praktična pravila

##### a) Trajanje natapanja

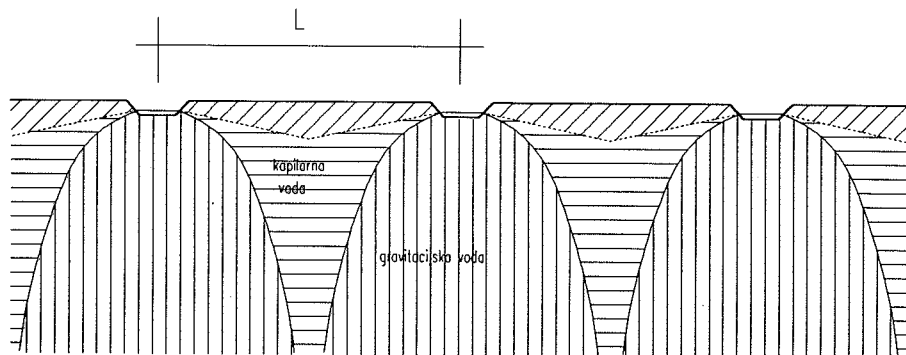
Svakako će trajanje natapanja infiltracijom, u pravilu, biti duže od onoga koje je potrebno za natapanje prelijevanjem, jer se za dostavu jednake količine vode na određenu natapnu površinu koristi manja površina infiltracije. Tako npr., ako trajanje natapanja pri prelijevanju traje obično 4-6 sati, onda će kod natapanja brazdama to obično trajati 18-24 sata, jer će tek kroz to vrijeme natapna površina kroz brazde dobiti jednaku količinu vode. Prema tome, kao opće pravilo možemo uzeti da je trajanje natapanja obrnuto proporcionalno površini vlaženog tla.

Pretpostavimo, npr., da neko tlo za natapanje čitave površine pri natapanju prelijevanjem, a za određenu normu, traži radno vrijeme od 6 sati; pri natapanju brazdama, za jednake uvjete (normu) uz pretpostavku da je ovlažena površina brazda jednaka 1/4 ukupne, trajanje će natapanja, dakle, iznositi  $6 \times 4 = 24$  sata.

##### b) Razmak brazda

Osnovno pravilo za izbor razmaka brazda sastoji se u tome da izabrani razmak osigurava ravnomjerno vlaženje tla u zoni korijena. Prema tome, ako nakon natapanja sondom ustanovimo da je na pojedinim točkama tlo još uvijek suho, znači da je razmak brazda prevelik. Iz toga slijedi zaključak da za određivanje pravilnog razmaka brazda ne postoji neka teoretska metoda, već samo iskustvo (mjerenja).

Kod razmatranja te problematike treba imati na umu da je, naročito kod drvenastih usjeva u punom razvoju, cjelokupna obradiva površina zauzeta žilnim sustavom. Prema tome, cijela se natapna površina parcele mora redovito i ravnomjerno navodnjavati.



Sl. 42-3 Načini širenja vode u tlu iz brazda

Prema tome, razmak brazda uvelike varira u ovisnosti o vrsti tla i usjeva i to od nekoliko decimetara do nekoliko metara. Kod okopavina, razmak brazda odgovara razmaku redova usjeva, pa obično iznosi 50-60 cm. Kod povrtlarskih usjeva sistematiziranih u obliku lijeha, razmak se brazda obično kreće između 0,5 i 2,0 m. Kod drvenastih kultura razmak brazda može biti i nekoliko metara.

*c) Utjecaj vrste tla*

Iskustvo pokazuje da teško (glinovito) tlo s niskom infiltracijom kao i pjeskovito tlo, gdje se glavina vode gubi dubokim poniranjem, nisu prikladni za natapanje brazdama. Nadalje, kod zaslanjenih tala i u sušnim predjelima, uslijed izrazito razvijenoga vertikalnoga gibanja vode, soli se talože u površinskom sloju između dviju brazda. Natapanje infiltracijom nije prikladno ni u tom slučaju.

*d) Utjecaj nagiba tla*

Općenito uzevši, uzdužni nagib brazda treba biti 1% ili manji, ali, izuzetno u aridnim krajevima, gdje ne postoji opasnost od erozije oborinama, nagib može doseći i 3%. U humidnim krajevima, nagib ne bi smio prijeći 0,3%, izuzev veoma kratkih brazda gdje može doseći i do 0,5%. Minimalni nagib, u vlažnim predjelima, treba da iznosi 0,05% i to zato da bi se osigurala odgovarajuća površinska odvodnja. Na tlima podložnima eroziji najveći dopustivi nagib brazda može se dobiti iz izraza:

$$i_{\max} = \frac{67}{(P_{30})^{1,3}}$$

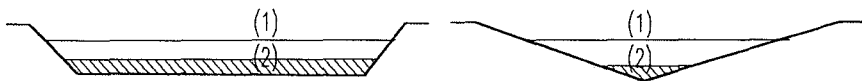
gdje je  $P_{30}$  oborina u trajanju od 30 minuta u mm i dvogodišnjega povratnog intervala. Bez obzira na veličinu, nagib bi trebalo da bude konstantan na čitavoj duljini brazde.

*e) Duljina brazde*

Općenito uzevši, duljina brazda kreće se oko 100 m; na tlu znatnijeg pada može doseći i 200 m. U nekim se zemljama (SAD, Bugarska) već godinama provode istraživanja da se duljina brazda produži na 300 pa i više metara.

*f) Poprečni presjek brazde*

Poprečni presjek kao i dubina brazde moraju biti veoma pažljivo i savjesno određeni jer o ta dva elementa ovise površina i tlak infiltracije, odnosno brzina poniranja. Tako za bilje s dubokim korijenjem (lucerna, voćnjaci) prikladne su široke i duboke (0,20 - 0,30 m) brazde. Tim se, također, načinom mogu prikladno upotrijebiti neke industrijske otpadne vode, jer voda nikada ne vlaži neke dijelove bilja (lišće, stabljika) koji se upotrebljavaju za ljudsku hranu.



Sl. 42-4 Dva tipična presjeka brazde

Nije preporučljivo da se tim načinom natapa vodama bogatima mineralnim suspenzijama, kako se stijenke brazda ne bi brzo kolmirale (zabrtvile). Ako se već moraju upotrijebiti takve vode, onda brazde treba češće preoravati te produžiti trajanje natapanja.

U posljednje se vrijeme u SAD sve više i više uvode plitke i široke brazde - širine 40 do 60 cm, a dubine svega od 4 do 8 cm. Razlog je tome u promjenljivosti intenziteta infiltracije u ovisnosti o dubini vode u brazdi. Naime, na plitkoj i širokoj brazdi omočena - filtrirajuća površina stijenke malo se mijenja ovisno o dubini vode, pa količina vode koja ponire u tlo više-manje ostaje konstantna na cijeloj duljini brazde. Naprotiv, kod trokutastog presjeka brazde - postupno kako se količina vode smanjuje od uzvodnoga prema nizvodnom dijelu - bitno se smanjuje i omočena površina kroz koju voda ponire u tlo, a time se smanjuje i intenzitet natapanja, što se očituje u neravnomjernosti raspodjele vode.

### 4.2.3. Površinsko natapanje brazdama

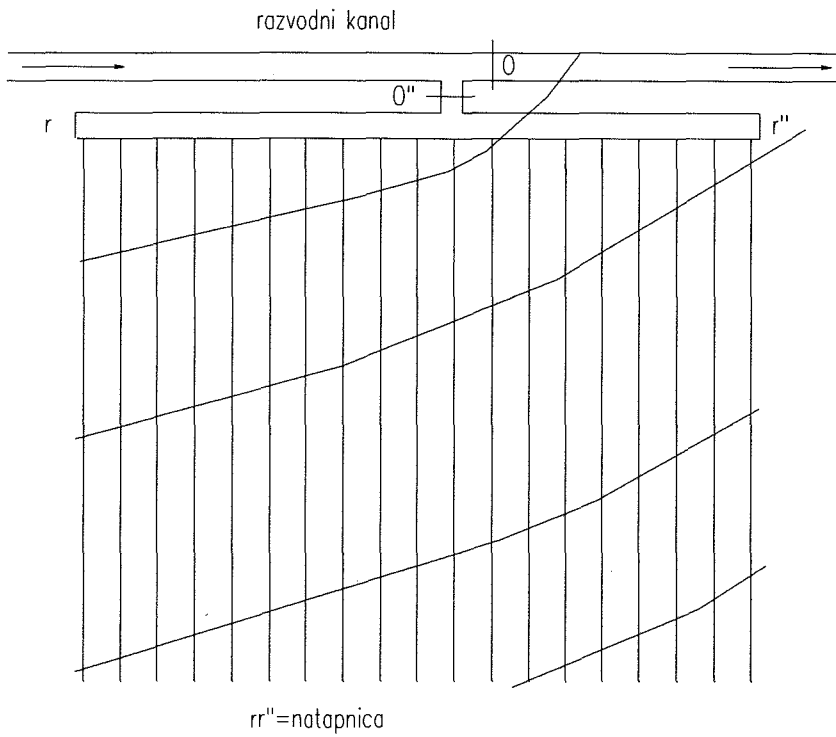
#### a) Površinski dovod vode

Ta se metoda površinskog natapanja realizira izradom brazda na natapnoj površini, najčešće između redova usjeva na različitom razmaku (uglavnom od 0,60 do 1,25 m). Brazde su obično trapeznoga ili trokutastog oblika, dubine 15-20 cm, a širine u dnu između 25 i 35 cm.

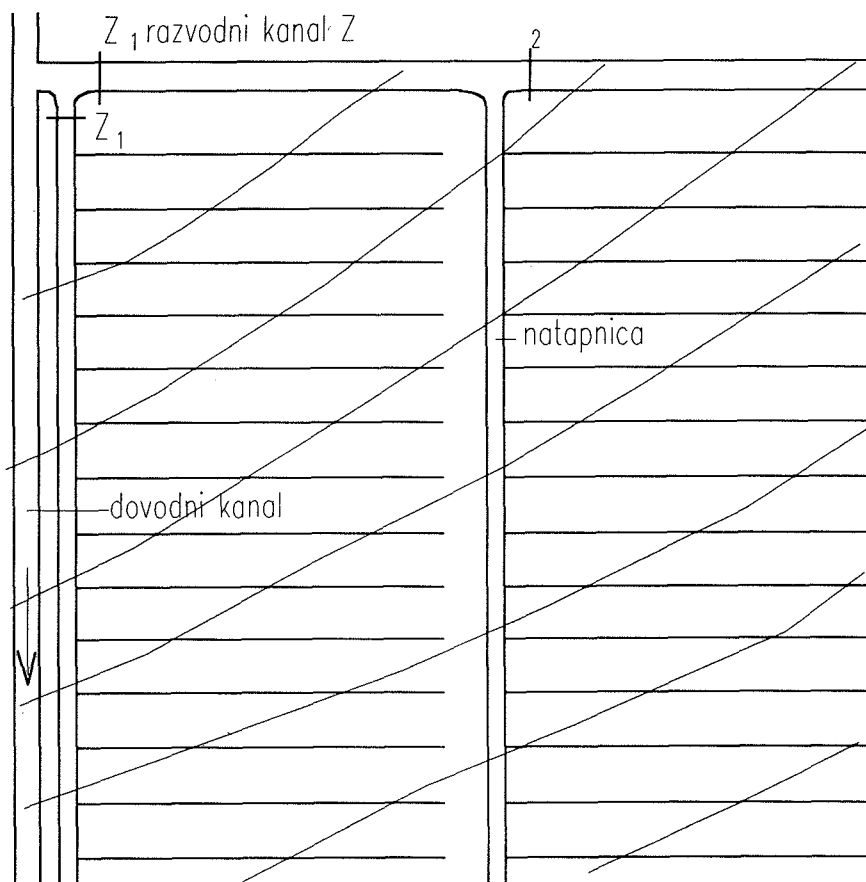
Primjena natapanja i vrsta brazde ovisi o usjevu koji se uzgaja, o vrsti i nagibu tla te o normi natapanja.

Taj se način može primijeniti kako za oranice, livade, voćnjake tako i za ostale drvenaste usjeve.

U ratarstvu se tlo koje se natapa podijeli na parcele (blokove) na kojima se formiraju lijehe koje su međusobno odijeljene brazdama. Voda koja protječe brazdama postupno se infiltrira u tlo između dviju brazda (lijeha) i na taj način natapa usjeve.



Sl. 42-5 *Primjena natapanja brazdama kod ratarskih usjeva gdje je nagib tla do 2%*



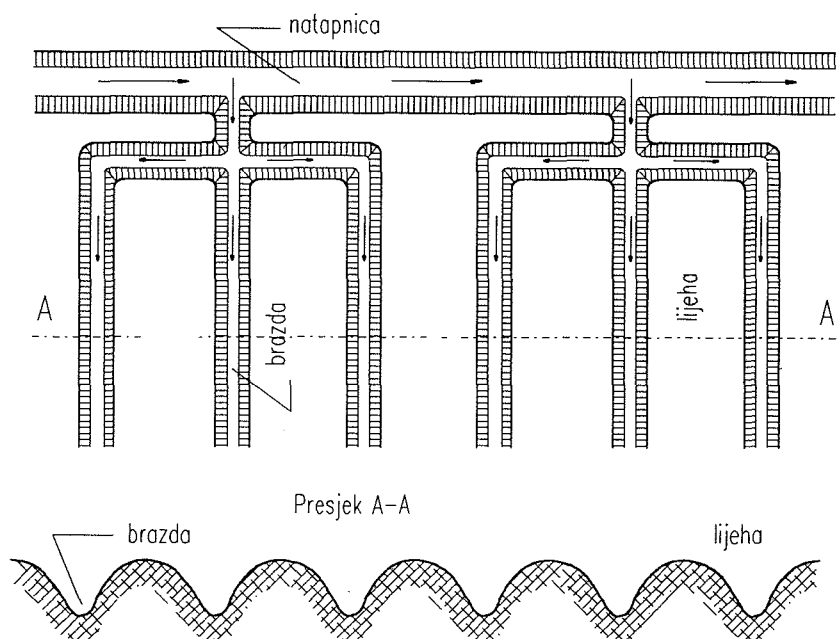
Sl. 42-6 *Primjena natapanja brazdama kod ratarskih usjeva gdje je pad veći od 2%*

Realizacija detaljnoga natapnog sustava u tom slučaju može uslijediti na dva načina: ili se najprije izrade natapne brazde, a potom se siju usjevi na lijehe između njih; ili se pak parcela izore, dobro izdrlja, potom posije usjev u redovima (npr. šećerna repa), a potom, kada biljke niknu, formiraju se između redova brazde koje služe za natapanje. Pri tome treba naglasiti da što su brazde bliže jedna drugoj, bolji su rezultati. Kod natapanja kukuruza, krumpira, šećerne repe itd., uobičajeno je da su razmaci brazda između 0,60 i 0,80 m.

Položaj brazda u odnosu na pad terena ovisi o veličini nagiba. Kod nagiba do 2% brazde mogu ići u smjeru najvećeg pada ili se polažu koso u odnosu na smjer najvećeg pada.

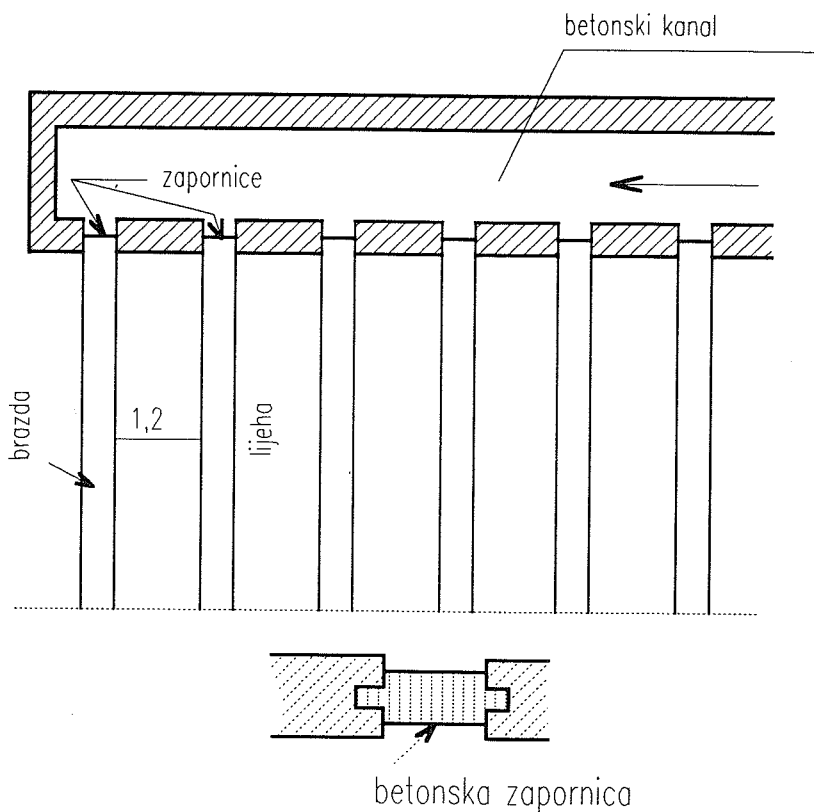
Brazde mogu biti paralelne ili okomite na natapnicu. Brazde ne primaju neposredno vodu iz natapnice, već iz natapne brazde čiji se dotok vode regulira pomoću jedne zapornice. I brazda natapnica, prema potrebi, može uzduž toka biti opskrbljena sekundarnim zapornicama koje reguliraju dotok u pojedine sektore, odnosno u određeni broj brazda.





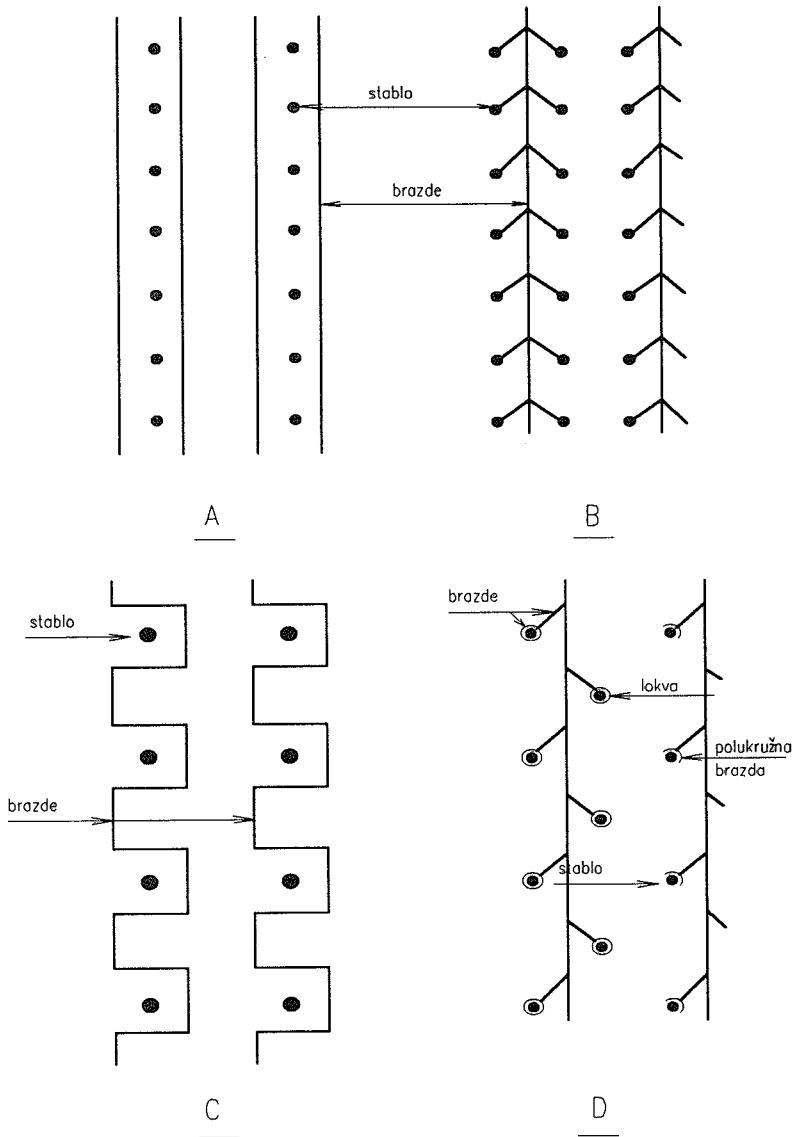
*Sl. 42-7 Natapanje brazdama povrtnjaka kod niskog kapaciteta izvorišta*

Pri opskrbi vodom povrtnarskih usjeva kod malog kapaciteta izvorišta (južna Europa, Sjeverna Afrika) obično se vodom opskrbljuje odjednom samo jedna do tri brazde (vidi sl. 42-7). Pri tome se obično raspoložuje s 40 - 50 l/s vode. Najčešće povrtnarski usjevi podnose znatno veće investicije od ratarskih, pa i natapni sustav može biti složeniji i skuplji. U tom se slučaju često gradi razvodna mreža s elementima iz cigle, zida i betona, opskrbljena zapornicama iz čelika, armiranog betona i sl., što omogućava svrhovitu i adekvatnu opskrbu vodom uzgajanih usjeva. Pri tome su uzgajane lijehe široke 1,0 do 1,5 m i relativno kratke. Na sl. 42-8 prikazan je jedan takav primjer.

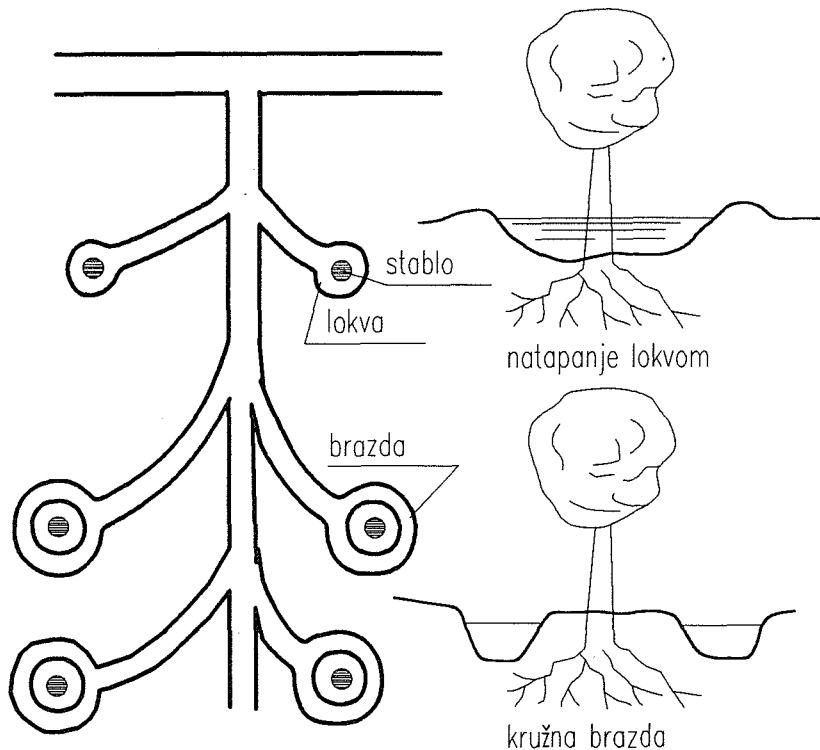


Sl. 42-8 *Primjer natapanja brazdama kod povrtnjaka*

Natapanje brazdama kod voćnjaka, vinograda i općenito drvenastih usjeva uzgajanih u redovima, veoma je rašireno. Voda se dovodi do drvoreda, bilo jednom ili više brazda, ravnom ili cik-cak shemom. S obzirom na to da svi ti usjevi imaju duboko zakorjenjivanje da se izbjegne povećani gubitak vode na ishlapljivanje te što brži priljev u zonu korijena, preporučljivo je brazde izvesti dublje negoli je uobičajeno kod ostalih usjeva (bar 20 cm). Razmak između brazda ovisi o rasporedu usjeva i o propusnosti tla. Metoda se najčešće primjenjuje za nagibe tla od 0,5 do 1%, a brazde se trasiraju okomito na smjer pada. Protok brazda ovisi o propusnosti tla i dužini brazda, ali se općenito nalazi između 0,5 i 3,5 l/s, dok im duljina može biti i veća od 200 m. Kod starijih nasada uobičajeno je primjenjivati shemu B ili D (sl. 42-9) u kojem se slučaju voda dovodi jednom brazdom položenom između dva drvoreda, a potom razvodi pomoćnim brazdama do svakog stabla. Neposredno natapanje stabala može se provesti bilo pomoću lokava ili kružnih brazda. Kružne brazde imaju izvjesnih prednosti, jer ne pospešuju pojavu i razvoj nekih bolesti na korijenovu sustavu stabla.



Sl. 42-9 *Moguće sheme natapanja drvoreda pomoću brazda*



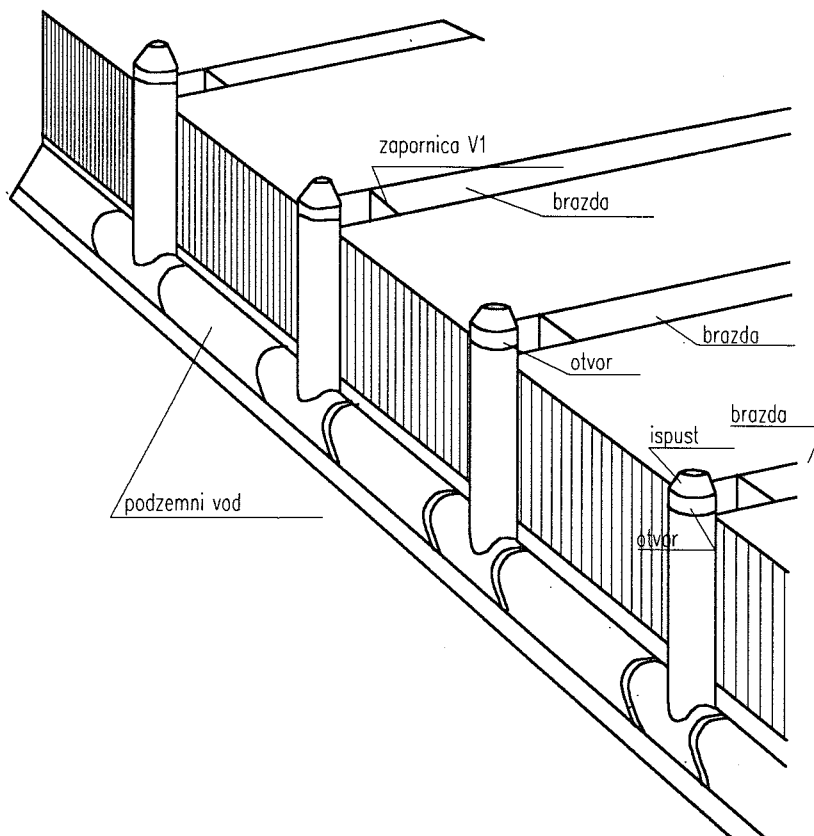
Sl. 42-10 Detalj natapanja kružnom brazdom ili lokvom

b) Podzemni dovod vode

Sve do sada opisane metode natapanja brazdama temelje se na mreži veoma razgranatog spleta površinskih dovodnika koji u nekim slučajevima bitno otežavaju, ili čak onemogućavaju, primjenu te metode za pojedine kulture. Tako npr. kod usjeva gustog sklopa, brazde predstavljaju značajan gubitak obradivog tla, a i poteškoće pri primjeni određene mehanizacije. Da bi se to izbjeglo, a i da bi se smanjili gubici na isparavanje površinskim razvodom, izrađeno je nekoliko sustava razvoda vode podzemnim cijevnim dovodima pod niskim tlakom. Obično se cijevi ugrade na 0,6 - 0,8 m ispod površine tla, a promjer ovisi o natapnoj površini, odnosno o natapnom modulu. Cijevi mogu biti od najrazličitijeg materijala (plastika, beton, metal).

Na početku svake brazde ili grupe brazda, nalazi se ispust u obliku vertikalnog priključka na podzemni dovod, a na vrhu je priključka zasun koji omogućava ispuštanje vode u natapnu brazdu. Na početku svake brazde nalazi se malen bazen za umirenje i razvod vode, opskrbljen zapornicom. Najčešće se primjenjuju cjevovodi od 200 mm, koji uz tlak od 0,015 m daju brzinu vode od oko 1,15 m/s i protok od oko 35 l/s, što je uobičajeni modul pri natapanju srednje propusnih tala.

Jedan tip te metode, koja se u literaturi često spominje kao metoda niskog tlaka (vidi sliku), naziva se još i "Kalifornijska metoda". Nema nikakve sumnje da je takav način razvoda vode prilično skuplji od površinskoga.



Sl. 42-11 Tip podzemnog dovoda vode u brazde

#### 4.3. PODZEMNO NATAPANJE INFILTRACIJOM

To je jedina metoda natapanja s uzlaznim kretanjem vode. Ima bitnih razlika u odnosu na često primjenjivane površinske metode, kako u prednostima tako i u manama, pa među stručnjacima o njoj ima kontroverznih mišljenja. Iako ima više pokušaja da se proširi, s većim brojem tipova i rješenja, nijedan nije još našao širu primjenu u inženjerskoj praksi. Najpoznatiji su sljedeći:

- a) natapanje podzemnom vodom otvorenim jarcima
- b) natapanje oborinskim vodama otvorenim jarcima
- c) natapanje podzemnim dovodima

##### *a) Natapanje podzemnom vodom otvorenim jarcima*

Ta se metoda pojavila u zapadnoj Europi, i to nakon odvodnje otvorenim jarcima velikih površina pašnjaka i livada. Pokazalo se, naime, da sustav za odvod viška vode, u ljetno sušno doba može poslužiti i za dovod manjka vode budući da tim načinom odvodnje tla ljeti obično trpe od suše. Zbog toga se došlo na ideju da se na odvodnoj mreži - kanalima osnovnoga i detaljnog sustava - na određenim mjestima - postave zapornice za reguliranje razine vode. Te će zapornice zimi biti otvorene, a ljeti će se njima regulirati razina vode i na taj način omogućiti natapanje uzlaznim kretanjem vode. Da bi se taj tip natapanja mogao primijeniti, prije nego je potrebno da pad tla bude minimalan.

U specifičnim prilikama, ta se metoda može primijeniti i za natapanje dovodom vode iz prirodnih vodotoka, s obzirom na to da se, obično, prirodna korita nalaze na uzvišenom terenu, pa postoji mogućnost da se voda, bez dizanja, dovodi na natapno područje.

Pokušavalo se taj tip natapanja primijeniti i na oranicama, ali s obzirom na to da su rovovi - da bi se adekvatno natopilo tlo - morali biti na međusobnom razmaku od oko 5 m - što je oduzimalo mnogo obradivog tla, a i onemogućivalo rad veće mehanizacije - nije se nikada razvio u većim razmjerima.

##### *b) Natapanje oborinskom vodom otvorenim jarcima*

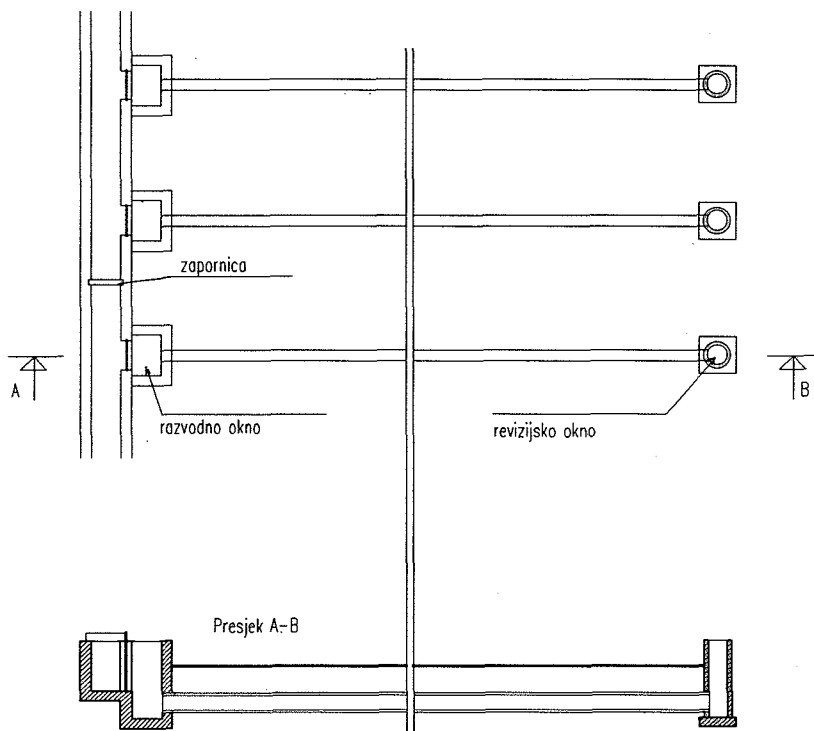
Kod tog se tipa, zapravo, ne radi o pravom natapanju, već da se, prilikom izrade protuerozijskih radova (rovova, terasa), oni upotrijebe za skladištenje vode u pedološkom horizontu, što će značajno unaprijediti razvoj kultura koje se tu uzgajaju.

Dakle, metoda se sastoji u tome da se na nekome nagnutom tlu (najčešće šuma ili livada), na određenim razmacima, paralelno sa slojnicama, iskopaju rovovi da bi zadržali oborinske vode radi naknadne infiltracije u tlo. Tako se sprečava otjecanje vode po padini i njezin negativan erozivni učinak. Funkciju takva načina natapanja imaju u nas razni tipovi terasa, gradona i sl., koji se masovno primjenjuju u projektima zaštite tla od erozije i pošumljavanja. Međutim, u oazama Sjeverne Afrike, radi iskorištavanja voda rijetkih pljuskova, primarna im je funkcija navodnjavanje lokalnih usjeva (najčešće maslina i palma).

Rovovi, odnosno terase dimanzioniraju se tako da prime pljusak od bar 4-5% postotne vjerojatnoće pojave (bolje je i veći) kako bi se sačuvalo što više vode. Najčešće je njihov razmak između 10 - 25 m (ovisno o nagibu i dubini tla), dubina 0,4 - 0,5 m, a širina 1,0 - 1,5 m (kod terasa znatno više).

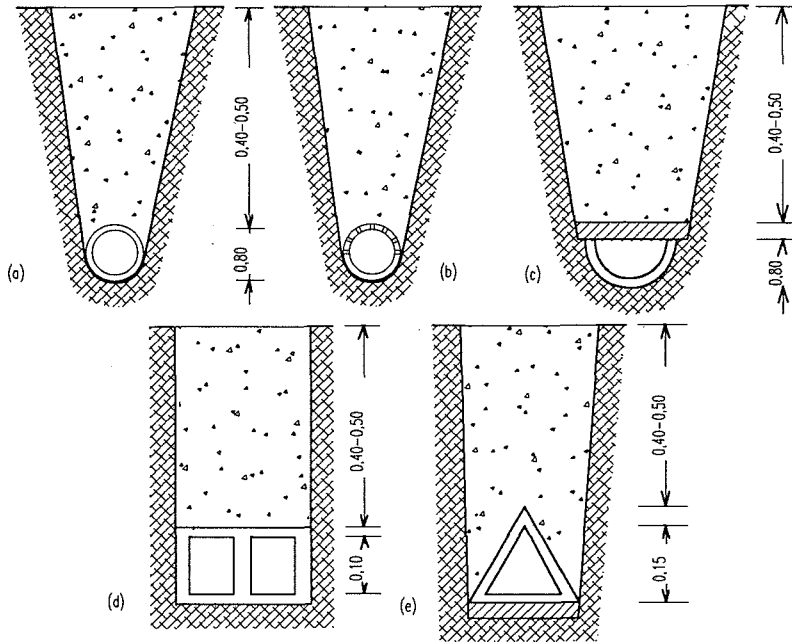
##### *c) Natapanje podzemnim dovodima*

Princip te metode sastoji se u ugradbi, na izvjesnoj dubini ispod razine tla, mreže dovoda (cjevovoda) iz kojih voda, pod manjim tlakom, istječe te se kapilarnim silama uzdiže u zonu korijenova sustava i tako ga natapa. Često se ta metoda zove i subirigacija.



Sl. 43-1 Shema jednog tipa natapanja subirigacijom

Ima veći broj tehničkih rješenja za realizaciju takva sustava. Jedan takav prikazan je na slici 43-1. Kao što je vidljivo, sustav se sastoji od razvodnog kanala koji obično teče u smjeru najvećeg pada (slobodno vodno lice - otvoreni tok), i to po rubu polja. Iz tog se kanala, na razmacima od 2-3 m granaju podzemni natapni cjevovodi do drugog ruba polja s padom od 2-5% više-manje paralelno sa slojnicama. Ovi natapni cjevovodi mogu biti različite izvedbe (vidi sl. 43-2), od običnih drenova do poroznih cijevi.



Sl. 43-2 Neka tipična rješenja podzemnih natapnih cjevovoda (subirigacije)

U primjeni te metode natapanja postoje značajna ograničenja. Ponajprije je tu tekstura tla. Može se primijeniti samo u tlima sitne teksture, tj. s malim postotkom pijeska, nikako većim od 20%, i s razvijenim kapilarnim svojstvima. Čini se da ni na tlima koja po svojstvima odgovaraju primjeni te metode nisu do sada postignuti zadovoljavajući rezultati. Razlog je tome što se za koliko-toliko ravnomjernu raspodjelu vode po natapnoj površini moraju podzemni natapni cjevovodi polagati na razmaku ne većem od 5 m (obično 2-3 m) i na dubini od 0,5 - 0,6 m. Prvi uvjet nalaže veoma visoke troškove investicije, a drugi može biti uzrokom prodora žilja u otvore i međuprostore cijevi, što im ubrzo bitno smanji upotrebnu učinkovitost.

Rješenja su nekih natapnih cjevovoda, koji se često primjenjuju, a koji su prikazani na sl. 43-2, sljedeća:

- kratke cijevi bez spojnica odnosno spojnog materijala, kao što je npr. drenska mreža (primjer a),
- cjevovodi s brtvljenim spojnica, ali izbušeni na gornjoj polutki - tip Ulpiani (primjer b),
- dovodi od polucijevi iz kamenštine međusobno brtvljenih cementnim mortom i pokrivenih tavelicama sa slobodnim spojnica - tip Samarani (primjer c),
- vodovi od pravokutne blok-opeke s dva otvora i međusobno nebrtvljenim spojnica - tip Sernagiotto (primjer d),
- vodovi iz trokutastih glinenih cijevi s brtvljenim spojnica u osnovi i slobodnim na objema stranama - tip Cancellara (primjer e).

Dakako, za tu metodu natapanja može se upotrijebiti i bilo koji drugi tip voda koji zadovoljava navedene zahtjeve. Tako se vrlo često za tu namjenu primjenjuju drenažne cijevi, samo što moraju biti položene na manju dubinu, jer se u protivnom



najčešće gube velike količine vode, zatim razni tipovi poroznih plastičnih cijevi itd. Natapni se cjevovodi obično polažu između dva revizijska okna kako bi bila omogućena kontrola.

Poseban je tip te metode kada se voda tlači u podzemne cjevovode sve dok se ne pojavi na površini. Pojavljuje se u literaturi pod nazivom Petersonov. Primjenjuje se u natapanju livada, a cjevovodi su mu na nešto većoj dubini negoli kod gravitacijskog rješenja.

Visoka cijena izvedbe tog sustava, niska učinkovitost u pjeskovitim tlima te začepljenje pri upotrebi zamuljenih voda, nisu mu do sada osigurali širu primjenu.

Ipak treba naglasiti da se s obzirom na minimalne smetnje na površini, mali utrošak vode i mogućnost automatskog pogona, često primjenjuje za natapanje parkova, sportskih terena i manjih vrtova.

#### 4.4. NEKE UPUTE ZA PROJEKTIRANJE NATAPANJA INFILTRACIJOM

Općenito uzevši, podaci koje je prijeko potrebno prikupiti prije nego što se počne projektirati natapanje infiltracijom (što vrijedi i za ostale površinske načine) jesu sljedeći:

a) vrsta raspoložive natapne vode s osnovnim pokazateljima o godišnje raspoloživom volumenu, načinu dobave i raspoloživom tlaku, protoku, trajanju i učestalosti te njenoj kakvoći;

b) detaljni topografski snimak natapnog područja iz kojeg se mogu odrediti glavni nagibi tla, valovitost, lokacije dovoda vode i svih elemenata osnovne i detaljne odvodne mreže;

c) fizičke i kemijske značajke tla, naročito veličina vodopropusnosti, vodnog kapaciteta, saliniteta i propusnosti po dubini;

d) raspored planiranih usjeva, njihova potreba za vodom te poseban osvrt na kompatibilnost natapnog sustava s agrotehničkim operacijama usjeva (sjetva, žetva) i njihovim fenološkim fazama razvoja; i

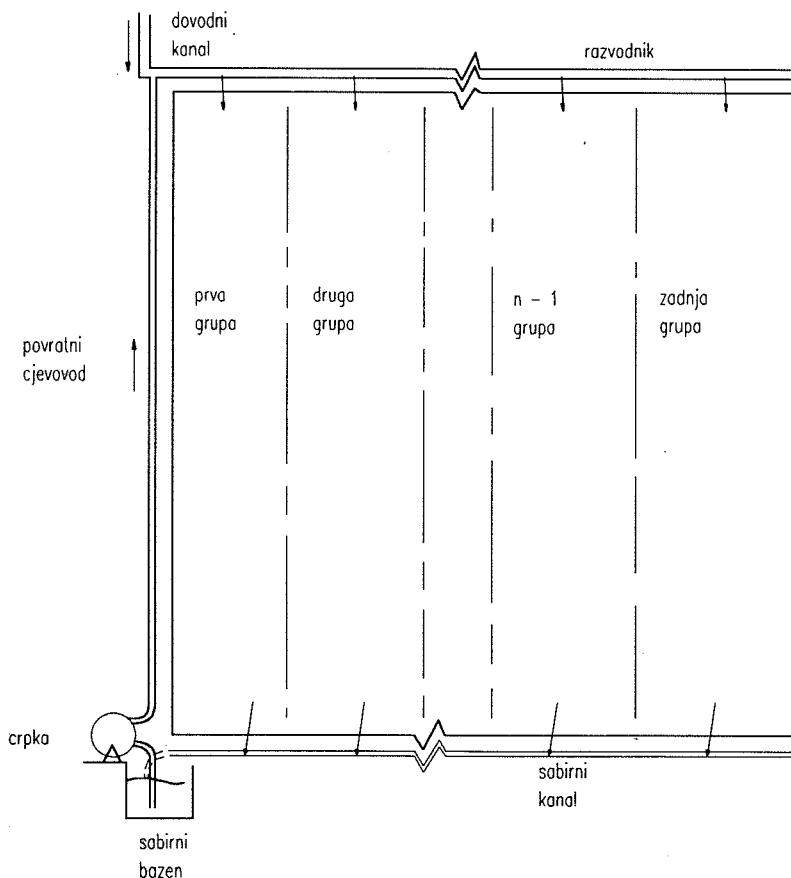
e) mogućnosti plasmana uroda, raspoloživost kvalificirane radne snage, službe održavanja i servisiranja, investicijskih sredstava te ostaloga za adekvatan pogon (energija, gnojivo, sjeme, zaštitna sredstva i dr.).

U literaturi se najčešće, u ovisnosti o režimu toka vode u brazdi, one dijele u sljedeće tri skupine:

- protočne brazde, s kontinuiranim jednolikim tokom vode za čitavo vrijeme zalijevanja i s istjecanjem viška vode u odvodni kanal (vidi sliku). Neupotrijebljena se voda može ponovno upotrijebiti u drugoj etaži ili crpkom prebaciti u natapni kanal ili će pak oteći odvodnom mrežom u recipijent;

- protočne brazde sa slobodnim istjecanjem i dvojnim režimom protoka, tj. sa smanjenim protokom nakon što je mlaz dostigao nizvodni kraj brazde i s nastavkom natapanja sve dok se tlu ne dostavi planirana norma; i

- potopljene se brazde (slijepe brazde) upotrebljavaju za tla bez pada. Brazde se pune vodom pazeći da ne nastane površinsko otjecanje, a voda stagnira dok je tlo ne upije.



*Sl. 44-1 Shema konfiguracije za ponovnu upotrebu vode i faze natapanja parcele*

Jedan od bitnih elemenata pri projektiranju brazda sastoji se u usklađivanju raspoložive količine vode (po količini i vremenu) s potrebama polja. Kod malih polja (parcela) obično je raspoloživa količina vode dovoljna da zadovolji sve potrebe kada se primjenjuje simultano. Ipak, opće je pravilo da se polje podijeli u sekcije, odnosno skupine brazda (ili dijelova polja kod drugih načina: bazena, preljevni polja i sl.) i redom natapa jedna iza druge. Tu podjelu na sekcije treba provesti tako da zadovolji uvjete o raspoloživoj količini vode i potrebama poljoprivrednih usjeva. Nakon takvoga operativnog plana može se pristupiti realizaciji projekta za planiranje tla, odnosno stvoriti uvjete da se koncepcija natapanja i realizira.

Nakon toga prelazi se na planiranje i dimenzioniranje pojedinih elemenata, odnosno građevina natapnog sustava. S obzirom na to da je brzina vode u brazdi funkcija doziranog protoka, infiltracijskih značajki tla, oblika brazde i njezina nagiba, duljine i hrapavosti, potrebno joj je posvetiti nužnu pažnju. Kod dobro projektiranih

brazda gubitak zbog poniranja ne bi smio iznositi više od 20-25%. Kod brazda većih duljina pojavljuje se problem neravnomjerne raspodjele vode po duljini, tj. što je presjek brazde udaljeniji od početka, to je količina isporučene vode tlu manja. Prema tome, na početnom dijelu imamo prekomjerno vlaženje, a na završnom nedovoljno. Da bi se taj nedostatak koliko-toliko otklonio, u raznim zemljama svijeta provedena su značajna praktična i teoretska istraživanja.

#### 4.5. RAČUNSKI PRIMJERI

##### Primjer 1.

Pretpostavka: protočne brazde s dvojnim režimom protoka.

Zadano:

natapni modul :  $Q = 50 \text{ l/s}$

kapacitet teglica :  $q_2 = 1 \text{ l/s}$

upijanje tla :  $k = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$

razmak brazda :  $b = 0,70 \text{ m}$

omogućeni obod brazde :  $e = 0,20 \text{ m}$

natapna norma :  $n = 500 \text{ m}^3/\text{ha} = 50 \text{ mm}$

Sa zadanim natapnim modulom možemo jednovremeno natapati:

$$\frac{Q}{q_2} = \frac{50}{1,0} = 50 \text{ brazda}$$

Početni protok potreban za brzo punjenje brazde,  $q_1$ , a u vremenu  $t_1$  treba da je nekoliko puta veći od  $q_2$ , ali uz uvjet da ne izaziva eroziju brazde. Uzet ćemo da je  $n = 3$  (uvijek se uzima cijeli broj).

Prema tome imamo:

$$\frac{q_1}{q_2} = n, \text{ te } \frac{t_2}{T_1} = N$$

iz čega slijedi :

$$q_1 = n \cdot q_2 = 3 \cdot 1,0 = 3 \text{ l/s}$$

gdje je  $t_1$  vrijeme punjenja brazda, a  $t_2$  sukcesivno vrijeme natapanja.

Prema postavljenom uvjetu pogona znamo da u drugoj fazi natapanja, tj. u vremenu  $t_2$ , protok u brazdi mora zadovoljiti odnos :

$$q_2 = k \cdot L \cdot e$$

odnosno maksimalna količina vode ni u kom trenutku ne smije prekoračiti vrijednost kapaciteta upijanja tla. Iz tog izraza može se izračunati dužinu brazde, tj.:

$$L = \frac{q_2}{k \cdot e} = \frac{1,0 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,2} = 100 \text{ m}$$

Kako je natapna norma utvrđena s 500 m<sup>3</sup>/ha, znači da će svaka brazda primiti volumen vode od:

$$L = \frac{500}{10000} \cdot (100 \cdot 0,7) = 3,50 \text{ m}^3$$

Uz početni protok  $q_1 = 3,0 \text{ l/s} = 3 q_2$ , te trajanje  $t_2 = 2 t_1$  uz  $N = 2$  ( $N$  je uvijek cijeli broj;  $N = 2, 3, 4$ ), imat ćemo ukupni volumen dostave :

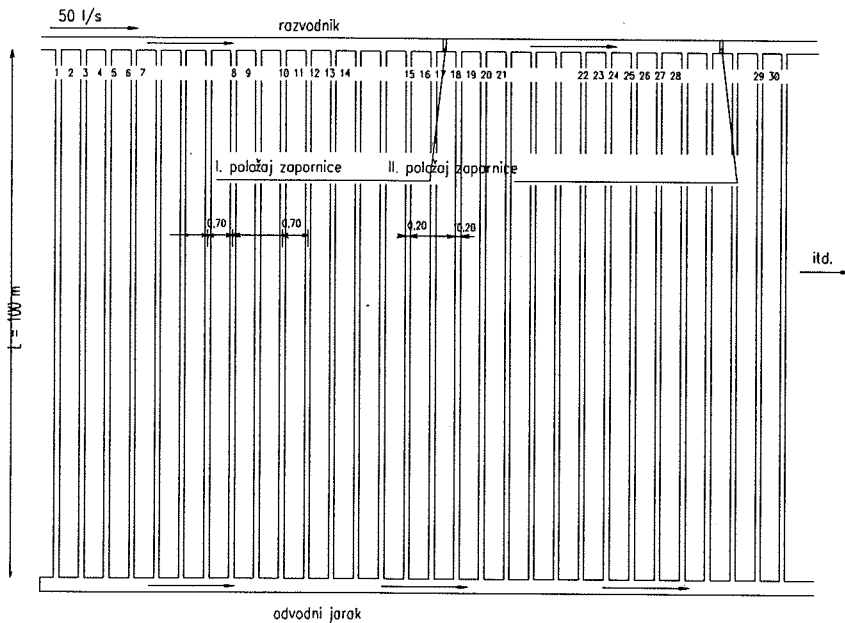
$$V = q_1 \cdot T_1 + q_2 \cdot t_2 = (n \cdot q_2) \cdot t_1 + q_2 (N \cdot t_1) =$$

$$q_2 \cdot t_1 (n + N) = 1,0 \cdot t_1 (3 + 2) = 3,50 \text{ m}^3$$

odakle dobivamo da je:

$$t_1 = \frac{3500}{5} = 700 \text{ s} = 12 \text{ min}$$

Prema tome, vrijeme punjenja  $t_1$  iznosi 12 minuta, iz čega slijedi da je sukcesivno vrijeme natapanja 24 minute.



Sl. 45-1 Shema organizacije natapanja prema računskom primjeru

Na temelju tog proračuna učinjena je shema natapanja parcele koja je prikazana na slici 45-1. Natapanje se provodi u koracima kako slijedi :

1.korak (od  $t = 0$  do  $t = t_1$ )

Za prvu grupu od 16 brazda montiraju se po 3 teglice na svaku ( $n=3$ ) radi brzog punjenja. Trajanje te faze iznosi (po proračunu) 12 min., s protokom po brazdi od  $q_2 = 3$ ;  $q_1 = 3$  l/s.

2.korak (od  $t = t_1$  do  $t = t_2$ )

Najprije se skidaju 32 sifona (tegllice) s grupe brazda od 1 do 16, jer se one u drugoj fazi (faza natapanja) opskrbljuju samo s  $q_2 = 1,0$  l/s odnosno jednom teglicom. Sada se s 34 (32 + 2 neiskorištene u prvoj fazi) teglice natapa druga grupa od 11 brazda (17 - 27) s protokom  $q_1 = 3$  l/s. Dakle, sada imamo:

16 brazda u drugoj fazi natapanja (1 - 16) i

11 brazda u prvoj fazi natapanja (17 - 27).

3.korak

Skidamo 16 teglica u prvoj grupi i 22 u drugoj grupi te, s jednom rezervnom, ukupno raspoložemo s 39 teglica. Njih rasporedimo za natapanje 13 brazda treće grupe, i to u prvoj fazi. U trećem koraku imamo:

11 brazda u drugoj fazi natapanja (17 - 27) i

13 brazda u prvoj fazi (28 - 40).

4.korak

Skidamo 11 teglica druge faze i 26 prve faze treće grupe i sa 37 raspoloživih natapamo u prvoj fazi 12 brazda (41 - 52). U četvrtom koraku imamo:

13 brazda u drugoj fazi natapanja (17 - 27) i

12 brazda u prvoj fazi (41 - 52).

##### 5.korak

Skidamo 13 teglica druge faze i 24 prve faze te ukupno raspolažemo s 37 teglica, što nam omogućuje da u prvoj fazi natapamo 12 brazda (53 - 64). U petom koraku imamo:

12 brazda u drugoj fazi (41 - 52) i

12 brazda u prvoj fazi (53 - 64),

čime smo došli do ustaljenog režima natapanja od po 12 brazda u prvoj i drugoj fazi natapanja. Prema tome, bez obzira na veličinu natapne parcele, u sljedećim frazama uvijek će ostati jednak odnos natapanih brazda u prvoj i drugoj fazi.

#### 4.6. OCJENA NATAPANJA INFILTRACIJOM

Adekvatna ocjena natapanja infiltracijom može se provesti u poljskim uvjetima, na tipičnu dijelu parcele, nakon što se odrede ili izmjere sljedeće veličine:

1. veličina natapnog modula (od najvećega do najmanjega);
2. brzina napredovanja mlaza različite veličine;
3. maksimalna veličina modula (mlaza) ograničena erozijom ili kapacitetom (protokom) brazde;
4. veličina upijanja brazde;
5. stanje brazde (nova, korištena, hrapava i sl.);
6. deficit vlage tla;
7. najveći dopustivi razmak brazda koji još uvijek omogućava adekvatno vlaženje čitave površine tla u planiranome vremenu natapanja; i
8. podobnost te vrste natapanja u odnosu na dubinu prodiranja i bočno širenje vode.

Kada su te predradnje gotove, pristupa se utvrđivanju osnovnih pokazatelja kvalitete sustava, i to:

- uniformnosti raspodjele (obično *CU* ili *DU*);
- potencijalne učinkovitosti natapnog sustava (obično *PE*);
- stvarne učinkovitosti uskladištene vode (obično *AE*).

Uniformnost (jednoličnost) raspodjele treba analizirati za veći broj slučajeva kako bi se mogla preporučiti najpovoljnija kombinacija. U općem slučaju, *DU* se dobiva po već ranije citiranom obrascu:

$$DU = (\text{minimalna visina infiltrirane vode u mm} / \text{prosječna visina infiltracije}) \cdot 100$$

Potencijalna učinkovitost natapnog sustava dobiva se kada je minimalna visina infiltrirane vode upravo jednaka deficitu vlage tla. To je zapravo odnos između minimalne količine infiltrirane vode i srednje količine dodane vode (sve u mm). Dakle, imamo:

$$PE = (\text{minimalna količina infiltrirane vode} / \text{srednja količina dodane vode}) \cdot 100$$

Stvarna učinkovitost natapnog sustava daje nam informaciju o tome koliko je od dodane količine vode ostalo u tlu nakon svih gubitaka (duboko poniranje) i raspoloživo je bilju, i to na najkritičnijem mjestu, odnosno na mjestu gdje je tlo upilo najmanju količinu vode. Prema tome, ta se vrijednost može izraziti kao:

$$AE = (\text{minimalna količina uskladištena u zoni korijena} / \text{prosječno dodana količina}) \cdot 100$$

I, na kraju, treba naglasiti da ocjene kvalitete (podobnosti) pojedinih sustava moraju biti u funkciji upravljanja, tj. moraju se analizirati i pojedini gospodarsko-novčani parametri, a tek nakon cjelovite analize moguće je dati odgovor na pitanje o preporuci primjene određenog načina natapanja. Dakle, potrebno je još analizirati sljedeće:

- cijenu vode (po m<sup>3</sup> ili paušalno)
- cijenu radne snage
- visinu investicije
- probleme izazvane viškom vode (otjecanje), itd.

Ovdje treba još naglasiti da su sva potrebna mjerenja u poljskim uvjetima uglavnom informativna te da se kod tog natapanja značajniji utrošak radne snage ne može izbjeći. Nadalje, tu se pojavljuje problem pravovremenog isključenja dotoka vode kako bi se izbjeglo otjecanje. Povoljna je, međutim, okolnost da značajno prekoračenje vremena dotoka u manjoj mjeri povećava gubitke na duboko poniranje (obično samo oko 20%).

Fleksibilnost u učestalosti, količini i trajanju natapanja bitna je pretpostavka za postizanje visoke učinkovitosti i smanjenja potrebe za radnom snagom. Između ostaloga, veličina modula mora biti takva da osigura zaposlenost vodara kao i adekvatnu početnu fazu punjenja u svim brazdama. Preliminarnom studijom (analizom) mora se osigurati odgovarajuća usklađenost između investicijskih troškova, troškova radne snage i utroška vode. Jedino na taj način dobit će se natapni plan koji će moći zadovoljiti izazove vremena i osigurati adekvatan uspjeh u poljoprivrednoj proizvodnji.

## LITERATURA

1. Cancellara, E.: Irrigazione Aziendale e Collettiva, REDA, Roma, 1958.
2. Constantinidis, C.: Bonifica ed Irrigazione, Edagricole, Bologna, 1970.
3. Di Ricco, G.: Le Irrigazioni dei Terreni, Edizioni Agricole, Bologna, 1970.
4. Izraelsen, I.: Praktične osnove navodnjavanja, "Građevinska knjiga", Beograd, 1956.
5. Jensen, M.E.: Design and Operation of Farm Irrigation Systems, ASAE, 1981.
6. Kos, Z.: Hidrotehničke melioracije tla, II dio, Navodnjavanje, Školska knjiga, Zagreb, 1987.
7. Poiree M. - Ollier, Ch.: Irrigation, Eyrolles, Paris, 1957.
8. Ollier, Ch. - Poiree, M.: Irrigation, 5<sup>o</sup> Edition, Eyrolles, Paris, 1981.
9. Trisoldi, A.: L'Irrigazione, Edizioni Agricole, Bologna, 1965.
10. Walker, W.R.: Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems, FAO, Irrigation and drainage paper 45. Rome, 1989.



## 5. NATAPANJE KIŠENJEM

**Prof.dr. OGNJEN BONACCI**

Građevinski fakultet  
Sveučilišta u Splitu

### 5.1. TEORIJSKE OSNOVE

#### 5.1.1. Uvod

Natapanje kišenjem pripada novijem načinu natapanja za koji je potrebna oprema i tehnologija koje se iz godine u godinu mijenjaju i sve više razvijaju i usavršavaju. Kako se prilikom natapanja kišenjem voda bilju dovodi odozgo, kišenje predstavlja jednu vrstu simuliranja prirodnog procesa padanja oborina. Zbog toga se ta vrsta natapanja najviše približila prirodnom načinu opskrbe vodom tla što se može smatrati jednom od njenih prednosti, primarno zbog mogućnosti lakše prilagodbe svim vrstama bilja, tala ali i topografiji, a sekundarno i zbog činjenice što se relativno dosta zna o svim aspektima odnosa prirodne kiše i vegetacije kao i tala. Iskustva stečena s prirodnom kišom mogu se primijeniti za poboljšanje djelovanja umjetne kiše na bilje i tlo, tj. za takvo projektiranje natapanja kišenjem kojim će se izbjeći sve ili barem većina negativnih posljedica koje prirodna kiša može izazvati na bilju i tlu.

U ovom radu naglasak neće biti stavljen na projektiranje, funkcioniranje te opremu koja se upotrebljava prilikom natapanja kišenjem, već na sekundarne efekte procesa koje izaziva kišenje, dakle padanje kapi vode iz zraka na biljku i tlo. Taj je aspekt od velike važnosti u postupku natapanja kišenjem. Kvaliteta i količina uzgojenoga kulturnog bilja koje se natapa kišenjem ne zavisi samo o količini dostavljene vode, već i o nizu drugih faktora kao što su: 1. veličina kapljice umjetne kiše; 2. brzina udaranja kapljice o tlo; 3. intenzitet kiše; 4. jednolikost kiše; 5. struktura zemljišta; 6. veličina otvora, oblik i hrapavost mlaznice; 7. kut izbacivanja mlaza; 8. tlak, rotacija i udaljenost od rasprskivača; 9. infiltracijske karakteristike tla; 10. vrsta kulturnog bilja koje se natapa kišenjem; 11. vegetacijska faza u kojoj se bilje nalazi te brojni drugi faktori.

Na rješavanju spomenutih kao i ostalih problema rade već dugo vremena mnoge stručne i znanstvene institucije u svijetu. Zaključci su sve brojniji i sve primjereniji inženjerskoj praksi, ali su još uvijek daleko od potrebnih odgovora na složena, ali važna pitanja. Što više, postoji određeni raskorak između istraživanja koja su velikom većinom radena u laboratorijskim (dakle idealnim uvjetima) i zahtjeva koje nameće praksa.

Zbivanja u praksi, na polju, mijenjaju se vrlo brzo kako u prostoru tako i u vremenu pod utjecajem brojnih činilaca kao što su: 1. vjetar; 2. temperatura zraka; 3. relativna vlažnost; 4. sijanje Sunca; 5. evapotranspiracija; 6. promjena pogonskih uvjeta i kvalitete te održavanja strojeva za kišenje itd.

Još jednom se u uvodu naglašava da će ovaj rad biti posvećen teorijskim i praktičnim aspektima krupnoće i raspodjele umjetne kiše te da neće biti opisani inženjersko-praktičarski aspekti opreme i postupaka natapanja kišenjem. Kod toga će se čitaocu pokušati približiti ti aspekti problema i ukazati na njihovu važnost jer se često zanemaruju te zbog toga izazivaju značajne negativne efekte, a čak i smanjenje poljoprivredne proizvodnje. Neupućeni suviše često smatraju da su kupnjom neke opreme za kišenje u cijelosti riješili probleme natapanja, a time i proizvodnje hrane. Stvari u praksi nisu ni približno takve. Tek nakon kupnje i instaliranja opreme za natapanje kišenjem treba započeti jedan drugi i značajniji proces izučavanja pozitivnih, ali i brojnih negativnih efekata koje takva oprema izaziva na tlu i bilju. Za provedbu tog zadatka primarno je potrebno upoznati neke teorijske aspekte problema kao i metode praktičnog mjerenja u poljskim uvjetima. Ovaj rad ima upravo tu svrhu.

### 5.1.2. Analiza sastava umjetne kiše

Prednost umjetne kiše pred prirodnom leži u činjenici da karakteristikama prve čovjek može upravljati prema svom sudu, dakle da se postignu optimalni efekti i da se izbjegnu brojne negativne posljedice koje izazivaju prirodne kiše prevelika intenziteta, suviše velika krupnoća kišnih kapi itd. Gotovo da i nije potrebno istaći da je osnovna prednost umjetne kiše u činjenici da se nju može proizvesti i dostaviti tlu i bilju upravo onda kada je njima najpotrebnija, a kada prirodne kiše nema.

Nerijetko smo svjedoci činjenice da dugo i željno očekivane prirodne kiše kada padnu sa prejakim intenzitetom u prevelikim iznosima te uz to imaju i nepovoljni granulometrijski sastav (prekrupne kišne kapi) izazovu štete na bilju i tlu tj. unište bilje i erodiraju tlo. Prilikom umjetnog kišenja, dakle natapanja kišenjem, u mogućnosti smo da osiguramo takvo funkcioniranje sustava da se negativni efekti u cijelosti izbjegnu, a da se pozitivni postignu. Međutim za postizanje takvog cilja prijeko je potrebno poznavati teoriju problema te stalno pratiti funkcioniranje sustava u poljskim uvjetima.

Granični dozvoljeni intenzitet kiše jest maksimalni intenzitet umjetne kiše koji se smije dostavljati na određenu parcelu. Njegova vrijednost zavisi o: 1. vrsti zemljišta; 2. uzgojnom kulturnom bilju i njegovu vegetacijskom sklopu; 3. veličini kišne kapi. Jedino primjera radi navode se rezultati Preobraženskaje (1953.) o odnosu intenziteta kiše, promjera kapljice kiše, količine natapne vode i dubine vlaženja. Iz njenih istraživanja uočava se da se granični dozvoljeni intenzitet kiše smanjuje s povećanjem promjera kapi. Ujedno se s povećanjem intenziteta kiše naglo smanjuje količina natapne vode do pojave barica na površini tla. Što je intenzitet kiše veći to je dubina vlaženja do pojave barica na površini tla manja. Dokazano je ujedno da se natapanjem kišenjem većeg intenziteta i veće krupnoće kapi razara struktura zemljišta, što može izazvati, i generalno izaziva, vrlo negativne efekte stvaranja pokorice, brzog formiranja otjecanja po terenu, razbijanje zemljišnog agregata u sitnije frakcije te konačno eroziju i odnošenje zemljišta. Zvuči kao nonsens da s kišom velikog intenziteta treba natapati s

količinama vode bitno većim od stvarno potrebnih normi natapanja. Zbog otjecanja po terenu, kao i zbog stvaranja barica na tlu, tj. akumuliranja vode u prirodnim i kišom stvorenim depresijama, gubici umjetne kiše povećavaju se, i to znatno u funkciji povećanja intenziteta ali i krupnoće kapi.

Općevaljani principi koji su prije spomenuti, vrlo se razlikuju u kvantitativnim iznosima u zavisnosti od: 1. tipa tla te 2. vrste i razvojna stanja vegetacije. Definitivno proizlazi zaključak da umjetno kišenje treba tako projektirati i primjenjivati u praksi da se parceli i vegetaciji na njoj dađe prijeko potrebna norma natapanja uz što manje gubitke vode, izbjegavajući razaranja strukture tla kao i bez ikakvih štetnih posljedica na samo bilje. Kiša jakog intenziteta i, uz to, s velikim kapima može razoriti i strukturu biljke posebno u nekim vrlo osjetljivim fazama njena razvoja kao što je npr. cvjetanje.

Naknadno će se navesti nekoliko generalnih zaključaka u vezi s problematikom o kojoj se raspravlja. Kiša krupnoga granulometrijskog sastava razbija strukturu (usitnjava), ali i sabija površinski sloj tla na dubini od 0 do 3 cm. Utjecaj veličine kišne kapi najjači je u fazi natapanja kada zemljište još nije zaštićeno lišćem, tj. dok biljka nije razvila gušći lisni sklop. Prema tome, tijekom vegetacijskog razdoblja moguće je povećavati veličinu kišnih kapi. Intenzitet kiše ne smije prelaziti kapacitet infiltracije. To znači da bi barem teorijski trebalo smanjivati intenzitet umjetne kiše tijekom natapanja. Kako je to praktički ili neizvedivo ili teško izvedivo, povoljni efekti postižu se prekidima kišenja. O tom će se problemu govoriti u poglavlju o odnosu kišenja i infiltracije. Svi teoretičari i praktičari natapanja kišenjem slažu se da se kišenjem sitnijim kapima može povećati intenzitet kiše te tako postići i veća produktivnost strojeva za kišenje. Međutim, kišenje s previše sitnim kapima ima također svojih nezanemarljivih mana. Svaki, pa i najmanji, vjetar odnosi sitne kapi s parcele za navodnjavanje te time povećava količinu vode bitno iznad norme natapanja. Osim toga, gubici na isparavanju već tijekom leta sitnih kišnih kapi iz mlaznice do tla znatno su veći ako su kapi sitnije. I o tim problemima govorit će se u posebnim poglavljima. Specijalan negativni aspekt problema stvaranja umjetne kiše sa sitnim kapima leži u činjenici da je sitne kapi moguće stvoriti samo uz postojanje većega radnog tlaka u mlaznicama pri natapanju kišenjem. Analize su pokazale da pri istom promjeru mlaznice ( $d = 3,8 \text{ mm}$ ) uz tlak 4,5 i 1,5 bara, utrošak je energije 3,2 puta veći za 3 puta veći tlak. Zapravo, s tlakom od 4,5 bara postiže se zadovoljavajuće fini (sitni) granulometrijski sastav kapi kiše, što se s nižim tlakom ne postiže. Tim se činjenicama (Momčilović, 1981.) ukazalo na dodatnu složenost problema koji ima svoje ekonomske kriterije, ali i mjerila. Sve spomenute elemente, a vjerojatno i neke druge, trebalo bi uzeti u obzir prilikom projektiranja i eksploatacije sustava za natapanje kišenjem.

Prema podacima brojnih istraživača, Momčilović (1981.) sistematizira i navodi sljedeće aspekte na koje utječe granulometrijski sastav kiše: 1. izbor opreme za kišenje; 2. struktura i hidrodinamički parametri zemljišta; 3. utrošak vode kao norme natapanja, gubitaka vode te turnuse natapanja; 4. utjecaj na produktivnost žetvenog prinosa; 5. utrošak energije; 6. organizacija rada; 7. ekonomičnost natapanja. Razlozi su dovoljni da se problemu granulometrijskog sastava ili finoće kiše posveti ozbiljna pažnja.

## 5.1.3. Činioci koji utječu na granulometrijski sastav umjetne kiše

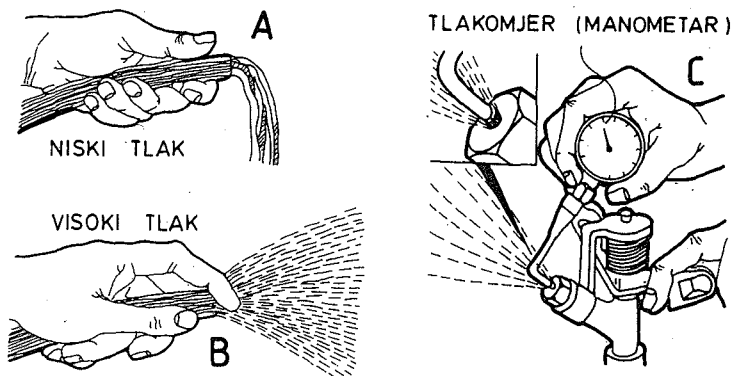
Voda prilikom izlaska iz otvora cijevi, tj. mlaznice, može se rasprskati na sljedeća tri načina: 1. kvrgavi; 2. sinusoidni; 3. raspršeni. Za umjetno je kišenje posljednje navedeni način od primarnog interesa. Fizikalno objašnjenje kretanja slobodne struje vode i njena razbijanja u kapi spada u složenije i još uvijek ne do kraja riješene probleme hidrodinamike.

Blanchard (1950.) je u zračnom tunelu proučavao kretanje kapljica vode kroz zrak. Ustanovio je da se pod utjecajem otpora zraka kap vode iz oblika kugle deformira u elipsoid. Pri kretanju, kapi vode rotiraju oko kraće vertikalne osi. Dolazi i do periodičnih oscilacija koje izazivaju deformacije kapi. Prouzročene su silama površinskog napona vode koje nastoje elipsoidnu kap vratiti u oblik kugle. Proces se odvija tako da se naizmjenično duža os skuplja, a kraća os izdužuje.

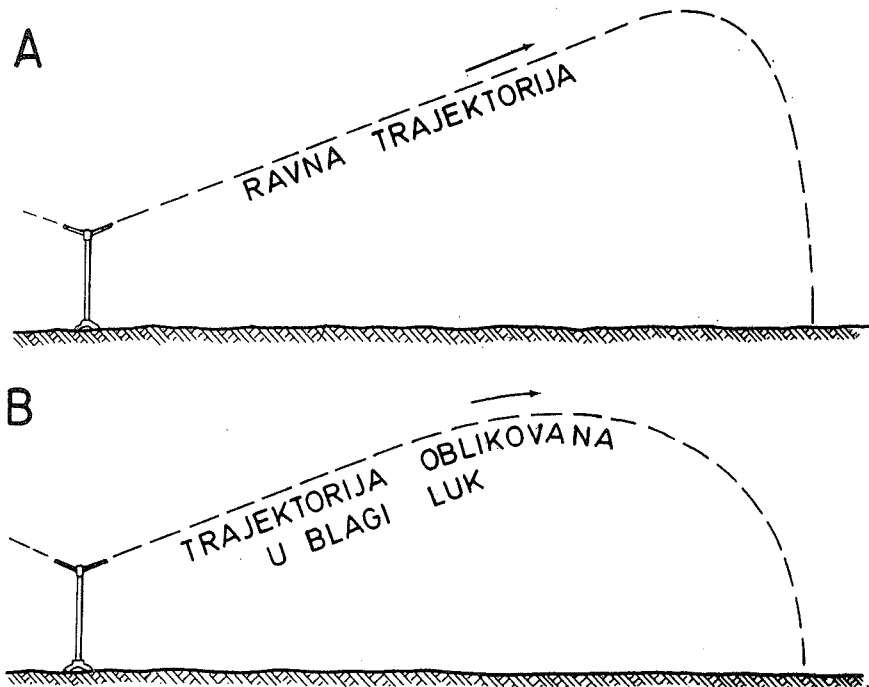
Eksperimentima je dokazano raspadanje krupnijih kapi vode na sitnije u trenutku dostizanja granične brzine kretanja i granične veličine kapi. Ustanovljen je eksperimentalno i utjecaj periodičnih deformacija u procesu razbijanja kapi vode uz prisustvo turbulencije.

Prilikom kretanja kapi vode kroz zrak može doći i do spajanja sitnih kapi ako se nekoliko njih nađe u blizini. Prve su kapi tada izložene jačem tlaku uslijed otpora i strujanja zraka, dok se kapi koje slijede iza njih nalaze i kreću u zoni manjeg tlaka, zbog čega se mogu kretati brže od prvih kapi. Zbog povećanja njihove brzine kretanja, sustižu prve sporije kapi te se spajaju u veću kap.

Tlak vode u mlaznici ima primaran i bitan utjecaj na granulometrijski sastav umjetne kiše. Što je tlak viši omogućena je veća disperzija mlaza, a time je omogućeno stvaranje sitnijega granulometrijskog sastava umjetne kiše. Na slici 51-1A i 51-1B zorno je prikazan učinak tlaka na razbijanje mlaza vode koji izlazi iz cijevi (Kay, 1983.). Na slici 51-1C (Kay, 1983.) prikazan je način mjerenja tlaka na izlazu iz mlaznice sustava za kišenje. (Kay, 1983.) daje prikaz (slika 51-2) približne metode za ocjenu operativnog tlaka u sustavu za kišenje. Na slici 51-2A ucrtana je crta mlaza pri korektnom tlaku. Uočava se da je crta ravna, dok je crta pri pre niskom tlaku oblikovana u blagom luku (slika 51-2B).



Sl. 51-1 Učinak niskoga (A) i visokog (B) tlaka na raspršivanje mlaza; mjerenje tlaka (C) na izlasku iz mlaznice (Kay, 1983.)



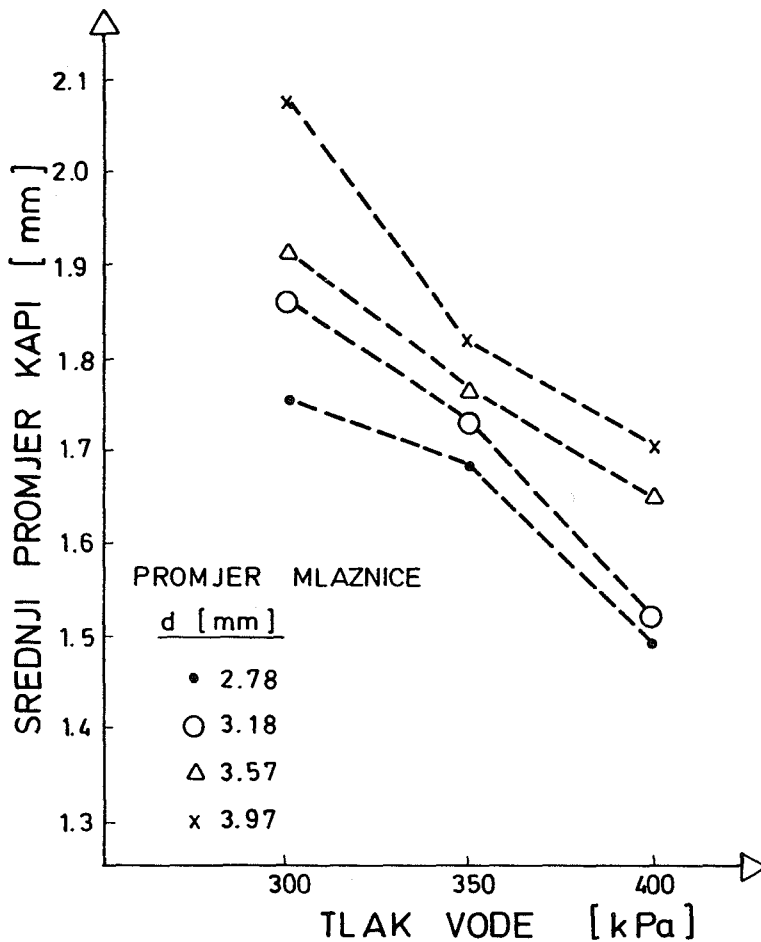
Sl. 51-2 Oblik trajektorije mlaza kod korektnog tlaka (A) te preniskog tlaka (B) (Kay, 1983.)

U tablici 51-1 dane su vrijednosti koje mogu poslužiti za praktičnu uporabu. U zavisnosti od promjera mlaznice  $d$  dani su podaci o dovoljnim tlakovima koji omogućavaju raspršivanje mlaza te o rasponu tlakova koji se preporučuju za primjenu u praksi. Uočava se da su dovoljni tlakovi najmanje 30% niži od onih koje se u praksi preporučuje upotrebljavati.

*Veličine odnosa dovoljnih i preporučljivih tlakova u funkciji promjera mlaznice  $d$*

Tablica 51-1

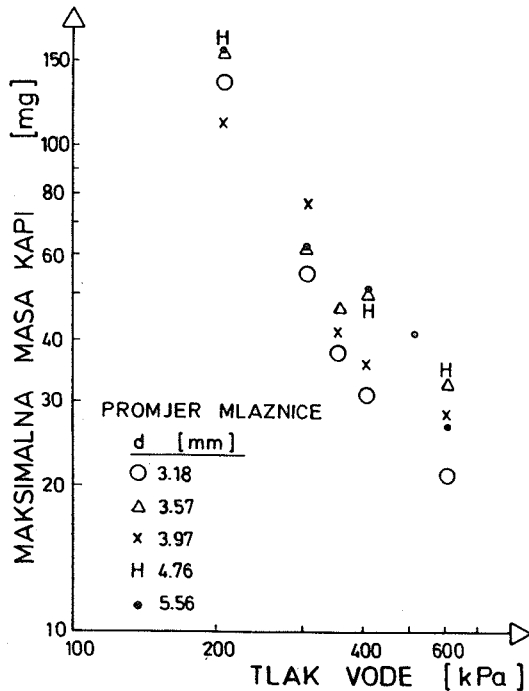
Red. br.	Promjer mlaznice $d$ (mm)	Dovoljni tlak za raspršivanje mlaza (bar)	Tlak koji se preporučuje primjenjivati u praksi (bar)
1.	3,0 - 4,5	2,00	2,75 - 3,50
2.	4,5 - 6,0	2,75	3,50 - 4,25
3.	6,0 - 19,0	3,50	4,25 - 5,00



Sl. 51-3 Odnos srednjeg promjera kapi u ovisnosti o tlaku vode i promjeru mlaznice (Heermann i Kohl, 1981.)

N slici 51-3 (Heermann i Kohl, 1981.) dan je odnos srednjeg promjera kapi u zavisnosti od tlaka vode i promjera mlaznice. Uočava se da se promjer kapi vode gotovo linearno smanjuje s povećanjem tlaka, ali i sa smanjenjem promjera mlaznice.

Na slici 51-4 dan je (Heermann i Kohl, 1981.) odnos maksimalne mase kapi u ovisnosti o tlaku vode i promjeru mlaznice. Masa kapi vode koja izlazi iz otvora mlaznice bitno (eksponencijalno) se smanjuje s povećanjem tlaka vode. Uočava se da na smanjenje maksimalne mase kapi utječe i promjer mlaznice, ali manje i nepravilnije od tlaka vode.



Sl. 51-4 Odnos maksimalne mase kapi u ovisnosti o tlaku vode i promjeru mlaznice (Heermann i Kohl, 1981.)

Važno je ukazati na činjenicu da je granulometrijski sastav umjetne kiše različit na različitim udaljenostima od mlaznice. Općenito se može zapaziti da se promjer kapi povećava s udaljavanjem od izlaznog otvora mlaznice. U samom početku na prvih 5-8 m putanje umjetne kiše, smanjuje se promjer kapi, što jako zavisi i o tlaku. Poslije navedene udaljenosti, javlja se efekt spajanja kapi o kojem se prije govorilo, a pojačan je i drugim efektom (brzine kretanja kapi) o kojemu će se kasnije govoriti. U tablici 51-2 dani su podaci iz literature (Frost i Schvalen, 1955.).

### Srednji promjer kapi u ovisnosti o tlaku i daljenosti

Tablica 51-2

Red. br.	Tlak (bar)	Promjer mlaznice d (mm)					
		Udaljenost od izlaza mlaznice (m)					
		6,1	7,6	9,1	10,7	12,2	13,7
1.	2,1	0,40	0,55	0,78	1,1	1,4	2,0
2.	2,6	0,36	0,49	0,63	0,89	1,2	1,5
3.	4,2	0,29	0,37	0,46	0,6	0,79	1,0

Promjer (veličina otvora), oblik i hrapavost mlaznice drugi su činitelj koji bitno utječe na granulometrijski sastav umjetne kiše. O utjecaju veličine otvora mlaznice na promjer i masu kapi umjetne kiše moguće je uvjeriti se iz slika 51-3 i 51-4. Očigledno je da manji otvor mlaznice utječe na smanjenje kišnih kapi. Na tu vezu dosta utječe i tlak. Ako je tlak niži (do 2,6 bara), srednji promjer kapi lagano opada s povećanjem otvora mlaznice. Kod tlakova od 4,2 bara i viših, uglavnom ne dolazi do promjene promjera kapi u funkciji promjera otvora mlaznice.

Trokutasti i četverokutasti oblici otvora mlaznice dali su bolje učinke rasprskavanja od kružnih otvora mlaznice. Razloge tog fenomena, čini se, da nije teško objasniti. Kružni oblik mlaznice pruža manji otpor kretanju tekućine te izaziva manje turbulentnih virova od lomljenih oblika otvora mlaznice. Bez obzira na tu činjenicu, gotovo sve mlaznice imaju otvore kružnog oblika.

Pokusi su pokazali da je disperzija mlaza na sitnije kapi pojačana pri većoj hrapavosti mlaznice. Razlog je sličan kao i u prije navedenoj situaciji.

Kut izbacivanja mlaza koji voda zaklapa s horizontalnom ravninom ima određeni utjecaj na krupnoću kapi. Ispitivanja su se obavljala primarno da bi se definirao najveći domet mlaza vode. Ustanovljeno je da se maksimalni domet postiže pri izlaznom kutu od 30° do 35°.

Tip rasprskivača, tj. način razbijanja mlaza, značajan je činitelj koji utječe na granulometrijski sastav kapi. Pri tome treba naglasiti da svaki proizvođač nudi svoj tip. Neki u prospektima navode i karakteristike rasprskivača i rasprskivanja, ali većina to ne navodi. Treba napomenuti i to da se karakteristike navedene u prospektima često značajno mogu razlikovati od onih koje se postižu u terenskim uvjetima rada, i to općenito zbog mogućnosti postizanja slabijih karakteristika od onih koje su navedene.

Rotacija kišnika utječe na granulometrijski sastav kapi. Brzina i jednolikost rotacije dvije su osnovne karakteristike koje utječu na strukturu umjetne kiše. Nerotirajući kišnici uz jednake uvjete (tlak, promjer mlaznice, udaljenost) stvaraju kapi s manjim srednjim promjerom od rotirajućih kišnika. Kod obje vrste kišnika, ali naročito kod rotirajućih, s povećanjem tlaka (posebno iznad 3,5 bara) proizvodi se vrlo jednolika umjetna kiša na svim udaljenostima od izlaza mlaznice. Što je rotacija jednolikija to je jednolikija i raspodjela srednjih promjera kapi na različitim udaljenostima. I kod rotirajućih kišnika vrijedi princip da na udaljenostima većima od 5 do 8 m (u ovisnosti o tlaku) dolazi do povećanja srednjeg promjera kapi umjetne kiše zbog brzine kretanja i spajanja kapi.

Učinak udaljenosti od izlaza mlaznice na granulometrijsku strukturu umjetne kiše bio je prije spomenut prilikom objašnjavanja utjecaja ostalih činitelja. U vezi s tim mora se općenito konstatirati da promjer kapi, dakle njena veličina, raste s udaljavanjem od izlaza mlaznice. Posebno je interesantno istaknuti da je u unutrašnjoj zoni do 5 m (8 m za više tlakove) struktura umjetne kiše jednolika, a promjeri su kapi vrlo sitni, znatno sitniji nego kod prirodne kiše. Kod kišnika malog dometa (do 15 m), granulometrijski sastav umjetne kiše na udaljenosti od 10 m sličan je granulometrijskom sastavu prosječne prirodne kiše. Kod kišnika većeg dometa (do 30 m i više), opaženo je da na rubnom području umjetna kiša ima sastav vrlo sličan olujnom pljusk. Takva kiša može izazvati vrlo nepovoljne učinke kako na tlo tako i na bilje.

U vezi s učinkom udaljenosti od mlaznice Kos (1987.) spominje i sljedeće zaključke brojnih istraživača te problematike: 1. na periferiji kišnog mlaza protok sitnih kapi veći je nego u sredini mlaza, u kojem prevladavaju krupne kapi; 2. brzina kretanja manjih kapi opada brže nego brzina kretanja većih kapi što rezultira činjenicom da veći



broj manjih kapi padne bliže otvoru mlaznice, a veće kapi padaju dalje od otvora mlaznice. Uz učinak spajanja kapi, ovaj proces izaziva različite granulometrijske krivulje kapi vode na raznim udaljenostima od otvora mlaznice (vidi sliku 51-6 koja će se kasnije komentirati).

Momčilović (1983.) ukazuje da periferni dio omočenog kruga (vidi sliku 52-2) prima uglavnom kišu s krupnijim kapima, i to kod svih ispitivanih tlakova. Površina toga vanjskog prstena iznosi 40% od površine omočenog kruga.

Meteorološki činioci na terenu vrlo bitno utječu na granulometrijski sastav, ali i na ostale elemente umjetne kiše kao što su domet kiše, njena raspodjela na tlu, isparavanje itd. Već je prije istaknuto da su sva iznesena istraživanja uglavnom obavljena u laboratorijskim ili nizinskim terenskim uvjetima. Podaci dani u prospektima pojedinih firmi odnose se, prema tome, na idealne ili barem bolje uvjete. Terenski mogu biti znatno različiti i bitno nepovoljniji. Praktičari moraju znati reagirati upravo u takvim nepovoljnim uvjetima koji pretežno vladaju na terenu.

#### 5.1.4. Djelovanje kapi pri udaranju o površinu tla

Veličina kapi vode koja iz slobodne atmosfere padne na površinu tla djeluje na njegovu strukturu. Umjetna kiša mora stvoriti takve kapi da njihova masa, promjer i brzina padanja ne djeluju razarajuće na površinski sloj zemlje. Različiti tipovi tala različito reagiraju na silu kojom kap vode pri udarcu djeluje na tlo. Volumen pora i njihov raspored u tlu neke su od bitnih karakteristika tala u odnosu na vertikalni transport vode kroz njih. Međutim, volumen pora, naročito u gornjem sloju tla (od 0 do 3 cm), stalno se i brzo mijenja te se bitno ne razlikuje u zavisnosti o tome da li je i kada je padala kiša na njega. Pri tome je svejedno o kojoj se kiši radi, umjetnoj ili prirodnoj. Stoga je prijeko potrebno preliminarnim pedološkim radovima, prije izbora natapanja, ili izbora opreme za natapanje kišenjem, obaviti detaljnu analizu stabilnosti strukture tla. Strukturna tla imaju stabilniju poroznost, tj. povoljniji odnos kapilarnih i nekapilarnih pora. Zbog toga se kod njih suvišna voda brže ocjeđuje, a u kapilarama se zadržava voda prijeko potrebna za život i razvoj bilja. Kod nestrukturnih (pjeskovitih) tala voda se brzo upija i propušta kroz tlo bez prijeko potrebnog zadržavanja. U bezstrukturna (glinitna) tla voda se polako infiltrira zbog niskog kapaciteta infiltracije, ali se zbog razvijene kapilarne strukture i velikog volumena sitnih pora dugo zadržava u tlu.

Očuvanje ili čak i poboljšanje strukture tla jedan je od bazičnih zadataka natapanja, posebno kišenjem. Zbog toga je vrlo često kao preduvjet tom tipu natapanja potrebno izvesti sustav za odvodnju. Osnovna je prednost djelovanja umjetne kiše na tlo pred ostalim načinima natapanja aeracija tla. Njom se omogućuje mikrobiološkim organizmima nastavak procesa oksidacije. To se potiče samo natapanjem kišom finoga sitnoga agregatnog sastava kapi, dok natapanje krupnoga agregatnog sastava izaziva formiranje pokorice. Ona negativno djeluje na procese aeracije, a time i mikrobiološke procese (Momčilović, 1981.).

Mehaničko djelovanje kapi kiše na površinski sloj tla zavisi o kinetičkoj energiji kapi vode  $E$  prilikom njena udaranja o tlo. Izraz za kinetičku energiju glasi:

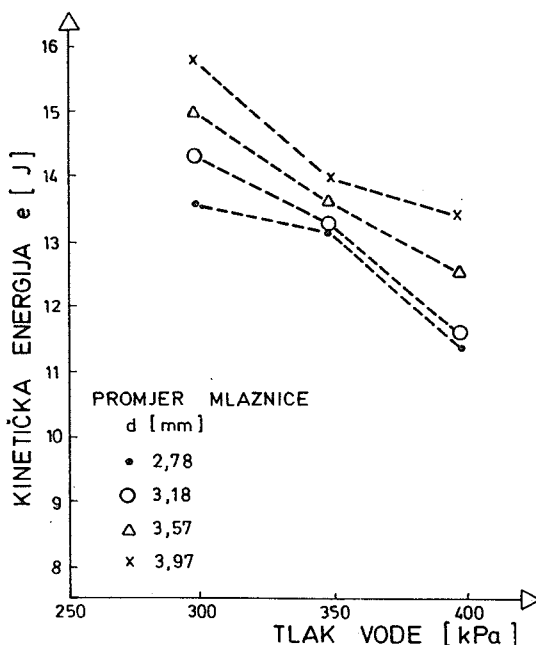
$$E = (m \cdot v^2)/2 \quad (1)$$

pri čemu je:  $m$  - masa kapi vode;  $v$  - brzina udaranja kapi vode o tlo. Kohl (1974.) je računao kinetičku energiju kapi vode u trenutku kada one dopru do površine tla koristeći brzine udaranja u funkciji promjera kapi (tablica 51-3). Na slici 51-5 nacrtan je odnos kinetičke energije u funkciji tlaka i veličine otvora mlaznice. Vrijednosti kinetičke energije dane na slici 51-5 predstavljaju energiju koja je rezultat djelovanja 1 mm visine kiše na površinu od 1 m<sup>2</sup>. Uočljiv je utjecaj tlaka vode i promjera otvora mlaznice. S povećanjem tlaka i smanjenjem otvora mlaznice smanjuje se kinetička energija prilikom udaranja kapi o tlo. Razlog smanjenja leži jedino u finijoj, tj. sitnijoj, agregatnoj strukturi umjetne kiše koja nastaje zbog višeg tlaka i manjeg otvora mlaznice.

*Odnos brzine pri udaru o tlo i promjera kapi umjetne kiše*

*Tablica 51-3*

Red. br.	Promjer kapi d (mm)	Brzina pri udaru v (m/s)	Red. br.	Promjer kapi d (mm)	Brzina pri udaru v (m/s)
1.	0,33	1,33	9.	1,37	4,33
2.	0,39	1,60	10.	1,66	4,89
3.	0,49	2,03	11.	1,93	5,27
4.	0,57	2,25	12.	2,39	5,93
5.	0,67	2,54	13.	2,88	6,50
6.	0,78	2,89	14.	3,38	6,83
7.	0,93	3,25	15.	4,12	7,12
8.	1,16	3,92	16.	4,93	7,26



*Slika 51-5 Odnos kinetičke energije kapi u ovisnosti od tlaka vode i promjera mlaznice*

Proces razaranja površinske strukture tla vezan je i uz intenzitet kiše. Ako je on veći od kapaciteta infiltracije na površini tla, započet će zadržavanje vode. Na ravnim tlima, gdje otjecanje nije moguće, voda će se retencionirati u tanjem ili debljem sloju, što zavisi o razlici kapaciteta infiltracije i intenziteta kiše. Na tlima s padom doći će i do procesa tečenja po terenu. Oba procesa izazvat će zbijanje površinskog tla tako da će drugi spomenuti proces paralelno formirati mala korita te odnositi sitne frakcije tla. U oba slučaja zbijanje tla izazvat će formiranje sloja tla sa smanjenim kapacitetom infiltracije u odnosu na prirodno stanje. Kada voda s površine tla ispari ili se polagano infiltrira, na tlu ostaje tvrdi sloj pokorice koji destimulirajuće djeluje na vodno-zračni režim tla i djelovanje mikrobioloških organizama.

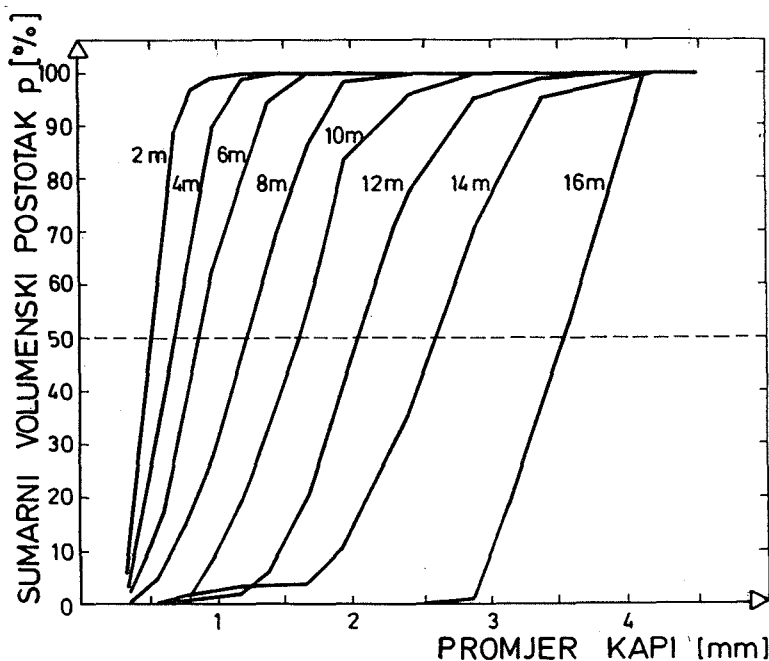
Naknadno će se još jednom sistematizirati i ukratko navesti glavni zaključci u vezi s problematikom o kojoj se prije raspravljalo.

Kišenje s manjim kapima omogućava postizanje većih norma natapanja uz slabije ili nikakvo rušenje strukture tla.

Eksperimentalna su ispitivanja pokazala da se na lagano suglinastim slabo strukturiranim tlima norma natapanja od 250 do 300 m<sup>3</sup>/ha može postići (bez zadržavanja vode na tlu, otjecanja, pokorice i razaranja tla) s intenzitetom kiše od 0,4 do 0,6 mm/min i uz srednji promjer kapi od 0,8 do 1,2 mm. Kod težih dobro strukturiranih suglinastih tala jednaka norma uz jednake uvjete postiže se s intenzitetom kiše od 0,9 do 1,1 mm/min i uz jednak srednji promjer kapi.

Granica dopuštene veličine kapi može se povećavati tijekom vegetacijskog razdoblja u skladu s razvojem i tipom kulturnog bilja.

Struktura zemljišta mnogo je stabilnija i otpornija na djelovanje kišnih kapi na tlima u prvim godinama poslije višegodišnjeg rasta trava na njima. Najbrže i najintenzivnije razaraju se tla koja duže vremena nisu bila pod travom.



Sl. 51-6 Granulometrijske krivulje agregatnog sastava kišnih kapi mjerene na razmacima od po 2 m (od 2 m do 16 m) za promjer mlaznice od 3,97 mm i tlak 400 kPa (Kohl, 1974.)

Za detaljnije analize utjecaja kapi kiše na tlo nije dovoljno poznavati samo srednji promjer kapi, već i cijeli granulometrijski sastav umjetne kiše, koji je različit na različitim udaljenostima od izlaza mlaznice. Primjera radi na slici 51-6 dato je osam potpunih granulometrijskih krivulja agregatnog sastava kišnih kapi. Krivulje su dobivane mjerenjem dimenzija kapi svakih 2 m razmaka od izlaza mlaznice na udaljenostima od 2 m do 16 m uz promjer mlaznice od 3,97 mm i tlak vode od 400 kPa (kohl, 1974.).

Finiji agregatni sastav kiše postiže se većim utroškom energije, što poskupljuje proces kišenja.

Kiša sitnijega agregatnog sastava jače se isparava, što povećava gubitke i poskupljuje proces. Ujedno se može stvoriti izmaglica koja također može stvarati određene smetnje u tehnološkom procesu.

Prema tome, osnovni zadatak istraživanja vezanih uz praksu sastoji se u potrebi pronalaženja optimalnoga granulometrijskog sastava umjetne kiše s velikog broja spomenutih aspekata. Treba naglasiti da su pojedini kriteriji međusobno suprotni te da je postizanje tog optimuma vrlo složen problem koji nije moguće postići bez brojnih terenskih mjerenja i analiza vezanih na ova mjerenja.

### 5.1.5. Metode mjerenja karakteristika umjetne kiše

Svi prije izneseni rezultati i zaključci zasnovani su na mjerenjima koja su se obavljala ili u prirodi ili, češće, u laboratorijskim ili mirnim (idealnim) prirodnim uvjetima. Naknadno će se vrlo kratko opisati glavne metode mjerenja karakteristika umjetne kiše, dakle metode koje su omogućile i donošenje brojnih, vrlo značajnih zaključaka. Unaprijed se mora reći da je točnost svih tih metoda još uvijek daleko od stvarno potrebne te da se s razvojem tehnologije razvijaju i nove pouzdanije metode mjerenja. S teorijskog aspekta, istraživanje agregatnog stanja ili granulometrijskog sastava kišnih kapi koje izbacuju mlaznice, krajnje je složen problem. Radi se o procesu djelovanja fizikalno uvjetovanoga, ali dijelom i slučajnoga gibanja mnoštva kapi vode promjenjivog oblika i mase, izloženih na svome putovanju kroz zrak brojnim slučajnim utjecajima.

Za određivanje stupnja raspršenosti mlaza i krupnoće kapi kiše primjenjuju se ili analitičke metode ili metode mjerenja.

Analitička metoda Zunker-Oehlera najčešće se primjenjuje u praksi zbog svoje relativne jednostavnosti. Autori su zaključili da se finoća granulometrijskog sastava kiše može vezati s odnosom dometa mlaza  $L$  i tlaka vode  $p$ . U tablici 51-4 dani su rezultati njihovih istraživanja. Domet mlaza  $L$  dan je u desetinama metara, a tlak u barima. Dakle, ako je  $L = 15 \text{ mm}$  te  $p = 2 \text{ bara}$ , to znači da je odnos  $L/p = 1,5/2 = 0,75$ . Navodi se i jedinica konverzije između bara i kPa (kiloPascala):

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 10^2 \text{ kPa} = 1000 \text{ mb}$$

#### *Utjecaj odnosa dometa mlaza i tlaka vode na karakteristike kapi umjetne kiše*

Tablica 51-4

Red. br.	Odnos dometa (L) i tlaka (P) $L/p$	Karakteristike kapi umjetne kiše	Tlo i vegetacija kojoj odgovara dana karakteristika kapi
1.	<1,0	vrlo sitne	povrtnjaci
2.	1,0 - 1,1	sitne	njive
3.	1,1 - 1,2	srednje	njive
4.	1,2 - 1,3	srednje krupne	polja i pašnjaci
5.	>1,3	krupne	neupotrebljivo za navodnjavanje

Metode mjerenja dijele se na: 1. kontaktne; 2. nekontaktne. Kako im sam naziv kaže, kontaktne metode mjerenja rade na principu uspostavljanja kontakta kišnih kapi s površinom na kojoj se skupljaju i mjere. Nekonтактnim metodama određuju se karakteristike kišnih kapi mjerenjem i snimanjem bez skupljanja na bilo kakvoj površini.

U kontaktne metode spadaju brojne metode od kojih će biti opisane samo one koje se češće primjenjuju u praksi.

Prva kontaktna metoda koja se zbog svoje jednostavnosti i relativne jeftinoće često primjenjuje u praksi jest mjerenje tragova kišnih kapi na filter papiru. Filter papiri, najčešće kružnog oblika, izlažu se vrlo kratko djelovanju umjetne kiše, koja na

njima ostavlja tragove. Tragovi se u sljedećoj fazi mjere i statistički obrađuju. Na osnovi uzoraka mjerenja kišnih kapi na filter papiru, izradi se krivulja tariranja oblika:

$$d = a \cdot D^b \quad (2)$$

pri čemu je  $s$   $d$  označen stvarni promjer kapi kiše, a  $s$   $D$  promjer traga vode na filter papiru, dok se parametri  $a$  i  $b$  određuju po teoriji najmanjih kvadrata. Osnovni problem, dakle, predstavlja točno određivanje traga kapi vode na filter papiru, što zavisi o periodu oscilacije u kojem se kap nalazi u trenutku kontakta s filter papirom, o upadnom kutu kapi, karakteristikama fluida (viskoznosti i isparljivosti), karakteristikama filter papira, lokalnim klimatskim uvjetima te znanju, brzini i kvaliteti rada osoblja koje mjeri. Očigledno je da su i slučajne i sistematske greške brojne i moguće te da i s tog aspekta treba gledati na rezultate mjerenja. Vrijednosti parametara prema literaturi variraju kako slijedi (Momčilović, 1981.):

$$a = 0,30 - 0,63 \text{ s preporukom da se koristi } a = 0,42$$

$$b = 0,57 - 1,00 \text{ s preporukom da se koristi } b = 0,70$$

Na preporučene veličine treba gledati kao na vrijednosti koje se primjenjuju ako nema mogućnosti da se definira vlastita krivulja tariranja.

Mjerenje veličine kapi na sloju magnezijeva oksida primjenjivo je samo kod mjerenja sitnih kapi umjetne kiše, a preporučuje se primijeniti slijedeću krivulju tariranja:

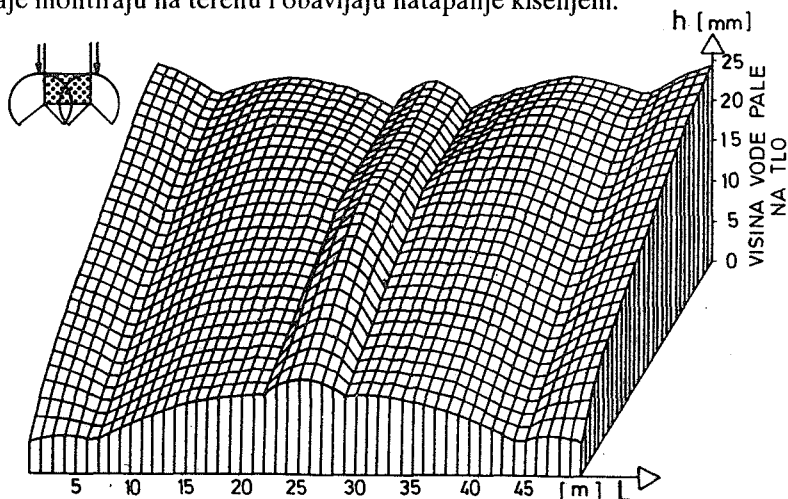
$$d = D/1,14 \quad (3)$$

Mjerenje veličine kapi u viskoznom fluidu (najčešće ulju), relativno je pogodno iz sljedećih razloga i uz sljedeće uvjete: 1. dospjevši u ulje, kap vode poprima kuglast oblik, koji je moguće točno i jednoznačno izmjeriti; 2. viskozna tekućina ne miješa se s vodom; 3. relativno je lako stvoriti dovoljno jake kontraste između boje viskozne tekućine i vode da bi se kapi vode mogle jasno vidjeti na fotografijama s kojih se mjeri dimenzija kapi vode; 4. tekućina mora biti dovoljno viskozna da se osigura vrlo lagana brzina tonjenja kapi vode (taj uvjet omogućava da sloj tekućine može biti tanak te ne treba fotografirati s nerazumnom brzinom); 5. viskozna tekućina mora imati takvu površinsku napetost da se u kontaktnu s njom kapi kiše ne rasprsnu.

Nekontaktne su metode uglavnom vezane s posjedovanjem relativno skupih, osjetljivih i složenih instrumenata, a potrebno je reći da se iz godine u godinu na tržištu javljaju novi i savršeniji uređaji. I pored toga kontaktne metode nisu još potisnute, čak naprotiv, čini se da istraživači pokazuju veće povjerenje u rezultate dobivene njihovom primjenom. Nekonтактne se metode uglavnom dijele na fotoelektronske metode i metode fotografiranja kapi vode.

## 5.2. RASPODJELA VODE NA TLU

Osnovni je zadatak kišenja dopremanje tražene norme natapanja, dakle određene količine vode na sve točke prostora koji se natapa. Teorijski, trebalo bi da je sloj dopremljene kiše jednolik na cijeloj natapanoj površini. Kako je i da li je to moguće postići jesu neki od ključnih zadataka projekatnata uređaja za kišenje, ali i praktičara, koji te uređaje montiraju na terenu i obavljaju natapanje kišenjem.



Sl. 52-1 Prikaz neravnomjernosti vlaženja površine za jedan tip instrumenta (Trisoldi, 1965.)

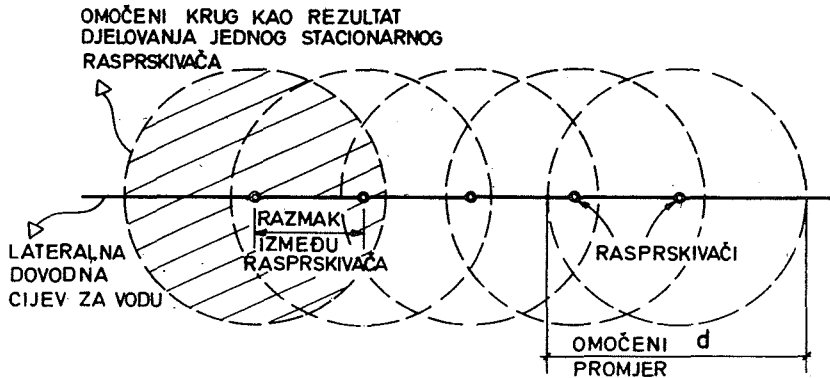
Primjera radi na slici 52-1 dat je grafički prikaz raspodjele visine pale umjetne kiše na određenom prostoru (Trisoldi, 1965.) izazvanom radom bez zadržavanja topa *Rain Gun 103CS* brzine 8,7 m/s,  $Q = 9,8 \text{ m}^3/\text{s}$ , tlaka 5 bara i intenziteta kiše 21,9 mm/h. Uočava se značajna nejednolikost stupca vode na relativno nevelikom prostoru, koji varira od 5 do 25 mm. Pretpostavlja se da se u konkretnom slučaju radilo o povoljnim klimatskim uvjetima bez vjetera i značajnog isparavanja koji imaju daljnji nepovoljni utjecaj na jednoliku raspodjelu vode na tlu.

Na ravnomjernost raspodjele vode značajan utjecaj imaju razmak rasprskivača, pogonski tlak, ali i tip rasprskivača, tj. način kišenja. Rad s niskim tlakom izaziva koncentriranje mlaza vode na nekom razmaku od otvora mlaznice, dok ostali dijelovi površine dobiju vrlo malo, pa čak i ništa, vode (vidi sliku 51-1A). Previsoki tlak može pak suviše usitniti kapi vode i time prekomjerno raspršiti mlaz, što također može izazvati drugi tip neravnomjerne raspodjele vode u natapanom prostoru. Ti principi vrijede za pojedinačne stabilne rasprskivače.

Kod pokretnih rasprskivača postizanje ravnomjernosti raspodjele vode na tlu još je složeniji problem, koji se često rješava primjenom matematičkog modeliranja na elektroničkim računalima, uzimanjem u obzir karakteristika pojedinog rasprskivača i puta koji prevaljuje za vrijeme pogona.

Kay (1983.) navodi da je vrlo teško projektirati i proizvesti rotirajući rasprskivač koji će obavljati ravnomjerno natapanje preko cijeloga omočenog kruga. U normalnim uvjetima pogona više vode padne bliže mlaznici, a smanjuje se prema rubu kruga. Da bi se postigla raspodjela što bliža ravnomjernoj, rasprskivači se postavljaju tako da im se

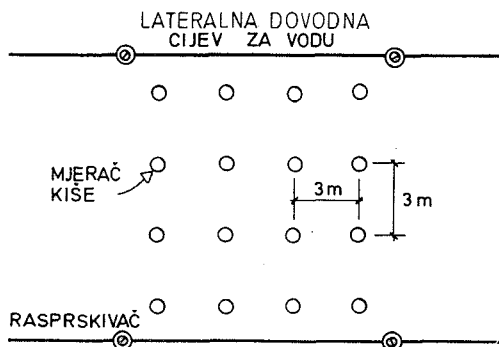
omočeni krugovi preklapaju (slika 52-1). Da bi se postigla dobra jednolikost, preklapanje mora biti, u uvjetima bez vjetera, 65% omočenog promjera. Jednolikost može biti popravljena daljnjim približavanjem. To pak može izazvati da se tlu dopremi prevelika količina vode, bitno veća od norme natapanja, što je i štetno i skupo.



Sl. 52-2 Skica položaja i razmaka rasprskivača s objašnjenjem omočenog promjera i omočenog kruga

Veći broj rasprskivača znači i veću cijenu opreme, ali i veći utrošak energije. Treba spomenuti i to da postoje tri vrste rasporeda rasprskivača: 1. kvadratni; 2. pravokutni; 3. trokutni. Svaki od njih ima neke prednosti ili mane, ali ako nad natapanim područjima vjetar puše u promjenjivim pravcima, preporučuje se primijeniti kvadratni raspored s kratkim udaljenostima (Addink i sur., 1981.).

Jednolikost raspodjele za stacionarne rasprskivače može se testirati (mjeriti) na terenu. Postupak mjerenja skiciran je na slici 52-3, s koje se vidi da se svaka 3 m (može i manje) postavljaju kišomjeri. Ta mreža kišomjera omogućava mjerenje visine umjetne kiše pale u pojedinu točku. Što je mreža gušća, to je moguće pouzdanije ustanoviti nivo neravnomjernosti kiše pale na površinu terena. Važno je napomenuti i to da visina otvora kišomjera iznad tla treba biti što je moguće manja (ne smije prelaziti 30 cm, a preporučuje se da iznosi od 5 do 10 cm) te da se mjerenja, makar u prvoj fazi testiranja, moraju izvesti u idealno mirnim uvjetima bez vjetera. Tek u slijedećim fazama treba testirati i utjecaj vjetera na povećanje nejednolikosti i raspodjele kiše na tlu.



Sl. 52-3 Položaj mjerača kiše za potrebe definiranja indeksa ravnomjernosti



Kod pokretnih rasprskivača ravnomjernost raspodjele testira se sistemom mjeraca kiše postavljenih uzduž trajektorije kojom se stroj kreće.

Dopremljeni obrok vode -  $i$  (*application rate*) jest iznos vode koju kišnici koji rade u zajedničkoj grupi dopreme nekoj površini. Izražen je u jedinici intenziteta kiše, tj. u mm/h. Dopremljeni obrok zavisi o: 1. promjeru i obliku mlaznice; 2. tlaku vode; 3. razmaku među kišnicima.

Povećanjem promjera mlaznice i tlaka te smanjenjem razmaka među kišnicima, povećava se veličina dopremljenoga obroka vode. Proizvođači opreme redovito snabdijevaju kupce informacijama u vezi s mogućim dopremljenim obrokom koji mora biti manji od kapaciteta infiltracije. U tablici 52-1 dane su neke vrijednosti dopremljenoga obroka koji se preporučuje primijeniti u praksi u funkciji promjera mlaznice, tlaka, promjera omočena kruga i količine vode (Kay, 1983.). Na osnovi vrijednosti dopremljena obroka  $i$  te norme natapanja  $N$ , moguće je izračunati potrebno vrijeme za natapanje  $t$  sljedećim izrazom:

$$t = N/i \quad (4)$$

Budući se dopremljeni obrok izražava u mm/h, norma natapanja u mm, vrijeme potrebno za natapanje (set time) dobije se u satima.

*Dopremljeni obrok koji se preporučuje koristiti  
u praksi u zavisnosti od niza parametara*

Tablica 52-1

Red. br.	Promjer mlaznice d (mm)	Tlak p (bar)	Promjer omočenog kruga D (m)	Količina vode Q (m <sup>3</sup> /h)	Dopremljeni obrok i (mm/h) za razmak L (m) između kišnika		
					18 x 18 m	18 x 24 m	24 x 24 m
1.	4	3,0	29	1,02	3,2		
2.	5	3,0	32	1,67	5,2	3,8	
3.	6	3,0	35	2,44	7,5	5,7	4,2
4.	8	4,0	43	4,96	15,3	11,4	8,6
5.	10	4,5	48	8,13	25,1	18,9	14,0

### 5.2.1. Indeks (koeficijent) ravnomjernosti $C_u$ i utjecaj vjetra na neravnomjernost kiše

Kako je već prije naglašeno, svrha natapanja kišenjem jest dopremanje jednolikog sloja vode cijeloj natapanoj površini. Kako tehnologija kišnika nije do sada (a veliko je pitanje da li će i kada biti) toliko razvijena da omogućava stvarno jednoliku raspodjelu, Christiansen (1942.) je razvio sljedeći bezdimenzionalni indeks jednolikosti raspodjele umjetne kiše  $C_u$  na natapanu površinu, izražen u postocima:

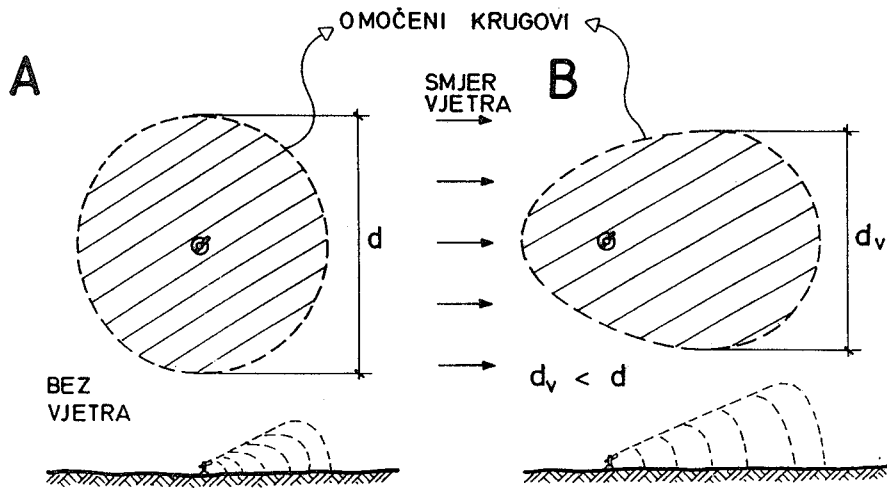
$$C_u = 100 \cdot \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \overline{H})}{n - \overline{H}} \right) \quad (5)$$

pri čemu je  $H_i$  - visina kiše izmjerena u  $i$ -tom kišomjeru,  $H$  - srednja visina kiše izmjerena na svih  $n$  kišomjera. Osim tog indeksa neravnomjernosti, razvijeni su kasnije i drugi. Međutim, niti jedan od njih nije se tako često upotrebljavao u praksi, primarno zbog svoje jednostavnosti i očiglednosti. Što više, i industrija uređaja za natapanje kišenjem prihvatila je indeks Christiansena kao postupak za procjenu rada svojih instrumenata.

Za praksu se smatra povoljnim kada koeficijent ravnomjernosti prelazi vrijednosti od 80%. U središnjem području taj je koeficijent uvijek viši, pa prelazi i 90%, dok je na rubovima natapane površine ravnomjernost kiše slabija te  $C_u$  pada ispod 80%.

Za kulturno bilje čija je cijena proizvodnje visoka, poželjno je postizanje visoke vrijednosti  $C_u$  jer je time osigurana i visoka i jednolika proizvodnja na cijeloj natapanoj površini. Za bilje manje vrijednosti neće biti ekonomskog opravdanja povećanih troškova za postizanje visokog  $C_u$ . Tada se svjesno ide na neravnomjerniju raspodjelu doznačene vode na cijeloj natapanoj površini.

Glavni faktor koji utječe na neravnomjernost raspodjele vode kod kišenja jest vjetar. Na slici 52-4 skiciran je utjecaj vjetra na promjenu karakteristika kišnika. Pod utjecajem vjetra omočeni krug pretvara se u nepravilan jajolik oblik s dužom osi u smjeru puhanja vjetra i sitnijim kapima kiše odnesenima izvan promjera omočenog kruga u mirnim uvjetima. Koeficijent ravnomjernosti u uvjetima puhanja vjetra jako opada, što može bitno negativno utjecati na efekte natapanja kišenjem. Jedini je način da se eliminira negativni učinak vjetra, smanjenje razmaka između kišnika, što ima posljedice u povećanju troškova proizvodnje. Budući da nije moguće projektirati raspored kišnika za sve promjenljive uvjete vjetra nad velikim područjem, treba projektirati za srednje stanje. Ako se želi zadržati isti koeficijent jednolikosti u svim uvjetima vjetra, potrebno je smanjivati razmak između kišnika s povećanjem brzine vjetra. Addink i sur. (1981.) preporučuju u tablici 52-2 razmak među kišnicima za razne brzine vjetra. Kay (1983.) daje u tablici 52-3 nešto drugačije preporuke.



Sl. 52-4 Utjecaj vjetra na promjenu karakteristika kišnika (Kay, 1983.)

Preporučeni razmak među kišnicima u ovisnosti o brzini vjetra (Addink i sur. 1982.)

Tablica 52-2

Red.br.	Brzina vjetra $v$ (km/h)	Razmak među kišnicima
1.	0	65% od omočenog promjera $d$
2.	<8	60% od omočenog promjera $d$
3.	8 - 16	50% od omočenog promjera $d$
4.	>16	30% od omočenog promjera $d$

Preporučeni razmak među kišnicima u ovisnosti o brzini vjetra (Kay, 1983.)

Tablica 52-3

Red.br.	Brzina vjetra (m/s)	Razmak među kišnicima $l$ (m) u zavisnosti od omočenog promjera $d$ (m)		
		$d = 32$ m	$d = 37$ m	$d = 42$ m
1.	0	21	24	27
2.	0 - 2,5	18	21	24
3.	2,5 - 5,0	15	18	21
4.	>5	9	12	12

Na ravnomjernost količine vode koja dospije na zemljište utječe i tlak vode. Ako je on prenizak (niži od propisanoga u prospektima proizvođača), mlaz se vode ne raspršuje dovoljno i voda pada uglavnom samo na jedno ograničeno područje, dok ostali dio omočenog kruga ostaje suh. Ako je pak tlak previsok, mlaz se vode razbija na suviše

sitne kapi stvarajući izmaglicu. Osim toga, većina vode padne blizu mlaznice. U oba slučaja nije postignuta zadovoljavajuća ravnomjernost.

Pri projektiranju sustava natapanja kišenjem treba uzeti u obzir činjenicu da se brzina vjetra povećava od površine tla prema slobodnoj atmosferi. To znači da će utjecaju vjetra više biti izloženi oni dijelovi mlaza koji su na većoj visini od površine zemlje. Stoga se u uvjetima kišenja bez vjetra preporučuje instalirati mlaznicu pod kutem od  $32^\circ$ . Ako se vjetar pojača, kut se mora sniziti na  $25-26^\circ$  za manje kišnike te na  $23-24^\circ$  za velike topove.

Da bi se postigao zadovoljavajući indeks ravnomjernosti, treba dobro izučiti karakteristike vjetra u regiji gdje je vjetar slabiji noću pa tu barem dio natapanja treba provesti tijekom tog dijela dana.

Smatra se da natapanje kišenjem treba obustaviti ako brzina vjetra pređe 4,5 do 5 m/s. Ako se kišenje obavlja s pokretnim instrumentima, pravac pomicanja treba biti okomit na smjer najjačega i najčešćeg vjetra. Koeficijent ravnomjernosti jako zavisi o kutu između pravca pomicanja instrumenata i pravca puhanja vjetra. Što je taj kut manji, manja je i širina omočene staze. Zbog toga se natapanje kišenjem mora prekinuti ako je smjer puhanja vjetra paralelan ili gotovo paralelan sa smjerom kretanja kišnika.

### 5.2.2. Isparavanje pri kišenju

Tijekom postupka natapanja kišenjem javljaju se gubici na isparavanju, koji se mogu podijeliti na: 1. isparavanje mlaza; 2. isparavanje s tla i vegetacije. Isparavanje utječe na promjenu koeficijenta ravnomjernosti  $C_w$ , ali i na količinu dopremljenog obroka vode. Iako se radi o izvanredno interesantnom, ali i s praktičnog stajališta važnom problemu, točne se procjene veličine isparavanja vrlo razlikuju od područja do područja kao i od istraživača do istraživača. Varijacije su ogromne, od 2% do 50% gubitaka kišenjem dopremljene vode. Količina isparene vode zavisi od sljedećih faktora: 1. temperature zraka; 2. deficita vlažnosti zraka; 3. vjetra; 4. temperature vode; 5. insolacije; 6. nadmorske visine i atmosferskog tlaka; 7. kemijskih osobina vode. Pri tome su ipak dominantna prva tri faktora te na njih treba usredotočiti pažnju. Kod samog procesa kišenja nije za veličinu isparavanja nebitna niti veličina kapi kiše. Što su kapi kiše sitnije, to je potencijalna mogućnost njihova isparavanja veća.

Bez obzira na velike razlike koje su postignute mjerenjima u različitim uvjetima, smatra se da isparavanje mlaza iznosi u normalnim i prosječnim uvjetima od 1 do 6%, tako da se pri projektiranju sustava za kišenje preporučuje upotrijebiti vrijednost od 2%.

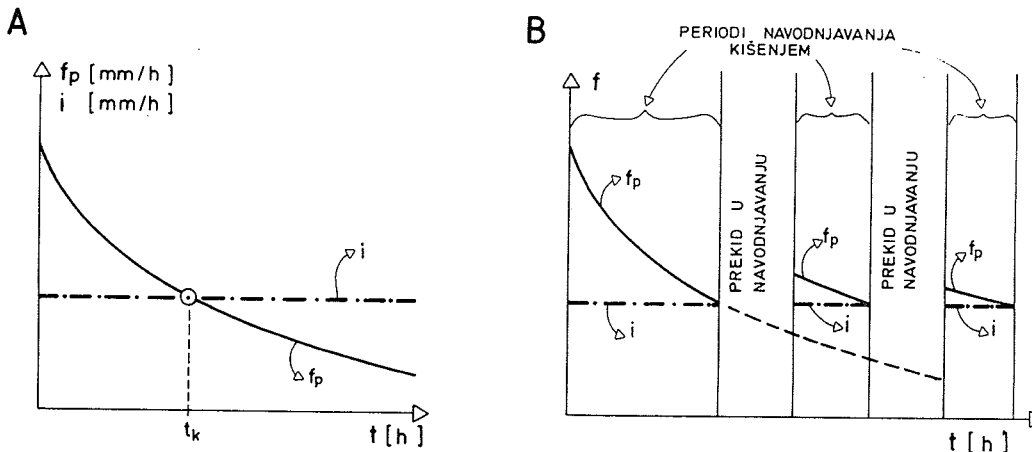
Koliko je proračun isparavanja mlaza i pored postojanja analitičkih izraza za njegovo računanje nepouzdan, isto je toliko nepouzdan i mjerenje na terenu. Heermann i Kohl (1981.) detaljno pišu o oba aspekta problema.

Isparavanje s tla i vegetacije nastupa jer se kišne kapi jedno vremensko razdoblje zadrže i na tlu i na vegetaciji dok ne infiltriraju pod površinu zemlje. Treba naglasiti da je procesu isparavanja podvrgnuta i voda koja je već doprla ispod površine zemlje. To isparavanje naročito je jako ako je tlo golo, tj. ako se biljke nalaze u prvoj fazi vegetacijskog razvoja. Voda se iz sloja golog tla do dubine od 10 cm izgubi vrlo brzo, tijekom nekoliko dana. Za dublje slojeve proces isparavanja vode iz tla ide postepeno.

Procjenjuje se da veličina isparavanja s tla i vegetacije iznosi od 5% do 8% dopremljenog obroka vode. Prema tome, ukupno isparavanje u normalnim uvjetima procjenjuje se na red veličine do 10%, što je znatno manje od gubitaka koje izaziva vjetar iskrivljenjem mlaza i odnošenjem vode van područja natapanja.

### 5.2.3. Utjecaj infiltracije na natapanje kišenjem

O odnosu natapanja kišenjem i infiltracije govorilo se u uvodnom poglavlju, gdje je ukazano na važnost da se obrati vrlo ozbiljna pažnja tom problemu. Zbog toga se u literaturi o natapanju kišenjem taj problem često naziva "ograničenja infiltracije" (*infiltration limitations*). I zaista, infiltracija svojim zakonima ponašanja ograničava količinu vode koja se može dopremiti određenom tlu. Ti će problemi biti i grafički objašnjeni na slici 52-5. Na slici 52-5A ucrtan je uobičajeni oblik krivulje promjene kapaciteta infiltracije  $f_p$  u vremenu. Kao prvo, definirat će se pojam kapaciteta infiltracije kao maksimalni mogući iznos infiltracije koje dano tlo u određenom trenutku vremena može primiti. Uočava se da zakon promjene kapaciteta infiltracije opada s vremenom te da se od maksimalne početne vrijednosti asimptotski približavaju nekoj konstantnoj veličini. Infiltracijski se kapacitet smanjuje tijekom procesa infiltracije kao rezultat: 1. bubrenja čestica tla pod udarom kišnih kapi; 2. nadimanja glinovitih i nekih drugih čestica; 3. brtvljenja pora u tlu zbog stalnog dotoka sitnih čestica; 4. zahvaćanja i zatvaranja čestica zraka u porama tla. Ponašanje infiltracijskog kapaciteta dano na slici 52-5A, dakle infiltracija u maksimalnom iznosu, javlja se samo ako je intenzitet kiše veći od kapaciteta infiltracije. Intenzitet kiše prilikom natapanja kišenjem ili dopremljeni obrok vode  $i$  u početku su manji od kapaciteta infiltracije. Međutim, u trenutku  $t_k$  prikazanome na slici 52-5A,  $i$  postaje veći od kapaciteta infiltracije te se na tlu počinju stvarati barice vode (voda se retencionira), a započinje i proces tečenja po terenu. O negativnim aspektima tih pojava govorilo se prije, kada je ujedno i spomenut i definiran pojam graničnoga dozvoljenog intenziteta kiše o kojem će se kasnije detaljnije raspravljati. Da bi se spomenuti procesi izbjegli, potrebno je prekinuti s natapanjem. U pauzi dok se ne provodi natapanje, kapacitet se infiltracije obnavlja, povećava i naraste iznad veličine dopremljenog obroka, kako je to prikazano na slici 52-5B. Očigledno je da je moguća i drugačija taktika natapanja, a to je ona koja će s vremenom smanjivati dopremljeni obrok vode prilagodavajući ga karakteristikama kapaciteta infiltracije određenog zemljišta.



Slika 52-5 Objašnjenja vezana uz odnos dopremljenog obroka i kapaciteta infiltracije  $f_p$

Skoro i ne treba naglašavati da lagana pjeskovita tla imaju vrlo visok kapacitet infiltracije te kod natapanja kišenjem u tim uvjetima obično ne dolazi do stvaranja barica i procesa otjecanja po terenu. Sasvim je suprotna situacija kod teških glinovitih tala, gdje se taj problem posebno drastično javlja. Katkada je u takvim tlima neizbježno raditi s vrijednostima dopremljenog obroka višima od kapaciteta infiltracije te paralelno projektirati i odvodnju dijela volumena vode kojom se natapa kišenjem.

Kod kišenja sa stacionarnim uređajima uvijek se nastoji sačuvati tlo od stvaranja barica i otjecanja po terenu. Kod pokretnih pak uređaja zahtjevi upotrebe vode mogu uvjetovati primjenu dopremljenih obroka čiji iznos prelazi kapacitet infiltracije. U tom se slučaju može i mora računati s dijelom vode koja će se retencionirati na površini i zadržati na vegetaciji. Do tečenja po terenu dolazi tek kad se pređe i kapacitet retencioniranja vode na površini tla i na vegetaciji. Heermann i Kohl (1981.) navode istraživanja o maksimalnoj mogućoj količini zadržane vode na površini tla u zavisnosti od pada terena. Vrijednosti su dane u tablici 52-4. One mogu poslužiti projektantima sustava za kišenje kao podatak na osnovi kojega mogu definirati maksimalni iznos dopremljenog obroka. Ako se kišenje nastavi i poslije te količine, dolazi do otjecanja po terenu koje se svakako mora izbjeći. Ta istraživanja dovela su do zaključka da se slične količine vode zadrže i na vegetaciji. U funkciji razvoja kulturne biljke ta vrijednost jako varira te se pri projektiranju obično ne uzima u obzir.

*Maksimalne dopuštene vrijednosti količine retencionirane vode u funkciji različitih padova*

Tablica 52-4

Red.br.	Pad terena (%)	Dopuštena količina retencionirane vode (mm)
1.	0 - 1	13,0
2.	1 - 3	7,5
3.	3 - 5	2,5

#### 5.2.4. Ostale upotrebe natapanja kišenjem

Sustavi natapanja kišenjem često se primjenjuju i za neke druge specijalne svrhe vezane s povećanjem biljne proizvodnje. Svaki specijalni tip primjene zahtijeva različite pristupe kišenjem. Zaštita bilja od mraza kišenjem općenito zahtijeva niske dozvoljene obroke vode, a sustav mora opskrbljivati vodom prostranu regiju. Želi li se postići kontrola, tj. smanjenje ili potpuno izbjegavanje vodne i eolske erozije, u principu bi površina tla trebala stalno biti vlažna, ali se na njoj ne bi smjele formirati barice vode. Ako se pak preko sustava kišenja unose i kemikalije, tj. gnojiva, pesticidi i herbicidi, zahtijeva se krajnje ravnomjerna raspodjela tekućine po prostoru uz osiguranje da obližnji vodni i drugi resursi neće biti zagađeni.

Sustav kišenja za zaštitu od mraza mora moći raditi kod temperatura nižih od 0°C te vodu kontinuirano dopremati za sve vrijeme dok je temperatura niža od 10°C. Dopremljeni obroci kreću se od 2,3 do 23 mm/h, pri čemu se prva vrijednost odnosi na uvjete vjetra, a druga na uvjete s jakim vjetrom od 4 m/s.

Natapanje kišenjem može se koristiti i za hlađenje bilja. Hlađenje je bilja potrebno kad se želi odgoditi proces pupanja. Radi se dakle o potpuno suprotnom cilju nego kod zaštite od mraza. Taj se postupak obavlja u uvjetima kada je biljka došla do faze pupanja, ali još uvijek postoji visoka vjerojatnost pojave mrazeva koji bi mogli uništiti pupoljak, koji je posebno osjetljiv. Razvoj pupoljka izravna je funkcija akumulirane topline u biljci. Čuvanjem pupoljka vlažnim tijekom razdoblja kad temperatura zraka prelazi 7,2°C, akumulirana toplina u biljci postaje manja, što odgađa proces pupanja. Za tu svrhu upotrebljavaju se mlaznice koje proizvode vrlo sitnu kišu. Sustav često radi s prekidima (2 minute radi, a sljedeće 2 minute prekida rad), ali uvijek kod temperatura većih od 7,2°C. Kišenje ne treba obavljati u trenucima kada je vlažnost zraka visoka, a to je najčešće do ujutro u 8 sati i 30 minuta. Dopremljeni obrok kreće se od 3,0 do 3,8 m/h. Indeks ravnomjernosti mora biti veći od 80%.

Natapanje kišenjem može se primijeniti kod nekog bilja za usporavanje procesa klijanja. Te se biljke hlade kišenjem da se pojačaju i kakvoća i količina proizvodnje. Obično se primjenjuju vrlo niski dopremljeni obroci od 1 do 4 mm/h. Rad se može obavljati kontinuirano ili s prekidima.

U područjima s jakim vjetrovima i pjeskovitim tlom, gdje je opasnost od erozije velika, potrebno je natapati kišenjem svakodnevno ili češće nego što to sama biljna proizvodnja traži. Vrijednost dopremljenog obroka vode ne treba prelaziti 2,5 mm/h.

Sustav natapanja kišenjem može se primijeniti i za unošenje gnojiva, herbicida i pesticida na polja. Vrlo je važno da otopina kemikalije bude u svim trenucima jednake koncentracije, što se postiže posebnim aparatima za miješanje tekuće ili krute kemikalije s vodom. Najvažniji je zahtjev kod te vrste kišenja zaštita okolice (posebno sustava za snabdijevanje vodom) od zagađenja. Kod tog tipa kišenja zahtijeva se visoki koeficijent ravnomjernosti, veći od 80% pa čak i 90%.

## LITERATURA

1. Addink, J.W., J. Keller, C.H. Pair, R.E. Sneed, J.W. Wolfe. 1981. Design and operation of sprinkler systems. U: M.E. Jensen (ur.) Design and Operation of Farm Irrigation Systems. ASAE Monograph No. 3 Michigan, USA: 620-660
2. Blanchard, D. 1950. The behaviour of water drops at terminal velocity in air. Trans. AGU. V.31-5
3. Christiansen, J.E. 1942. Irrigation by sprinkling. Univ. of Calif. Exp. Sta. Bul. 670: 124 str.
4. Frost, K.R., Schwalen, H.C. 1955. Sprinkler evaporation losses. Agr. Eng. 8. Arizona, USA
5. Heermann, D.F., R.A. Kohl. 1981. Fluid dynamics of sprinkler systems. U: M.E. Jensen (ur.) Design and Operation of Farm Irrigation Systems. ASAE Monograph No. 3. Michigan, USA: 582-618
6. Kay, M. 1983. Sprinkler irrigation equipment and practice. ELBS & BCA, London
7. Kohl, R.A. 1974. Drop size distribution from medium-sized agricultural sprinklers. Transaction of the ASAE 15(2): 264-271
8. Kos, Z. 1987. Hidrotehničke melioracije tla - Navodnjavanje, Školska knjiga, Zagreb: 216 str.
9. Momčilović, V. 1981. Prilog proučavanju krupnoće kapljica pri natapanju kišenjem (doktorska disertacija), Građevinski fakultet Niš, 206 str.
10. Momčilović, V. 1983. Influence de la pression sur le spectre granulometrique de l'asperseur. La Houille Blanche No. 1: 33-38
11. Preobraženskaja, M.V. 1953. Glubina promačivanja počvi pri polivah raznimi normami v uslovijah centraljno - černožjomnoj polosi. Gidrotehnika i melioracija 6
12. Trisoldi, A. 1965. L'irrigazione. Edizioni Agricole, Bologna



## 5. NATAPANJE KIŠENJEM

**Prof.dr. STJEPAN MAĐAR**

Poljoprivredni fakultet  
Sveučilišta u Osijeku

**Prof.dr. FRANE TOMIĆ**

**Mr. DAVOR ROMIĆ**

Agronomski fakultet  
Sveučilišta u Zagrebu

### 5.3. ZNAČAJKE I PRIMJENA NATAPANJA KIŠENJEM

#### 5.3.1. Općenito

Natapanje je kišenjem takav način dodavanja vode poljoprivrednim kulturama kod kojega se ona raspodjeljuje po površini terena u obliku kišnih kapljica. Putem hidrauličkih naprava imitira se prirodna kiša te se tom tehnikom natapanja stvara "umjetna" kiša vodenih kapljica većega ili manjega promjera, koje iz zraka padaju na tlo i biljke.

Načini i tehnike natapanja umjetnom kišom (ili u stručnoj terminologiji samo kišenje) novijega su datuma i ušli su u poljoprivrednu praksu s razvojem moderne tehnologije i opreme, a posebno raznih crpki, lakih cijevi od aluminija i plastike te raznih vrsta rasprskivača. Umjetno kišenje poljoprivrednih usjeva razvija se naglo iza II. svjetskoga rata. Danas je ono jako rasprostranjeno uz tendenciju daljega širenja te postaje jedan od najrasprostranjenijih načina natapanja. Razlog su tome brojne prednosti koje ima, stalna tehnička usavršavanja i mogućnosti potpune mehanizacije i automatizacije čime se smanjuje potreba za ljudskim radom koji je sve skuplji.

Prema podacima FAO-a u svijetu se danas natapa oko 235 mil. ha oranica (15% ukupnih obradivih površina), od čega veliki udjel čine razni sustavi natapanja kišenjem (FAO Year book 1990.). Sve nove površine za natapanje poljoprivrednih kultura opremaju se danas pretežito sustavima za umjetno kišenje. Također se pri rekonstrukcijama starih natapnih polja klasičnim površinskim načinima (brazde, potapanje, prelijevanje) izgrađuju i uvode najsuvremeniji sustavi i opreme za kišenje.

### 5.3.2. Prednosti i nedostaci kišenja

Brzo širenje natapanja kišenjem u poljoprivredi zahvaljuje se nizu prednosti koje taj način ima u odnosu na druge klasične tehnike, a to su:

- sve vrste poljoprivrednih kultura mogu se natapati kišenjem, od ratarskih, krmnih, voćarskih, povrćarskih te vinograda i zaštićenih kultura u staklenicima i plastenicima, do obiteljskih travnjaka, parkova i sportskih igrališta;

- kišenjem se mogu natapati tereni različitih topografskih osobina, ravni, manje ili više nagnuti, a nije potrebno najprije urediti i ravnati površine;

- primjena je kišenja moguća na svim tipovima tala, različitih infiltracijskih, fizikalnih i vodnih osobina, tlima teškoga mehaničkoga sastava sa plitkom podzemnom vodom kao i na lakim pjeskovitim i propusnim tlima;

- sustavi i oprema za kišenje ne oduzimaju poljoprivrednu proizvodnu površinu kao ostali klasični načini natapanja gdje su značajni gubici terena pod raznim hidrotehničkim objektima i građevinama;

- kišenjem se troše manje količine vode u odnosu na druge načine natapanja, pa se voda racionalnije raspodjeljuje po površini i točnije dozira biljkama prema njenim potrebama i fazama razvoja;

- suvremena oprema za kišenje omogućuje višenamjensko korišćenje uređaja u tehnološkim procesima proizvodnje poljoprivrednih kultura kao što je borba protiv mrazeva u voćnjacima, primjena zaštitnih sredstava, istovremena ishrana putem hranjiva topivih u vodi te korišćenje gnojnice iz stočnih farmi;

- smanjuje se površinska erozija tla i uništenje strukture kao i pogoršanje fizikalnih svojstava.

Pored niza prednosti, natapanje poljoprivrednih kultura kišenjem ima i svojih nedostataka koji ponekad mogu spriječiti njegovu primjenu. Nedostaci su kišenja sljedeći:

- cijena je uređaja i opreme visoka pa čini značajan udio u početnoj investiciji kod izgradnje sustava kišenja;

- troškovi su rada i održavanja relativno visoki jer uređaji za natapanje kišenjem troše znatne količine energije budući da vodu treba crpiti i neprestano tlačiti (radni su tlakovi u cjevovodima od 2 - 12 bara);

- znatni gubici vode isparavanjem prilikom prolaska kapljica vode kroz zrak te neravnomjerna raspodjela vode po površini pri jakome vjetru;

- veće kapljice vode kod rasprskivača većega intenziteta kišenja kvare strukturu tla, a na površini se stvara pokorica, što smanjuje upijanje vode;

- otežano prenošenje i pokretanje opreme i uređaja nakon kišenja iz jedne radne pozicije u drugu zbog vlažnoga i blatnoga tla.

## 5.4. SASTAVNI ELEMENTI SUSTAVA KIŠENJA

Sustavi za natapanje kišenjem predstavljaju zasebne hidrauličke cjeline, gdje se voda kreće unutar zatvorenog cjevovoda od izvorišta vode do mjesta potrošnje na poljoprivrednoj površini. U cijevima se održava određeni radni tlak vode koji stvara crpka, a u cijelome sustavu vladaju hidrodinamičke zakonitosti tečenja vode pod tlakom. Zato je za crpljenje i tečenje vode kroz cjevovode u opremi za kišenje potrebno stalno ulagati energiju, električnu ili iz motora s unutrašnjim sagorijevanjem.

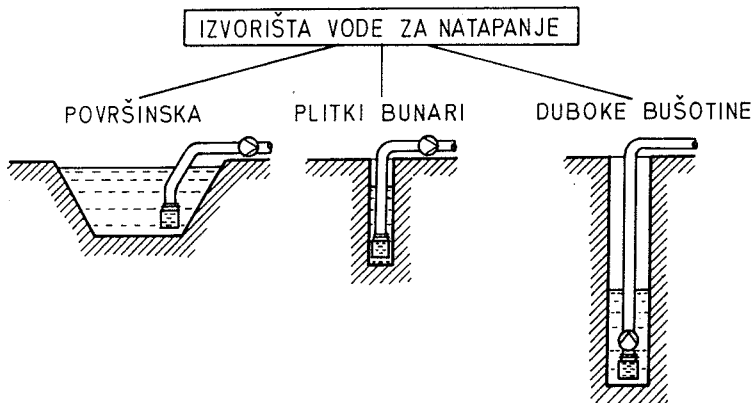
Glavni tehnički elementi i sastavni sklopovi sustava za natapanje kišenjem jesu:

- crpka ili crpna postrojenja (na izvorištu vode)
- tlačni i dovodni cjevovodi (potiskuju vodu od crpke do mjesta korišćenja)
- razvodne cijevi (razvođe vodu po parceli do rasprskivača)
- rasprskivači (raspoređuju vodu tlu i bilju)

## 5.4.1. Crpke, crpne stanice i pogonski motori

Za podizanje vode s izvorišta i potiskivanje u cjevovode primjenjuju se isključivo centrifugalne crpke s pogonom na struju ili s unutrašnjim sagorijevanjem.

Jedna ili više crpki koje čine crpnu stanicu (CS) postavljaju se na izvorište vode. Potrebna voda za natapanje kišenjem može se zahvaćati iz površinskih (rijeke, rječice, potoci, jezera, akumulacije) ili podzemnih izvorišta (plitki bunari, duboke bušotine).



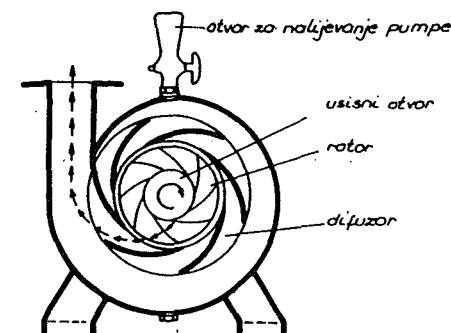
Sl. 54-1 Izvorišta vode za natapanje kišenjem

Kao pogonski motori za crpke, najčešće se upotrebljavaju elektromotori koji su sigurni, jednostavni i pouzdani u radu. Crpka tjerana elektromotorom radi ravnomjerno, a pogon je ekonomičan.

Ako je za dovod električne energije potrebno graditi duge električne vodove i trafostanice, koji su vrlo skupi, tada se za pogon crpki upotrebljavaju obično diesel agregati. Poželjno je da su crpka i motor izravno spojeni, a motor treba imati rezervnu

snagu jer se tijekom vremena ona gubi. Manje prenosive crpke mogu se pogoniti traktorom preko priključne osovine. Takav je pogon sigurniji i ekonomičniji nego pogon preko remenice.

Centrifugalna crpka, koja se primjenjuje pri natapanju kišenjem, sastoji se iz sljedećih dijelova: rotora, osovine, lopatica, usisnog otvora, otvora za nalijevanje i kućišta. Pri okretanju osovine i lopatica, dolazi do okretanja vode, koja se centrifugalnom silom izbacuje od središta rotora prema vanjskome rubu lopatica. Na taj način stvara se tlačna energija kojom crpka podiže vodu do neke određene visine, visine dizanja.



Sl. 54-2 Shematski presjek centrifugalne pumpe

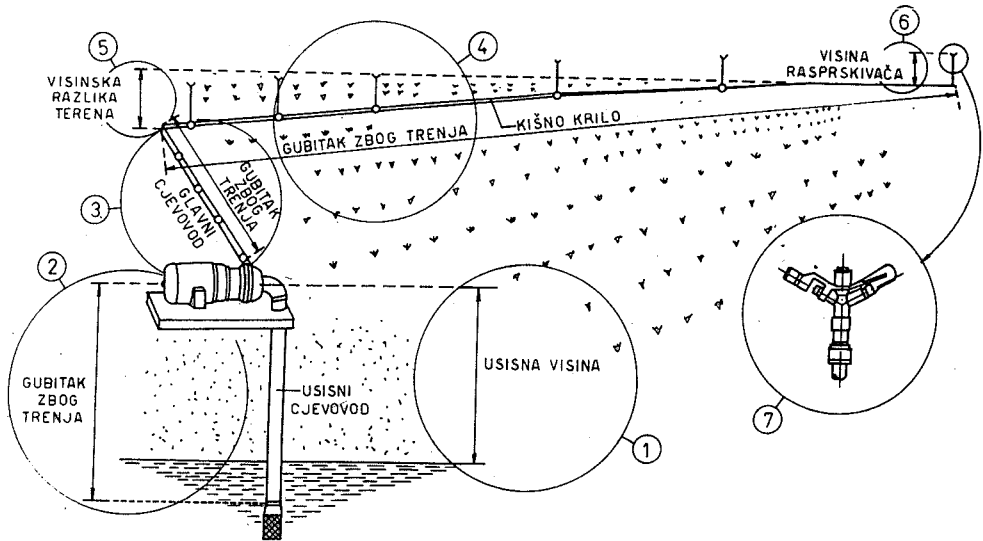
Visina dizanja izražava se u metrima vodenoga stupca (mvs) ili u barima (1 bar = 10 mvs) ili paskalima (Pa), a označava se sa  $H$ . Potreban je otvor za nalijevanje crpke jer ona radi samo kada je puna vode i zato se prije početka rada kroz njega puni vodom.

Brzina je okretanja osovine crpke ograničena njenom konstrukcijom i o njoj ovisi visina dizanja vode. Pomoću običnih i jednostavnih crpki, visina dizanja iznosi 60 -80 m (6-8 bari tlaka), jer one imaju samo jedan rotor. Za ostvarivanje većih visina dizanja vode i potrebnih radnih tlakova u cjevovodima sustava kišenja, crpka mora imati dva ili više rotora montiranih na zajedničkoj osovine (tzv. višestepene crpke). Svaki rotor daje vodi dodatnu energiju pa se na taj način može postići radni tlak uređaja za kišenje. Za podizanje vode iz dubokih bunara ili bušotina upotrebljavaju se uronjene (potopljene) crpke s više stupnjeva različitih protoka i visine dizanja.

Kod izbora je crpki potrebno poznavati njene tehničke i hidrauličke značajke: manometarsku visinu dizanja  $H_m$ , efektivnu snagu  $N_e$ , korisnost ( $\eta$ ) i protok vode ( $Q$ ).

Manometarska visina dizanja  $H_m$  predstavlja stvarni prirast energije vode u crpki. Ta energija služi za podizanje vode iz izvorišta, za tlačenje i svladavanje otpora trenja u cjevovodima i armaturama. Manometarska visina dizanja crpke dobije se zbrajanjem svih gubitaka u cijevnom sustavu te srednjega radnoga tlaka rasprskivača, a sastoji se iz (sl. 54-3):

1. usisne visine
2. gubitka tlaka u usisnoj cijevi
3. gubitka tlaka u glavnom cjevovodu
4. gubitka tlaka u kišnom krilu
5. visinske razlike između crpke i najvišega rasprskivača (geodetska visina)
6. gubitaka tlaka u armaturi i spojnim komadima
7. radnoga tlaka rasprskivača



Sl. 54-3 Manometarska visina pri kišenju

Efektivna snaga crpke  $N_e$  jest snaga koju ona ima na svojoj osovini i izračunava se na sljedeći način:

$$N_e = \frac{Q \cdot H_m}{\eta \cdot 75} \cdot 0,735 \text{ ili } N_e = \frac{Q \cdot H_m}{102 \cdot \eta}$$

gdje su vrijednosti:

- $N_e$  - efektivna snaga crpke u kW
- $Q$  - protok vode l/s
- $H_m$  - manometrička visina dizanja vode u mvs
- $\eta$  - koeficijent iskorištenja crpke

Korisnost pumpe ( $\eta$ ) predstavlja odnos radne snage crpke i snage primljene od motora. Dobro konstruirane crpke imaju  $\eta = 0,7$  što znači da 70% snage koju prima od motora ona koristi za crpljene vode, a 30% su gubici.

Protok vode ili kapacitet crpke  $Q$  jest količina vode koja u jedinici vremena kroz nju proteče, odnosno njena sposobnost uzimanja i tlačenja vode, izraženo u l/s.

Crpka treba dobavljati određenu količinu vode do rasprskivača u zatvorenom cijevnom sustavu s potrebnim radnim tlakom, a uz što veći koeficijent iskorištenja.

Protok ili kapacitet crpke može se izračunati:

$$Q = \frac{N_e \cdot \eta \cdot 75}{H_m \cdot 0,735} = \frac{N_e \cdot \eta \cdot 102}{H_m}$$

Pri izboru kapaciteta crpke potrebno je voditi računa o površini i kulturi koja se natapa, količini vode koju treba dodati (obrok i norma natapanja) te o vremenu rada crpke. Kod većih imanja i površina koje se natapaju nije dovoljna samo jedna crpka, nego treba ugrađivati više njih u seriju te izgrađivati crpne stanice.

Crpne stanice (CS) jesu posebni vodoprivredni objekti i moraju se pažljivo projektirati da zadovolje potrebe za vodom cijeloga sustava natapanja kišenjem, kako po količinama vode izraženima u protoku  $Q$  tako i vremenskim zahtjevima (faze razvoja biljaka) kulture. Današnji sustavi za natapanje kišenjem na velikim površinama imaju crpne stanice i postrojenja koja su vrlo elastična i rade "na zahtjev" prema potrebama kultura u strukturi sjetve na natapnim poljima.

### 5.4.2. Cjevovodi

Osnovna je konstrukcija svih sustava za natapanje kišenjem izgrađena od cijevi koje su izrađene od raznoga materijala i imaju raznoliku namjenu. Cijevima se voda odvodi od izvorišta i potiskuje do rasprskivača. Kretanjem vode kroz cijevi javlja se trenje i gubici tlaka uzduž cjevovoda (linijski) i spojnih komada (lokalni). Hidraulički gubici u cjevovodima sustava kišenja računaju se po formuli Darcy-Weisbacha:

$$h = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$h$  - gubitak tlaka zbog trenja u mvs

$\lambda$  - koeficijent trenja

$L$  - duljina cijevi u m

$v$  - brzina vode u m/s

$g$  - sila teža (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$D$  - promjer cijevi u m

Gubici tlaka u cjevovodima mogu se izračunati i iz nomograma, gdje su grafički prikazani odnosi gubitaka i protoka (sl. 54-4).

Gubici su tlaka veći ako je cjevovod duži. Ukupni gubici tlaka vode u cjevovodu ne bi smjeli biti veći od 20% radnoga tlaka na izlazu iz crpke. Pri jednakom promjeru cijevi gubici tlaka rastu s povećanjem protoka vode. Za određeni protok vode gubici su tlaka manji što je promjer cijevi veći. Gubici tlaka javljaju se još i u spojnim komadima (fitinzima), ventilima, raznim regulatorima protoka i rasprskivačima.

Svaka cijev kao i svaki spojni komad pojedinačno izrađeni su od određenoga materijala i imaju svoja hidraulička svojstva koja se ispituju u fazi njihove izrade u tvornici. Tako proizvođači cijevi i opreme za natapanje izrađuju posebne tehničke tablice i nomograme za svoje proizvode. One se kao katalozi sa svim tehničkim podacima dostavljaju projektantima i korisnicima sustava natapanja. Pomoću njih moguće je izračunati pojedinačne hidrauličke gubitke tlaka u cjevovodima sustava za natapanje kišenjem te izabrati vrstu i promjer cijevi kao i ostalu opremu i rasprskivače.

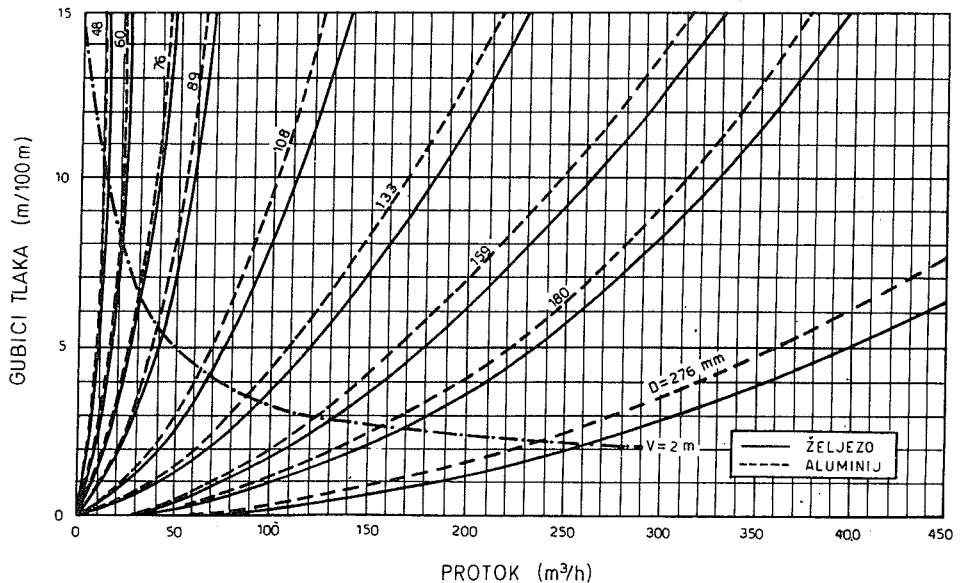
Cijevi za sustave kišenja izrađuju se od različitih materijala koji mogu izdržati visoke tlakove vode. Ukopani i stabilni tlačni cjevovodi grade se od željeza ili čelika, azbestno-cementnih (AC), betonskih i plastičnih (PE) cijevi. Cijevi su vrlo čvrste, kvalitetne i mogu podnijeti tlakove vode od 2-12 i više bari, a brzina vode u njima može

biti do 3 m/s. Položene cijevi u zemlji spajaju se posebnim spojnicama, a prije nego što se zatrpaju potrebno je obaviti tlačne probe.

Razvodne cijevi i kišna krila izrađuju se danas pretežno od aluminija (AL) ili njegovih legura, ali također i od plastike (PVC i PE). One su lagane i pogodne za prenošenje te brzo spajanje na površini parcele koja se natapa.

Prema zadaći i namjeni, cjevovodi se kod sustava natapanja kišenjem sastoje od:

- usisne cijevi
- glavnoga tlačnoga i dovodnog cjevovoda,
- razvodnih cijevi ili kišnih krila,
- spojnih komada, regulatora tlaka i protoka.



Sl. 54-4 Gubici tlaka u cijevima od željeza i aluminija

Usisna cijev nalazi se između izvorišta vode i crpke i treba biti što kraća. Najčešće je to savitljiva, rebrasta gumena cijev na čijem se kraju nalazi zaštitna košara koja štiti od ulaska krupnijih nečistoća i vodenoga bilja u cijev i crpku.

Glavni tlačni ili dovodni cjevovod spaja crpku i razvodne cijevi, a voda se njime potiskuje pod određenim tlakom do rasprskivača. U njemu vladaju vrlo visoki tlakovi vode (5 - 15 bari) te se zato izrađuju od željeza, čeličnih, azbest-cementnih, betonskih ili polietilenskih cijevi. Mogu biti većih duljina (i po nekoliko desetaka kilometara), naročito kod velikih sustava natapanja gdje je izvorište vode udaljeno od natapnih polja.

Promjer glavnoga cjevovoda dimenzionira se prema količini vode koja je potrebna za natapanje određene poljoprivredne površine. Osnovni je tehnički element u projektiranju cijevnoga sustava hidromodul natapanja  $H$ . To je količina vode koju treba neprekidno dovoditi kroz cjevovod do natapne površine, a izražen je u l/s/ha.

Može se na više načina odrediti hidromodul natapanja pa zbog toga mogu i postojati velike razlike u vrijednosti tog elementa određenoga za jednak slučaj.

Na temelju toga razlikuju se prema Tomiću (1988.): neto hidromodul  $H_n$ , radni hidromodul  $H_r$  i stvarni radni hidromodul  $H_{sr}$ . Svaki se od tih hidromodula može odrediti za svaku uzgajanu poljoprivrednu kulturu. Ako se natapa više raznolikih usjeva

u strukturi sjetve na natapnom polju, za dimenzioniranje cjevovoda nužno je odrediti hidromodul prosječnoga hektara ("idealni hektar"), koji treba biti dovoljno elastičan da zadovolji potrebe za vodom svih kultura.

Promjer glavnoga cjevovoda može se izračunati na sljedeći način:

$$D = 40 \cdot \sqrt{\frac{Q}{v}}$$

ili još jednostavnije :

$$D = \sqrt{Q}$$

gdje je :

- $D$  - promjer cijevi u mm
- $Q$  - protok vode u l/s
- $v$  - brzina vode u cijevi u m/s

Glavni su tlačni i dovodni cjevovodi kod stabilnih i polustabilnih sustava kišenja ukopani i ugrađuju se na dubinu 70-80 cm ispod površine tla. Hidranti ili koji drugi tipovi priključaka postavljaju se najčešće na razmacima 50-80 i više metara (Kos, Z. 1987.). Na tlačnim cjevovodima postavljaju se i mjerači protoka vode te razni spojni komadi.

Razvodne cijevi i kišna krila služe za dovodenje vode iz glavnih cjevovoda na polja koja se natapaju. Kišna krila jesu cijevi koje na određenim razmacima nose na sebi rasprskivače. Radni su pritisci u tim cijevima između 2 i 7 bari. Zbog toga one moraju biti kvalitetne izrade i dobrog materijala, a da pri tome budu lagane za prenošenje i spajanje.

Kišna krila izrađuju se uglavnom iz laganih materijala, legure aluminija (Al-cijevi), pocinčanoga lima ili plastike. Spajaju se brzo priključnim spojnicama, koje mogu biti mehaničke i hidrauličke. Mehaničke spojnice sastoje se iz "muške" i "ženske" glave, u koje se postavlja gumeni prsten radi dobrog brtvljenja te ručice za pritezanje. Spajanje se obavlja vrlo brzo i jednostavno tako da se natakne jedna cijev u drugu i pritegne ručica koja uvijek treba stajati na gornjoj strani cijevi.

Mehaničke spojke (sferične) omogućuju spajanje cijevi pod određenim kutom (do 15°) pa su pogodne za neravne terene. Nedostatak im je što nakon prestanka kišenja i rada crpke cjevovod ostaje pun vode, što predstavlja teškoće pri prenošenju u novi radni položaj.

Hidrauličke spojke imaju u "ženskoj" glavi poseban prsten od gume, koji brtvi cijevi samo pod određenim tlakom vode, odnosno puštanjem crpke u pogon. Nakon što agregat za crpljenje prestane raditi, brtvljenje prestaje, a cijevi se prazne.

Lakoprensive cijevi za kišna krila obično su standardnih dužina 6 m (ili 9 m) te raznih komada za umetanje od 2 m ili 3 m. Izrađuju se različitoga unutrašnjega promjera, i to 50, 70, 90, 110, 125 i 150 mm.

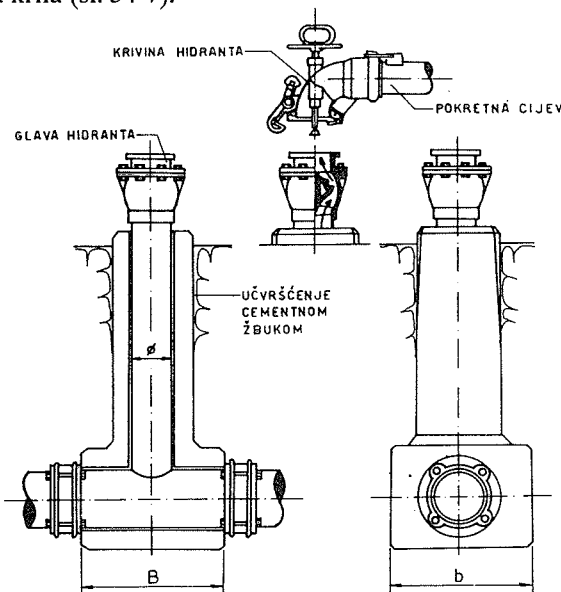
Na kišnim se krilima nalaze i priključne cijevi (vertikale) za rasprskivače. Priključak je za rasprskivač s navojem zavaren u sredini cijevi na koji se stavlja priključna ili produžna cijev sa rasprskivačem (0,5 - 1,0 m).

Dužine su kišnih krila različite, a u zavisnosti od udaljenosti na natapnoj površini, a mogu biti oko 400 m i više. Kod kišnoga krila s većim brojem rasprskivača

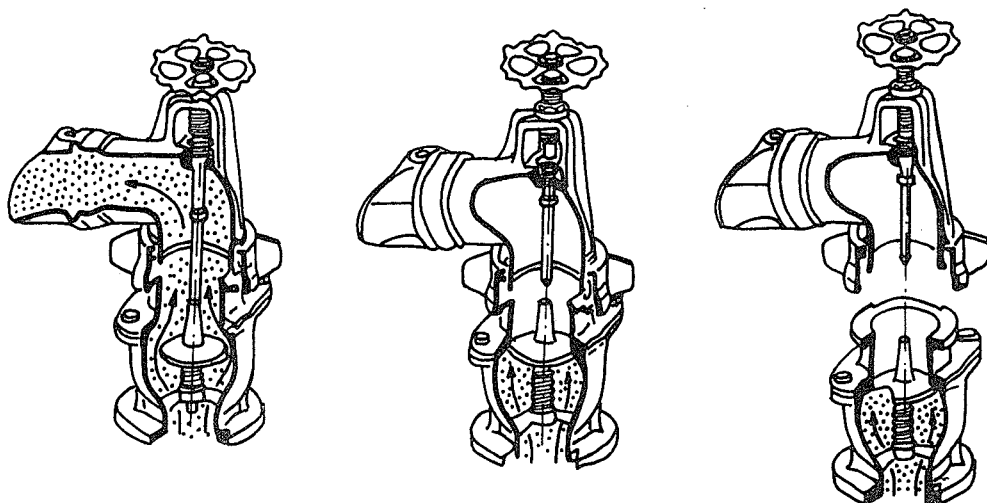




Na ukopanim razvodnim cijevima ugrađuju se na određenim udaljenostima okomiti izvodi - hidranti, koji omogućuju dovod vode do površine (sl. 54-6). Hidranti se proizvode za promjere cijevi od 125 mm, a mogu se upotrebljavati za prijenosne i stacionirane priključke. Na njih se priključuju kišna krila i pokretni dio opreme za kišenje. Hidranti se otvaraju i zatvaraju odvrtnjem ručice, a prema potrebi upuštanja ili zatvaranja vode u kišna krila (sl. 54-7).



Sl. 54-6 Izgled hidranta s priključkom kod polustabilnih sustava kišenja



Sl. 54-7 Otvaranje i zatvaranje ventila na hidrantu

## 5.4.3. Rasprskivači

Raspodjela vode u formi kišnih kapljica po površini koja se natapa obavlja se posebnim hidrauličkim napravama koje se zovu rasprskivači. Oni čine najosjetljiviji dio sustava kišenja i o njima ovisi pravilan rad i kvaliteta natapanja. Trebalo bi da svaki rasprskivač zadovolji sljedeće uvjete i da ima ove značajke:

- automatsko i hidrodinamičko kretanje,
- jednoliku raspodjelu vode na natapanoj površini,
- jednoliko rasprskivanje vode duž dometa mlaza,
- što veći domet mlaza u odnosu na radni tlak,
- jednostavnu konstrukciju, trajnost i otpornost na habanje,
- mogućnost reguliranja veličine kapljica vode,
- mogućnost kišenja u cijelom krugu ili dijelu (sektoru) kruga.

Danas u praksi natapanja ima raznih vrsta i tipova rasprskivača te gotovo svaki proizvođač opreme ima svoje tehničke izvedbe - svoje tipove rasprskivača. Proizvođači opreme i uređaja za natapanje kišenjem i rasprskivača daju tehničke podatke o značajkama svakoga tipa u katalogima koji služe projektantima i korisnicima sustava pri planiranju i radu sustava za natapanje.

Izbor je rasprskivača od velike važnosti, a ovisi o kulturi koja se navodnjava, tipu tla i njegovoj infiltracijskoj sposobnosti te topografiji terena. Vrlo je važno uskladiti intenzitet kišenja rasprskivača (mm/h) sa sposobnošću tla da upija vodu jer inače može doći do zabarivanja. Nagib terena na kojem se nalazi natapna parcela i pokrivenost tla kulturama utječu na izbor rasprskivača određenog intenziteta kišenja. Tako Czeratzki, W. (1966.) preporučuje prosječne vrijednosti intenziteta kišenja na raznim tlima (tablica 54-1).

*Prosječne vrijednosti intenziteta kišenja na različitim tlima (prema Czeratzki, W. 1966.)*

Tablica 54-1

Nagib terena %	Pokrivenost tla	Intenzitet kišenja prema vrsti tla (mm/h)			
		1	2	3	4
do 4	slabo	8-18	13-15	18-3	25-50
	dobro	10-25	18-35	25-60	35-75
4-8	slabo	5-13	10-18	13-25	18-35
	dobro	8-18	15-25	25-35	25-60
više od 8	slabo	4-8	8-13	10-18	13-25
	dobro	6-10	10-18	15-25	18-35

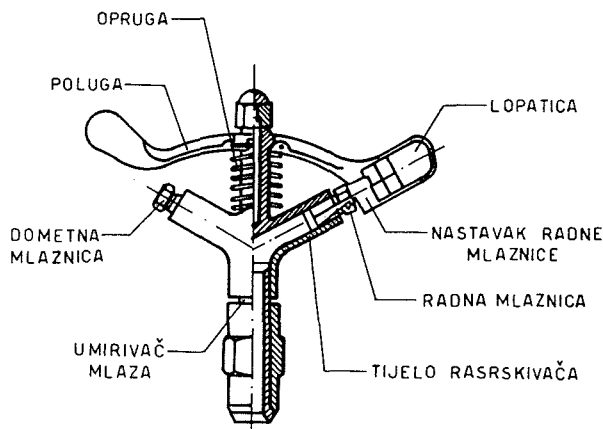
1. srednje teško tlo (glinovita ilovača)
2. srednje lako tlo (pjeskovita ilovača)
3. lagano tlo (praškasti pijesak)
4. vrlo lako tlo (pijesak)

Uobičajeno se danas u praksi natapanja upotrebljavaju rasprskivači intenziteta kišenja od 15 - 20 mm/h na srednje teškim tlima, a na lakim i propusnim tlima primjenjuju se i rasprskivači intenziteta 20 - 30 mm/h.

### 5.4.3.1. Glavne osobine i raspodjela rasprskivača

Rasprskivači se sastoje od jedne ili dvije mlaznice i tijekom rada vrte se u krug ili kiše samo određeni dio (sektor) kruga (slika 54-8).

Osnovni dijelovi rasprskivača jesu: tijelo, mlaznice, opruga za okretanje i lopatica za razbijanje mlaza. Tijelo je rasprskivača obično napravljeno od metalnih legura (mesing), a danas se sve više upotrebljavaju i razne vrste tvrde plastike. Mlaznice služe za izbacivanje vode pod tlakom u zrak i različitih su promjera. Kod rasprskivača s dvije mlaznice, jedna je radna (manjega promjera), iznad koje se nalazi lopatica za razbijanje mlaza i stvaranje kapljica različitih promjera. Druga je mlaznica dometna (većega promjera), koja baca vodu na veće daljine i do ruba omočene površine rasprskivača.



Sl. 54-8 Rasprskivač s dvije mlaznice

Za nježnije se kulture (kao što su povrće i cvijeće), upotrebljavaju rasprskivači s dvije mlaznice, niskoga intenziteta kišenja s malim i finim kapljicama vode. Kulture jačega i robusnijega habitusa, kao što su krmni i ratarski usjevi, mogu se natapati i rasprskivačima većeg intenziteta i grubljih kapljica.

Okretanje rasprskivača oko svoje osi izvodi se na principu reakcije udara. Lopatica za razbijanje udara u mlaz vode i odbija se od njega. Opruga na tijelu rasprskivača vraća lopaticu natrag na mlaz vode i tako ga ritmičkim udaranjem ravnomjerno okreće. Moguće je i mehaničko okretanje rasprskivača pomoću male turbine, koja može biti na radnoj mlaznici. Rad turbine prenosi se na sustav zupčanika koji se nalaze u osloncu tijela te oni okreću rasprskivač.

Postoje i konstrukcije rasprskivača koji natapaju samo dio kružnice, tzv. sektorski rasprskivači. Uređaj za sektorski rad nalazi se na osnovici rasprskivača i omogućuje podešavanje veličine kruga prema potrebi i situaciji na terenu. Tako se npr. kod suvremene opreme kišenjem tipa samohodnoga vučenoga rasprskivača ("Tyfona") natapa samo površina pola kruga, tj. 180°.

Glavne osobine rasprskivača jesu:

- radni tlak (bari),
- domet mlaza (m),
- protok vode ( $m^3/s$ , l/s),
- intenzitet kišenja (mm/h).

Prema glavnim tehničkim značajkama, rasprskivači se mogu podijeliti prema (Tomić, F. 1988., Obelić, V. 1960.):

a) radnom tlaku

- niskoga tlaka (ispod 1,5 bara)
- umjerenoga tlaka (1,5 - 2,5 bara)
- srednjega tlaka (2,5 - 5,0 bara)
- visokoga tlaka (iznad 5 bara)

b) dometu mlaza

- maloga dometa (ispod 20 m)
- srednjega dometa (25 - 30 m)
- velikoga dometa (35 - 50 m)
- vrlo velikoga dometa (preko 50 m)

c) protoku vode

- mali protoci (do 5 l/s)
- srednji protoci (5 - 20 l/s)
- veliki protoci (20 - 50 l/s)
- vrlo veliki protoci (više od 50 l/s)

d) intenzitetu kišenja

- mali intenzitet (manje od 5 mm/h)
- srednji intenzitet (5 - 20 mm/h)
- veliki intenzitet (više od 20 mm/h)

e) broju mlaznica

- jedna mlaznica
- dvije mlaznice

f) pokretnosti mlaznice

- nepokretna mlaznica
- oscilirajuća mlaznica u okomitoj ravnini
- kretanje u krugu u horizontalnoj ravnini (krugu ili dijelu kruga)

g) kontinuitetu kišenja

- neprekinuti ili kontinuirani mlaz
- isprekidan mlaz ili mlaz na mahove (impulsno kišenje)

Pri projektiranju sustava kišenja, a također i u praksi natapanja, potrebno je poznavati osnovne tehničke osobine rasprskivača s kojima se radi. One se mogu naći u katalozima koje uz svoje proizvode nude proizvođači opreme, obično u formi tablica. U njima se nalaze sljedeće osobine rasprskivača: vrsta ili tip (označeno imenom ili brojem), promjer mlaznica, protok vode, radni tlak, domet mlaza i intenzitet kišenja (tablica 54-2).

## Glavne tehničke osobine nekih rasprskivača

Tablica 54-2

Vrsta	Promjer mlaznice (mm)	Radni tlak (bari)	Protok (l/s)	Domet mlaza (m)	Raspored rasprskivača (m)		Intenzitet kišenja (mm/h)
					1.	2.	
Nisko tlačni	3,5/2,5	2,0	0,27	11,7	15x15	20x15	4,3
		3,0	0,32	12,0	15x15	20x18	5,1
	5,0/3,5	2,0	0,45	12,0	15x15	20x18	7,2
		3,0	0,56	13,0	18x18	20x18	6,2
Srednje tlačni	10/6	4,0	2,66	26,5	36x36	45x40	7,3
		5,0	2,98	28,5	40x40	48x42	6,7
	14/6	4,0	4,63	30,0	42x42	50x45	9,4
		5,0	5,17	32,0	45x45	54x48	9,1
Visoko tlačni	30	5,0	20,80	52,0	70x70	84x78	15,3
		6,0	23,00	56,0	75x75	90x84	14,7
	34	6,0	30,00	64,0	64x64		35,4
		7,0	32,30	67,0	67x67		34,3

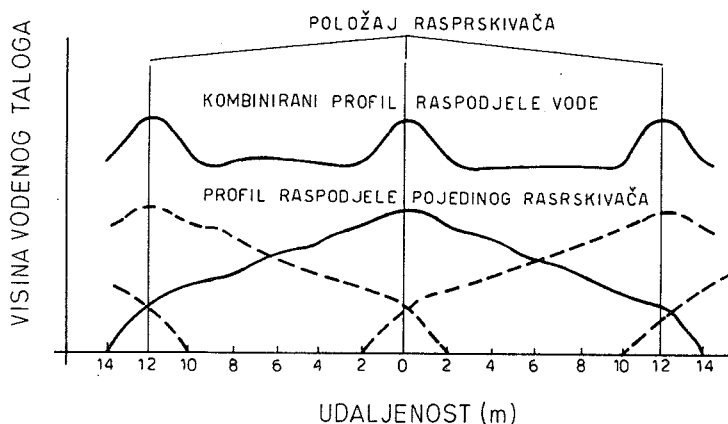
1. raspored po kvadratu

2. raspored po trokutu

## 5.4.3.2. Ravnomjernost kišenja i raspored rasprskivača

Jedna je od najvažnijih značajki rasprskivača ravnomjernost kišenja, koja označuje način raspodjele vode po cijeloj površini koja se natapa. Ravnomjernost je kišenja izuzetno važna radi dobre raspodjele vode svim biljkama na parceli koja se natapa. Ako se voda loše raspodjeli po površini terena, tada se pojavljuju razlike u uzrastu, razvoju i prirodi kultura, što je vrlo nepovoljno s agronomskoga stajališta. Na mjestima gdje je palo više vode biljke se bolje razvijaju, veće su i robusnije, normalnije prolaze svoje fenofaze te daju veće prirode suhe tvari i prinosa. Na slabije okišenim dijelovima površine terena biljke su niže, nepravilno se razvijaju, a prinosi su im znatno manji.

Zbog tehničkih osobina i konstrukcije rasprskivača, vodu nije moguće jednoliko i idealno raspodijeliti uzduž dometa mlaza. U pravilu najviše vode padne oko i u blizini samoga rasprskivača, a prema kraju dometa mlaza sve manje. Zavisno od vrste i glavnih značajki, svaki rasprskivač ima karakteristični profil (slika 54-9) raspodjele vode. Što je raspodjela vode po okišenoj površini ravnomjernija to je rasprskivač bolji.



Sl. 54-9 Profil (dijagram) raspodjele vode rasprskivača

U praksi natapanja ne postiže se nikada idealan raspored vode kišenjem. Na raspodjelu vode pojedinoga rasprskivača najviše utječu radni tlak i strujanje vjetra pri natapanju. Kad rasprskivač radi pod nedovoljnim tlakom, količina je izbačene vode najveća na kraju mlaza. Pri većem tlaku od normalnoga, oko rasprskivača padne najveća količina vode, a prema periferiji dometa mlaza naglo opada. Jači vjetar usmjerava mlaz i kapljice vode u smjeru puhanja te je natapanje kišenjem pri vjetrovitom vremenu vrlo problematično i bolje ga je prekinuti.

Radi što ravnomjernijega kišenja po cijeloj površini natapne parcele, rasprskivači se prikladno razmještaju po površini. Da bi se izbjegla neokišena mjesta i postiglo ravnomjerno kišenje, rasprskivači se međusobno približuju i postavljaju na određeni razmak. Time se periferni dijelovi okišenih kružnih površina jednim dijelom preklapaju, tj. neki se dijelovi površina dvostruko kiše.

Raspored rasprskivača međusobno (unutar reda) i prema kišnim krilima (između redova cijevi) može biti različit, i to: u obliku kvadrata, u obliku istostraničnoga trokuta, dvostrukoga preklapanja te kišenja u sektor.

U praksi se natapanja danas najviše upotrebljavaju rasporedi u obliku kvadrata i istostraničnoga trokuta.

#### Raspored u obliku kvadrata

Kod tog rasporeda međusobna udaljenost između rasprskivača jednaka je razmaku kišnih krila, a rasprskivači se postavljaju na vrhove kvadrata (sl. 54-10).

$$d = 1,42 \cdot r$$

$$P = 2 \cdot r^2$$

$d$  - razmak rasprskivača i kišnih krila (m)

$r$  - radni domet mlaza rasprskivača (m)

$P$  - okišena površina (m<sup>2</sup>)

Raspored je u kvadrat najjednostavniji te je najrašireniji u praksi. Površine prekrivanja relativno su velike te može doći do neravnomjernoga kišenja. Rasprskivači

maloga i srednjega intenziteta kišenja (niskoga i srednjega radnoga tlaka) najčešće se postavljaju na razmacima od 12x12 m, 18x18 m ili 24x24 m.

*Raspored u obliku istostraničnoga trokuta*

Pri tom rasporedu rasprskivači se postavljaju na vrhove istostraničnoga trokuta, a razmak je između rasprskivača:

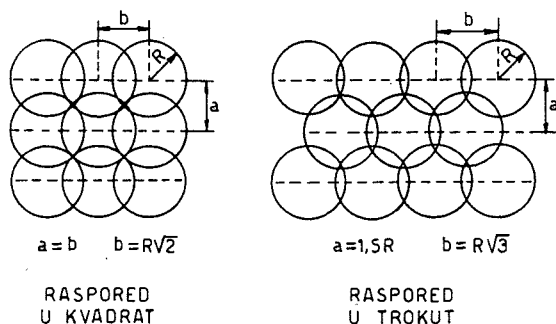
$$a = 1,5 \cdot r$$

$$b = 1,73 \cdot r$$

$$P = 2,6 \cdot r^2$$

$b$  - razmak između rasprskivača

U takvoj je postavi okišena površina znatno veća, intenzitet je kišenja manji pa treba više vremena da se parcela okiši zadanim obrokom natapanja (sl. 54-10).



Sl. 54-10 Raspored rasprskivača na kišnim krilima

Kod natapanja kišenjem, vrlo je značajno poznavati vrijeme rada rasprskivača u jednom položaju. Ako kišenje traje dulje vrijeme nego što je potrebno, na tlo se dodaje prevelika količina vode koja može prouzročiti niz negativnih posljedica, a to su pogoršanje fizikalnih osobina tla, ispiranje hranjiva, erozija tla zbog udaranja kapljica ili otjecanja vode, zamočvarivanje te sekundarno zaslanjivanje zemljišta. Ako je kišenje kraće od potrebnoga, tlo se neće pak natopiti do željene dubine i vlažnosti. Zato je potrebno odrediti vrijeme trajanja kišenja za zadani obrok i uz određeni intenzitet rasprskivača:

$$T = \frac{O}{i}$$

$T$  - trajanje kišenja s jednoga položaja rasprskivača (mm)

$O$  - obrok natapanja (mm)

$i$  - intenzitet kišenja (mm/h)

Intenzitet kišenja rasprskivača jest količina vode koja u jedinici vremena padne na jedinicu površine i može se odrediti:



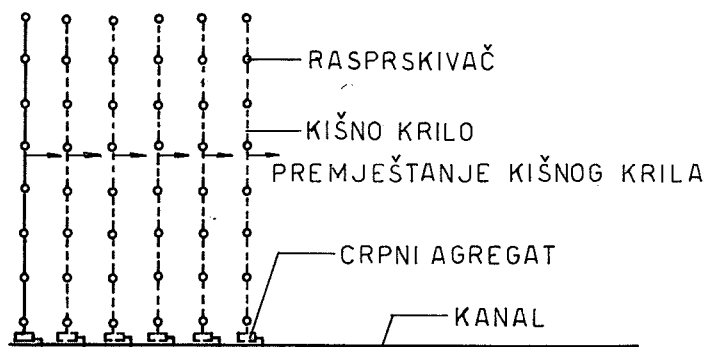
$$i = \frac{\beta \cdot q}{P}$$

- $\beta$  - koeficijent iskorišćenja vode (0,9 - 0,95)  
 $q$  - količina vode izbačena iz rasprskivača (l/min)  
 $P$  - površina kišenja rasprskivača (m<sup>2</sup>)

#### 5.4.4. Raspored uređaja za kišenje i kišnih krila

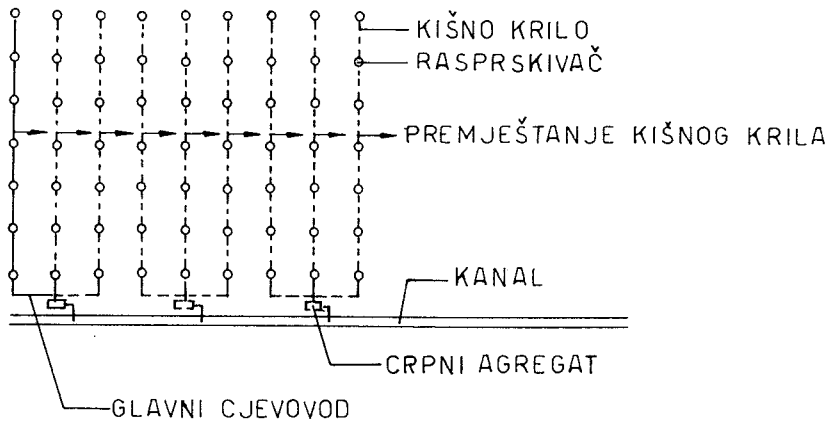
U praksi natapanja klasičnim pokretnim sustavima kišenja, važno je i ispravno postavljanje uređaja i kišnih krila. Prema položaju izvorišta vode, obliku i veličini parcela te raspoloživoj opremi, mogući su razni rasporedi uređaja za natapanje s jednim ili više kišnih krila. Svakako treba odabrati najpovoljnije rješenje kako bi početni troškovi bili najmanji, a najveći učinci rada sustava kišenja.

Ako se natapa mala parcela (širine do 200 m), a s izvorištem vode iz prirodnih vodotoka ili kanala, moguće je primijeniti uređaj za kišenje bez glavnoga cjevovoda i samo s jednim kišnim krilom. Taj sustav kišenja ima manji broj cijevi, a kišno krilo vezano je izravno za crpku. Cijeli je sustav prenosiv, pogodan je za natapanje malih površina povrća, a jedna osoba može sama obaviti premještanje i rad s opremom (sl. 54-11).



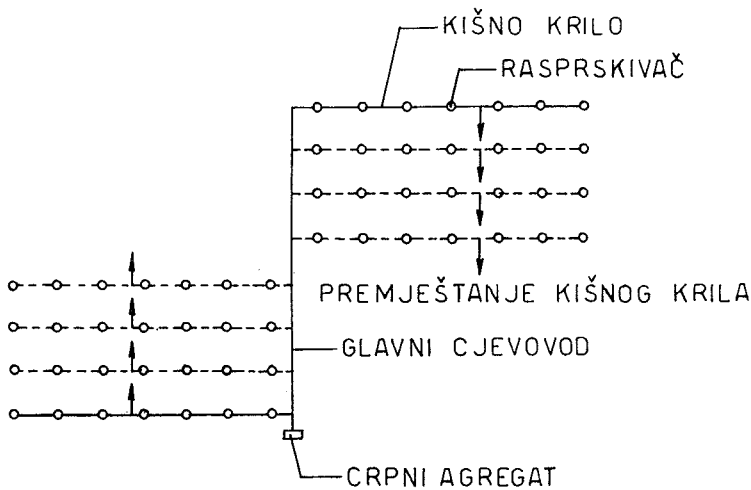
Sl. 54-11 Postavljanje uređaja s jednim kišnim krilom, bez glavnog cjevovoda

Manji broj premještanja crpke može se ostvariti ako se postavi kraći glavni cjevovod, a kišno se krilo premješta dva ili više puta (sl. 54-12). Za taj je sustav potrebno više lakoprenosivih cijevi, ali je manji broj premještanja crpke.



Sl. 54-12 Način postavljanja uređaja "L" glavnim cjevovodom

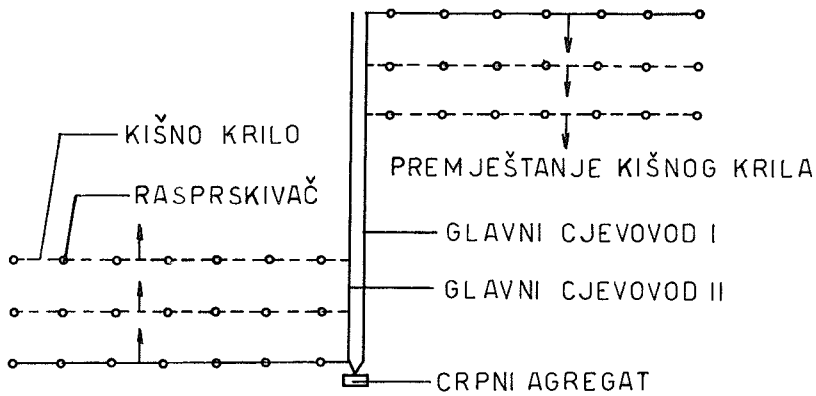
Pri natapanju većih parcela, moguće je uređaje i kišna krila rasporediti na razne načine. Uobičajeno su crpka i glavni cjevovod stabilni, a kišna su krila pokretljiva i postavljaju se u obliku slova "L".



Sl. 54-13 Način postavljanja uređaja "Dvostruko L"

Ako se raspolože s većom količinom lakoprenosivih cijevi, moguće je izvesti raspored kišnih krila u obliku dvostrukoga slova "L" (sl. 54-13). Kapacitet crpke mora biti veći jer oba kišna krila na glavnome cjevovodu rade istovremeno.

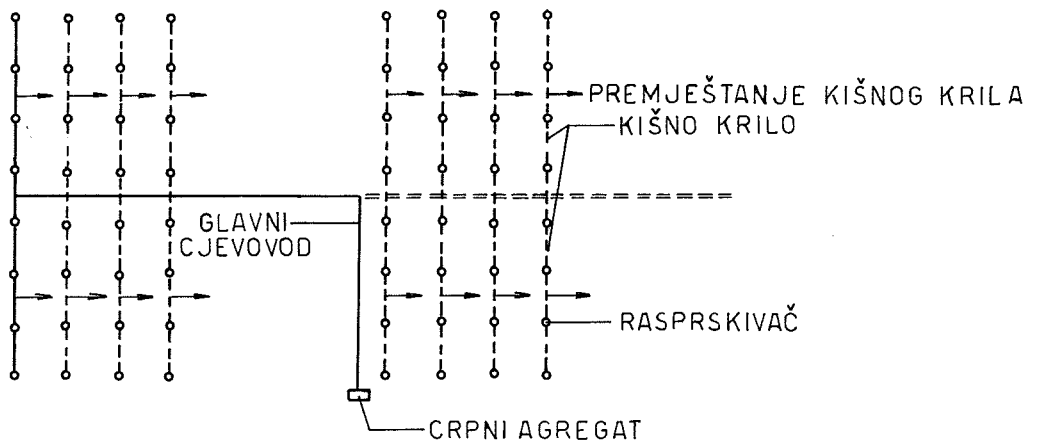
Kod oba rasporeda, pri premještanju kišnih krila u nove radne položaje, crpka mora prestati raditi. Ako se želi da se kišenje neprestano (kontinuirano) obavlja, može se uređaj postaviti u obliku dvostrukoga cjevovoda (sl. 54-14). Tada kišna krila rade naizmjenično, a crpka neprekidno. Međutim, potreban je dvostruki glavni cjevovod, tj. više cijevi, pa je sustav skuplji.



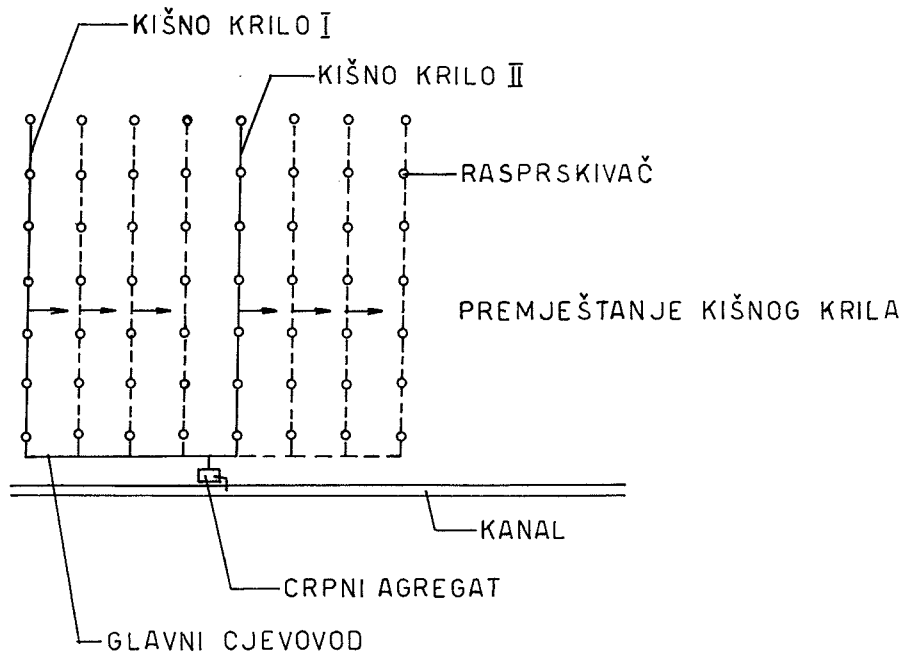
Sl. 54-14 Način postavljanja uređaja "L" s dvostrukim glavnim cjevovodom

Za široke je parcele prikladan raspored uređaja i kišnih krila u obliku slova "T", gdje se natapa cijela površina, a crpka se ne premješta (sl. 54-15). Osim navedenih načina, uređaje za kišenje moguće je rasporediti i u obliku slova "U". Cijela se parcela tada natapa, a da se crpka ne premješta niti zaustavlja u radu (sl. 54-16).

U praksi se natapanja često primjenjuju različite kombinacije rasporeda kišnih krila i opreme. To uglavnom zavisi od oblika i veličine parcele, raspoložive količine lakoprenosivih cijevi za kišna krila te maštovitosti i iskustvu tehnologa ili farmera koji obavlja natapanje.



Sl. 54-15 Način postavljanja uređaja "T"



Sl. 54-16 Način postavljanja uređaja "U"

## LITERATURA

1. Achtnich, W.: Beweserungslandbau, Ulmer, Stuttgart, 1980.
2. Czeratzki, W.: Methoden zur Bestimmung von Bodenkennwerten und Einsatzzeitpunkt für die Beregnung, Wasser und Boden 18 (1966.), H.4, str. 95-98
3. Constantinidis, C.: Bonifica ed Irrigazione, Edagricole, Bologna, 1970.
4. Kos, Z.: Hidrotehničke melioracije tla - navodnjavanje, Školska knjiga, Zagreb, 1987.
5. Obelić, V.: Osnovi projektiranja navodnjavanja kišenjem, Zavod za mehanizaciju poljoprivrede u Zagrebu, 1960.
6. Marasović, A.: Osnovi navodnjavanja kišenjem, Progres, Novi Sad, 1962.
7. Mađar, S.: Odvodnja i navodnjavanje u poljoprivredi, Zadrugar, Sarajevo, 1986.
8. Sourell, H., Schon, H., Bramm, A.: Entwicklung und Einsatz eines Wasser und Energisparenden Beregnungsverfahrens für aride und humide Klimazonen, Beregnung Ldw. 67, 1989., str. 488-508
9. Sourell, H., Thormann, H.: Verfahren der Feldberegnung - Rationalisierung, Kuratorium für Landwirtschaft (RKL), str. 315-344, Kiel, 1992.
10. Tomić, F.: Navodnjavanje, Savez poljoprivrednih inženjera i tehničara Hrvatske i Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb, 1988.
11. Vučić, N.: Navodnjavanje poljoprivrednih kultura, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 1976.



## 6. LOKALIZIRANO NATAPANJE

**DRAGUTIN GERESŠ, dipl.inž.grad.**

Javno vodoprivredno poduzeće

"Hrvatska vodoprivreda", Zagreb

### 6.1. OSNOVNE ZNAČAJKE SUSTAVA

#### 6.1.1. Uvod i razvoj lokalizirana natapanja

Metoda lokalizirana natapanja, čiji su sinonimi mikronatapanje i kapanje, pripada najnovijim načinima natapanja. Lokalizirano natapanje predstavlja jedno od posljednjih inovacija u primjeni vode i nedvojbeno napredak u tehnologiji natapanja. Može se definirati kao precizna, polagana aplikacija vode u obliku pojedinačnih kapljica, kontinuiranih kapljica, malenih struja ili minijaturnih mlazeva kroz mehaničke naprave koje se zovu emiteri. Ti emiteri ili ispusti lociraju se na izabranim točkama uzduž laterala koje dovode vodu. Tim se načinom natapanja vrlo lako mogu biljkama dodavati hraniva i zaštitna sredstva. Ima raznih tipova emitera ili ispusta: za upotrebu na površini tla, podzemni ispusti, rasprskivači, mehanički pokretni i pulsirajući sustavi.

Prvi eksperimenti lokalizirana natapanja zabilježeni su u Njemačkoj 1860. godine. Upotrijebljene su glinene drenažne cijevi, kombinirano za odvodnju i natapanje. U Sjedinjenim Američkim Državama House je 1913. godine pokušao natapati s perforiranim podzemnim cijevima. House je najavio da je taj način natapanja preskup. U Velikoj Britaniji u 1940-tim godinama zabilježen je pokušaj natapanja biljaka u staklenicima putem uskih otvora u cijevima (Davis, 1974., citirano po Hillel, 1982.).

Lokalizirano natapanje, kao i ostali načini natapanja, nije primjenjivo za sve kulturne biljke, specifične lokacije ili ciljeve. Danas taj način natapanja ima najveći potencijal tamo gdje je voda skupa ili je nema dovoljno, u pjeskovitu tlu ili tlu koje se teško ravna te za proizvodnju visoko-vrijednih kultura. Temeljne kulture za taj način natapanja jesu citrusi, avokado, koštunjavo voće, vinova loza, jagode, šećerna trska, rajčica. Taj način natapanja ima veliki značaj u staklenicima/plasticima za proizvodnju povrća i cvijeća. Lokalizirano natapanje primjenjuje se u parkovima, u održavanju autocesta itd.

Današnja tehnologija lokalizirana natapanja potječe od rada Blassa (1964.). Blass je razvio prvi patentirani sustav natapanja kapanjem. Iz Izraela se koncept natapanja kapanjem proširio u Australiju, Sjevernu Ameriku i Južnu Afriku, a kasnije u cijeli

svijet. Veći razvoj i primjenu doživio je taj način pojavom jeftinih plastičnih cijevi za raspodjelu vode. U SAD se nalaze najveće površine pod tim sustavima: 1972. godine bilo je oko 4.000 ha, 1981. godine oko 185.000 ha, a 1991. godine oko 606.000 ha. Iako lokalizirano natapanje u SAD čini oko 3% ukupno natapanih površina, ono je od velike ekonomske važnosti. U posljednjih desetak godina površine pod tim sustavima u svijetu iznose: 1981. godine oko 413.000 ha, 1986. godine oko 1.083.000 ha i 1991. godine oko 1.770.000 ha (Bucks, 1993.). Povećanje površina natapanih tim načinom iznosi 63% u prošlih 5 godina i 329% u prošlih 10 godina. Iako površine pod lokaliziranim natapanjem stalno rastu, to natapanje predstavlja 0,8% od ukupno natapanih površina u svijetu (oko 225 milijuna ha).

### 6.1.2. Prednosti lokalizirana natapanja

Svaki način natapanja ima moguće ili potencijalne prednosti i ograničenja glede tehničkih, ekonomskih i proizvodnih faktora. Postoje mnogi radovi i izvješća o prednostima tog načina natapanja u odnosu na druge načine natapanja. Neke od važnih prednosti tog načina natapanja jesu:

#### *a) Povećana korisna upotreba raspoložive vode (ušteda vode)*

Potrebna je količina vode za natapanje tim načinom manja nego kod ostalih načina natapanja. Ušteda u vodi ovisi o usjevu, karakteristikama okoliša i o postignutoj učinkovitosti natapanja na polju. Primarni razlog uštede vode uključuje natapanje manjeg dijela volumena tla, smanjenje evaporacije s površine tla te reducirano otjecanje s polja poslije natapanja i kontrolirano duboko poniranje vode ispod zone korijena u tlu.

Izravna evaporacija s površine tla i utrošak vode za razvoj korova mogu se smanjiti tako što se ne moći ukupna površina tla između redova biljaka, posebno kad su biljke mlade ili kod usjeva u redovima. Lokalizirano natapanje sprečava otjecanje vode s polja, čak i pri konturnom natapanju na obroncima, zatim kod natapanja tala male propusnosti ili tala na kojima se razvija pokorica. Taj način natapanja sprečava razvoj pokorice ili destrukciju strukture tla na površini kada se infiltracija vode u tlo kontrolira sustavom emitera za malo doziranje vode. Gubici su vode na poniranje kontrolirani, posebno u pjeskovitim tlima.

Doziranje je vode potpuno kontrolirano, nema gubitaka zbog vjetra, nema povećanog isparavanja, raspodjela vode nije ovisna o neravnomjernoj površini tla.

#### *b) Povećani rast i priroda biljaka*

Vlažnost je tla u zoni korijena biljke skoro konstantna, jer se natapna voda dodaje polako i često u unaprijed određenim obrocima. Općenito, ukupni potencijal vode u tlu povećava se (vrijednost se kapilarne napetosti u tlu smanjuje) s eliminacijom veće fluktuacije vlažnosti tla.

Howell et al. (1983.) prikazao je sažeto veliki broj istraživanja priroda usjeva, natapanih tim načinom. Prirodi su u svim slučajevima bili veći uz manju količinu natapne vode. Lokalizirano natapanje omogućuje bolji rast bilja i veće prirode, jer može



učestalo dati količine natapne vode. Optimalizacija režima vlažnosti tla za maksimalnu proizvodnju ovisi o ispravnoj normi i turnusu natapanja te o mjestu ispuštanja vode u tlo.

*c) Smanjena opasnost od saliniteta vode*

Tim načinom natapanja može se upotrebljavati voda većeg saliniteta nego kod ostalih načina, a da ne dođe do većeg smanjenja priroda.

Smanjena opasnost od saliniteta pripisuje se razrjeđenju koncentracije soli kao posljedica učestalog natapanja da bi se održao veliki sadržaj vlažnosti tla u zoni korijena, zatim kretanju soli pored aktivne zone korijena biljke.

*d) Kontrolirano doziranje hraniva i zaštitnih sredstava*

Lokalizirano natapanje omogućuje značajnu fleksibilnost u pogledu fertilizacije. Učestalo ili kontinuirano doziranje hraniva zajedno s natapnom vodom djeluje povoljno na biljnu proizvodnju. Razlozi su tome: smanjena količina hraniva, jer se ono dodaje samo u zonu korijena biljke, a učestala aplikacija omogućuje pravilno doziranje za razne faze razvoja biljke te raspodjela hraniva bez gubitaka, s minimalnim ispiranjem pored zone korijena. Uz hraniva mogu se dodavati i herbicidi, insekticidi, fungicidi itd. za povećanje priroda.

*e) Ograničen rast korova*

Rast se korova znatno smanjuje primjenom lokalizirana natapanja. Filtracija vode pri ovom načinu natapanja uklanja sjeme korova, pa se dopremom vode ne prenosi to sjeme na polje, kao što je slučaj kod ostalih načina natapanja. Nadalje, površine na kojima izravno ne raste uzgajano bilje ne dobivaju vodu, što onemogućuje korovu da se tu razvija.

*f) Smanjena radna snaga*

Sustavi lokalizirana natapanja mogu se lako automatizirati, ako je radna snaga ograničena ili je skupa. Jednostavna oprema za automatizaciju sastoji se od električnog ili mehaničkog sata, koji uključuje crpke i zatvarače u određeno vrijeme. Naravno, postoje i sofisticirani sustavi upravljanja, koji uključuju vlagomjere, daljinske kontrolore i mikroračunala.

Uz tu uštedu u radnoj snazi postiže se i veća učinkovitost zbog toga što je moguće obavljati ostale aktivnosti na polju nakon što je dodana voda. Troškovi radne snage mogu se smanjiti istovremenom primjenom sustava za dodavanje vode, hraniva i zaštitnih sredstava.

*g) Smanjene potrebe za energijom*

Lokalizirano natapanje štedi energiju jer je radni tlak vode znatno niži u odnosu na ostale sustave. Stvarna ušteda energije dolazi od reducirane količine natapne vode.

### 6.1.3. Nedostaci lokalizirana natapanja

Uz navedene prednosti u primjeni tog načina natapanja sreću se i nedostaci u tehnici dopreme vode s opremom za lokalizirano natapanje za neke vrste tala, kakvoću vode i obilježja okoliša. Najvažniji nedostaci tog načina natapanja, u usporedbi s ostalim načinima natapanja, uključuju začepljenje ispusta, štete od glodavaca, skupljanje soli blizu biljaka, neadekvatno kretanje vlage u tlu i razvoj korijena te ekonomsko-tehnička ograničenja.

#### *a) Potreba za trajnim održavanjem sustava*

Začepljenje je ispusta najozbiljniji problem tog načina natapanja. Začepljenje utječe na istjecanje vode i ravnomjernost raspodjele vode te povećava troškove održavanja. Pojavljuju se štete na kulturama i smanjeni prinos ako se začepljeni ispusti ne otkriju i uklone. Istraživači i proizvođači opreme razvili su dva načina za rješavanje problema začepljenja ispusta. Prvi je način razvoj ispusta kojima je potrebno manje održavanje. Drugi je način poboljšanje kakvoće vode prije nego ona dođe do ispusta. Svi se slažu da je preventivno djelovanje najbolje rješenje za začepljenje ispusta. To uključuje filtraciju vode, kemijsku obradu, ispiranje dovodnih cijevi (laterala) i inspekciju na polju.

Ostali problemi održavanja, manje težine od začepljenja ispusta, uključuju štete na dovodima koje mogu načiniti glodavci i ostale životinje.

#### *b) Skupljanje soli blizu biljaka*

Pri upotrebi natapne vode s većim salinitetom sol se akumulira u tlu, i to na površini tla kao i na rubnom dijelu ovlaženog dijela tla. U takvim se slučajevima sol ispire iz tla prije iduće sjetve.

#### *c) Ograničeno vlaženje tla i razvoj sustava korijena biljke*

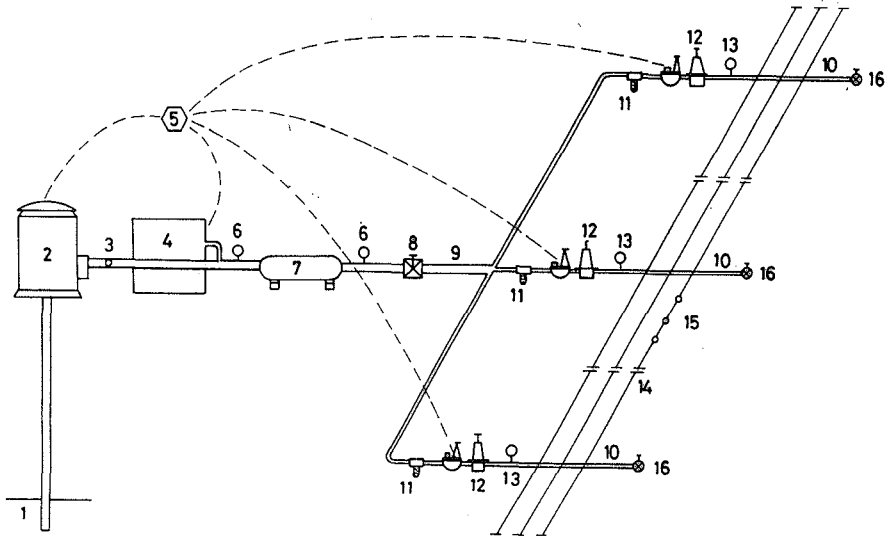
Manji volumen omočena dijela tla kod lokalizirana natapanja u odnosu na ostale načine natapanja, može biti prednost, ali i nedostatak. Ograničenje raspoložive vode planirano radi učinkovite upotrebe vode, može izazvati pojačani rast biljke, smanjiti opasnost zasljanjivanja i poboljšati upotrebu kemijskih dodataka vodi. S druge strane, određeni je minimum omočena volumena tla potreban (i nužan) za rast biljke. Na raspodjelu vode u tlu i razvoj korijenova sustava biljke djeluje više faktora, kao tekstura tla, njegova propusnost, heterogenost, zatim značajke biljaka, pogon natapanja, elementi sustava za natapanje - broj ispusta po stablu, mjesto ispusta i količina ispuštene vode po kapalici.

#### *d) Ekonomsko-tehnička ograničenja*

Početni su investicijski i godišnji troškovi pogona tog načina natapanja relativno visoki. Procjenjeni su investicijski troškovi općenito jednakog reda veličine kao i za natapanje kišenjem. Stvarni troškovi značajno variraju, ovisno o biljci, cijevima, opremi za filtriranje, opremi za fertilizaciju i stupnju automatizacije. Taj način natapanja zahtijeva viši nivo planiranja i projektiranja, pogona i održavanja sustava u odnosu na druge načine.

## 6.1.4. Osnovni elementi sustava

Temeljni su elementi sustava lokalizirana natapanja crpke, filteri, glavni dovodi vode, razvodna mreža, ispusti ili emiteri i ostala oprema za kontrolu i monitoring.



- 1 - izvorište vode; 2 - crpka; 3 - povratni zatvarač; 4 - injektor za kemikalije;  
 5 - automatska kontrola; 6 - tlakomjer; 7 - primarni filter; 8 - vodomjer;  
 9 - glavni dovod vode; 10 - razvodna mreža; 11 - sekundarni filter; 12 - regulator tlaka;  
 13 - tlakomjer; 14 - lateralni cjevovod ili krilo; 15 - ispusti ili emiteri; 16 - ispusni zatvarač

Sl. 61-1 Osnovni elementi sustava lokalizirana natapanja

a) Hidraulika ispusta

U posljednjem desetljeću razvijeno je i proizvedeno puno različitih vrsta ispusta - emitera. Ispusti se mogu klasificirati u dva tipa: za točkastu i za linijsku raspodjelu vode. Točkasti tip ispusta raspodjeljuje vodu iz individualna ili višestruka otvora. Otvori su udaljeni jedan od drugoga najmanje 1 m. Linijski tip ispusta ima perforacije, otvore ili porozne stijenke u cijevima za natapanje. Razmaci su između otvora mali ili čak otvori slijede kontinuirano uzduž laterala (Keller and Karmeli, 1975.).

Točkasti tip ispusta primjenjuje se za natapanje voćnjaka, vinograda i parkova. Linijski tip ispusta upotrebljava se za natapanje malog voća, povrća i ostalih usjeva koji se uzgajaju u redovima. Bolji materijali i mogućnosti proizvodnje unaprijedili su kvalitet i broj točkastih ispusta. Mješoviti tip ispusta, kao što su mini prskači, "bubblers"-i itd., u sebi uključuje značajke točkastog ispusta i malih rasprskivača.

Hidraulički se režim protoka većine ispusta može karakterizirati Reynoldsovim brojem:

$$R_e = v \cdot d / \nu \quad (1)$$

gdje je:

- $R_e$  - Reynoldsov broj
- $v$  - brzina tečenja u ispustu (m/s)
- $d$  - promjer ispusta (m)
- $\nu$  - kinematski viskozitet ( $m^2/s$ )

Laminaran režim tečenja karakteriziran je s  $R_e < 2000$ , nejednolik režim ima Reynoldsov broj između 1000 i 4000, djelomično turbulentan režim  $4000 \leq R_e \leq 10000$  i potpuni turbulentan režim ima  $R_e \geq 10000$ .

Istjecanje je iz ispusta kroz mali otvor. Režim je tečenja obično turbulentan. Protok ispusta izražava se:

$$q = 3,6 \cdot A \cdot C_o (2 \cdot g \cdot H)^{1/2} \quad (2)$$

gdje je:

- $q$  - protok ispusta (l/sat)
- $A$  - površina otvora ispusta ( $mm^2$ )
- $C_o$  - koeficijent ispusta, obično oko 0,6
- $H$  - tlak vode na mjestu ispusta (m)
- $g$  - ubrzanje gravitacije ( $9,81 m/s^2$ )

Istjecanje iz ispusta s dugom stazom računa se prema izrazu (temelj je izraza jednadžba Darcy-Weisbacha):

$$q = 113,8 \cdot A \cdot (2 \cdot g \cdot H \cdot D / f \cdot L)^{1/2} \quad (3)$$

gdje je:

- $q$  - protok ispusta (l/sat)
- $D$  - unutrašnji promjer cjevčice (mm)
- $L$  - dužina cjevčice (m)
- $f$  - faktor trenja

Kako je istjecanje iz ispusta obično u uvjetima turbulentna režima, to promjene u viskozitetu fluida, izazvane promjenama temperature, ne utječu bitno na veličine protoka izračunate po izrazima (2) i (3).

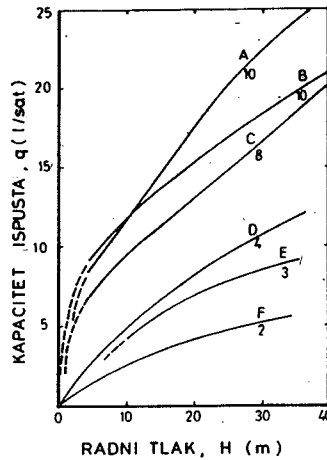
Keller i Karmeli (1975.) predložili su funkciju protoka ispusta:

$$q = c \cdot H^e \quad (4)$$

gdje je:

- $q$  - kapacitet ispusta (protok) (l/sat)
- $c$  - koeficijent protoka ispusta
- $H$  - tlak vode na mjestu ispusta (m)
- $e$  - eksponent protoka karakterizira režim tečenja; za potpuno turbulentan režim  $e = 0,5$ , za laminaran režim  $e = 1,0$ .

Proizvođači prikazuju za ispuste standardne krivulje protoka za različite tlakove (obično u laboratorijskim uvjetima).



Tipovi ispusta: A, C, D i F - s dugom stazom; B - točkasti ispust;  
C - višestruki ispust; uz krivulju je označen ispitni  $q$  uz  $H = 10$  m

### Sl. 61-2 Prosječni kapaciteti ispusta - emitera za različite radne tlakove

#### b) Hidraulika cjevovoda

Tečenje je vode u cjevovodima lokalizirana natapanja jednoliko, s različitim protocima u prostoru i s izlazima - lateralama. Ukupni protok linije, laterala i glavnog dovoda smanjuje se u odnosu na dužinu cijevi. Za lateralan cjevovod može se pretpostaviti da postoje podjednake hidrauličke značajke po cijeloj dužini i projektiraju se tako da se održavaju male varijacije tlaka uzduž linije. Glavni dovod projektira se na temelju ulaznog tlaka vode, zahtijevanoga radnog tlaka i pada linije energije. Ukupan tlak, tako određen, mora zadovoljiti zahtjeve na svakom mjestu sustava natapanja.

Za proračun gubitaka tlaka u cjevovodima od glatke plastike primjenjuje se izraz Darcy-Weisbacha:

$$h_f = 6,377 \cdot f \cdot L \cdot D^5 \cdot Q^2 \quad (5)$$

gdje je:

- $h_f$  - gubitak tlaka (m)
- $L$  - dužina cjevovoda (m)
- $D$  - promjer (mm)
- $Q$  - protok (l/sat)
- $f$  - koeficijent otpora

(u izraz (5) uključeno je ubrzanje gravitacije,  $9,81 \text{ m/s}^2$ )

Za glatke se cijevi koeficijent otpora definira jednadžbom Blasiusa:  
- za turbulentan režim:

$$f = 0,316 \cdot R_e^{-0,25} \text{ za } (4000 \leq R_e \leq 100000) \quad (6)$$

- za laminaran režim:

$$f = 64/R_e \text{ za } (R_e \leq 2000) \quad (7)$$

- za prijelazni režim koeficijent otpora određuje se aproksimativno prema:

$$f = 3,42 \cdot 10^{-5} \cdot R_e^{0,85} \text{ za } (2000 \leq R_e \leq 4000) \quad (8)$$

Empirijski izraz Hazen-Williamsa za izračunavanje gubitka tlaka glasi:

$$h_f = 0,628 \cdot L \cdot D^{-4,865} (100 \cdot Q / C)^{1,852} \quad (9)$$

gdje je:

$C$  - koeficijent otpora

Izraz Hazen-Williamsa nema korekcije za viskoznost, ali se dosta upotrebljava zbog jednostavnosti.

### *c) Sustav kontrole lokalizirana natapanja*

Glavni kontrolni uređaj lokalizirana natapanja sadrži crpke, povratni ventil, primarni filter, regulator tlaka, mjerač tlaka, vodomjer, zatim mogu biti još i oprema za automatski rad i injektor za dodavanje kemikalija. Posebno je važno da bude ugrađen vodomjer, što se ponekad propušta uraditi. Vodomjer je nužan za provjeru projekta, upravljanje pogonom i za opažanje mogućih problema održavanja sustava. Česta mjerenja protoka za pojedine dijelove mreže cjevovoda ukazuju na probleme u sustavu prije nego oni postanu ozbiljni.

Sustav je lokalizirana natapanja redovno automatiziran. Jednostavni ili kompleksniji kontrolni dijelovi i odgovarajući solenoidni ventili ugrađuju se jednostavno i time se eliminira ručno upravljanje vodom. Oprema za ispiranje filterskog dijela i za ispiranje laterala može se također automatizirati. Također se mogu automatizirati vlagomjeri kao i ostala potrebna oprema za mjerenje isparavanja. Razvijeni su i mikroprocesori za automatsku kontrolu lokalizirana natapanja.

## 6.2. TEORIJSKE OSNOVE PRORAČUNA

### 6.2.1. Osnove

Temeljni je princip modeliranja vlažnosti tla za lokalizirano natapanje jednak kao i za ostale načine natapanja. Razlika je pretežito u geometriji izvora vode - ispusta i učestalosti natapanja. Tijek vode događa se samo u vertikalnom smjeru, sa zanemarivim horizontalnim gradijentom vlažnosti. S druge strane, samo se mali dio ukupnog profila tla vlaži pri dodjeli vode. Učestalost je natapanja tim načinom dovoljno velika da je od manje važnosti kapacitet tla za vodom nego kod ostalih načina natapanja.

Voda se u tlu giba pod djelovanjem ukupnog potencijala vode u tlu  $\Psi_u$ , odnosno:

$$\Psi_u = h - z + \Psi_\pi \quad (10)$$

gdje je:

- $\Psi_u$  - ukupni potencijal vode u tlu (cm)
- $h$  - hidraulička ukupna visina (cm)
- $z$  - dubina tla (cm)
- $\Psi_\pi$  - osmotski potencijal (cm)

Svaki dio izraza (10) predstavlja energiju po jedinici težine. Ostali su faktori potencijala općenito minorni. Tlačna ili pijezometarska visina  $h$  bit će za većinu slučajeva negativna, što je slučaj u nesaturiranoj zoni tla, gdje se pojavljuje usisni tlak. U saturiranoj zoni pojavljuje se mali pozitivan tlak. Saturirana zona pojavljuje se blizu ispusta ili kod plitke podzemne vode. Vrijednost  $h$  u nesaturiranom tlu jest usisni tlak ili podtlak, koji se također naziva i matrični ili kapilarni potencijal, a jednak je razlici ukupna tlaka i gravitacijske (geodetske) visine.

Strujanje vode definira se Darcyevim zakonom:

$$\vec{V} = -K(h) \text{grad } \psi_u \quad (11)$$

gdje je:

- $\vec{V}$  - brzina (cm/sat)
- $K(h)$  - koeficijent propusnosti (Darcy) (cm/sat)
- $\text{grad } \psi_u = \nabla \psi_u$  - gradijent vektorskog polja ukupnog potencijala

Pretpostavit će se da je  $K$  skalarna veličina, što je adaptacija Darcyeva zakona za saturirane uvjete, za slučaj nesaturiranih uvjeta. Kombinirajući Darcyev zakon i jednadžbe održanja mase, dobije se izraz Richardsa:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = \nabla \left[ K(h) \cdot \nabla \Psi_u \right] - S \quad (12)$$

gdje je:

- $S$  - upotreba vode pomoću korijenova sustava biljke

Ako se zanemari osmotski potencijal (mala veličina), zamjenom izraza (10) dobije se:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = \nabla \left[ K(h) \cdot \nabla h \right] - \frac{\partial K}{\partial z} - S \quad (13)$$

Alternativno, izraz (13) može se prikazati tako da temeljna varijabla bude  $h$ . Za eliminaciju  $\Theta$  definira se  $C(h)$ :

$$C(h) = \frac{d\Theta}{dh} \quad (14)$$

gdje je:

$C(h)$  - kapilarni kapacitet ili specifični kapacitet

Slijedi da je:

$$C(h) \frac{\partial h}{\partial t} = \nabla [K(h) \cdot \nabla h] - \frac{\partial K}{\partial z} - S \quad (15)$$

Izraz (13) može se prikazati i tako da se uvede novi parametar  $D_s$ , difuznost vode, koji je određen:

$$D_s = \frac{K(\Theta)}{C(\Theta)} \quad (16)$$

$K$  i  $C$  su funkcije  $\Theta$ , volumenskog sadržaja vode:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = \nabla [D_s(\Theta) \cdot \nabla(\Theta)] - \frac{\partial K}{\partial z} - S \quad (17)$$

Može se koristiti izraz Kirchhoffa, kojim se definira fluks matričnog potencijala  $\phi$  ( $\text{cm}^2/\text{sat}$ ):

$$\phi = \int_{-\infty}^h K(h') \cdot dh' \quad (18)$$

Jednadžbe (13) i (18), nakon obrade postaju:

$$\frac{d\Theta}{d\phi} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t} = \nabla^2 \phi - \frac{\partial K}{\partial z} - S \quad (19)$$

Poseban slučaj nastaje kada je:

$$K = K_0 \exp(\alpha \cdot h) \quad (20)$$

za koji je  $\phi = K/\alpha$ , a izraz (19) postaje linearan kod jednolikog strujanja.

Matematičko modeliranje režima strujanja vode za lokalizirano navodnjavanje reducira se na rješenje izraza (13) ili ekvivalentnih izraza. Rješenje je ovisno o ispravnim ulazima i geometrijskim faktorima. Rješenje se postiže teško, zbog nelinearnosti.

Dvodimenzionalna i trodimenzionalna geometrija lokalizirana natapanja puno je kompleksnija u odnosu na tipične slučajeve jednodimenzionalnih slučajeva za ostale



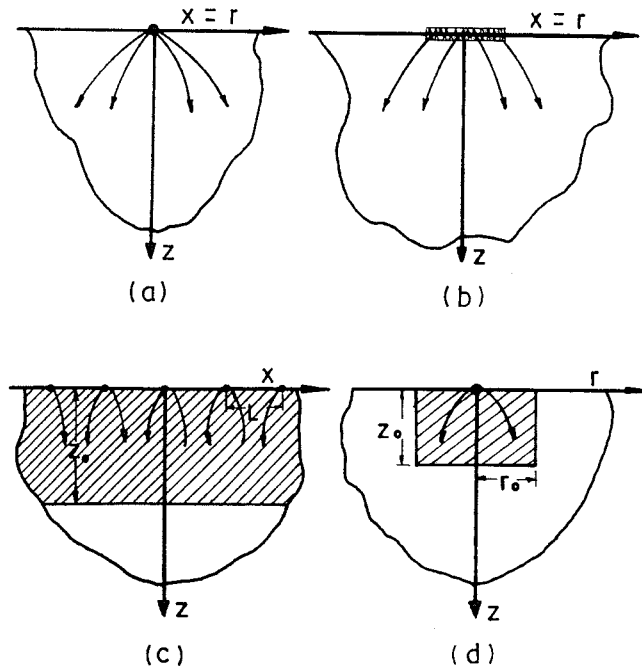
režime strujanja vode. Za rješenje izraza (13) moraju postojati podaci o hidrauličkim svojstvima tla, rubnim uvjetima, početnim uvjetima i količini upijanja vode korijenovim sustavom biljke. Praktično, ulazni su podaci često nedovoljni ili ih je teško dobiti. Kvaliteta ulaznih podataka očito ima utjecaj na realnost izlaznih podataka.

Poglavlje 6.2.1. većim je dijelom temeljeno na radovima Gereš (1990.) i Gereš (1993.).

### 6.2.2. Geometrija strujanja vode u tlu

Nekoliko tipičnih oblika geometrije strujanja vode u tlu pri lokaliziranu natapanju prikazuje slika 62-1. Voda se giba prema dolje, vertikalno i horizontalno, od izvora vode - ispusta (slučaj a). U dvodimenzionalnom slučaju, linija je opskrbe okomita na ravninu  $x, z$ . Strujanje je aksijalno simetrično za pojedinačne ispuste i jednako je u svim  $r, z$  ravninama. Kad se doda voda na površinu tla, ovlažit će se određena površina (slučaj b).

Veličina površine bit će veća za tla s manjim upijanjem i većom normom natapanja i manja za tla s velikim kapacitetom upijanja i manjom normom.



Sl. 62-1 Geometrija strujanja vode u tlu za četiri tipa ispusta

Slučajevi c i d na slici 62-1 prikazuju paralelan linijski ispust i pojedinačan ispust.

## 6.2.3. Rubni uvjeti

Za rješenje raspodjele vlažnosti u tlu pomoću izraza (13) potrebno je specificirati uvjete na površini tla kod ispusta i na većoj udaljenosti od ispusta. Postoje sljedeće mogućnosti određivanja rubnih uvjeta:

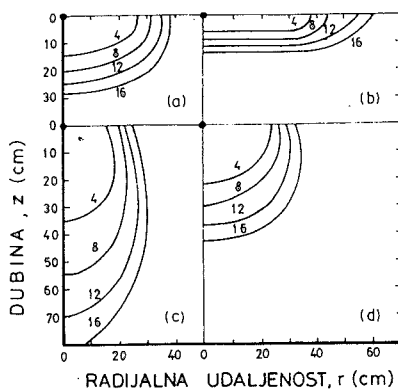
- a -  $\Psi_u$  ili  $h$  ili  $\Theta$
- b -  $V$
- c -  $V$  kao posebna funkcija  $\Psi_u$
- d - mješovito, a, b i c

Najoštrije je uvjet definiranje slučaja c, koji uključuje evaporaciju s tla u funkciji raspoložive vode i mikroklimata.

## 6.2.4. Primjeri rješenja

## a) Vlaženje tla točkastim tipom ispusta

Za način vlaženja tla linijskim ispustima (dvodimenzionalan slučaj) i točkastim ispustima (trodimenzionalan slučaj), koji odgovaraju geometriji vlaženja prikazanoj na slici 62-1b rješenje modela vlaženja tla prikazuje se na slici 62-2. Korištena su dva tipa tla: ilovasto i pjeskovito. Slika 62-2 pokazuje front vlaženja za obje vrste tla i za dvije veličine protoka ispusta - 4 i 20 l/sat. Brojevi na krivuljama pokazuju ukupnu normu natapanja - 4 do 16 litara/sat.



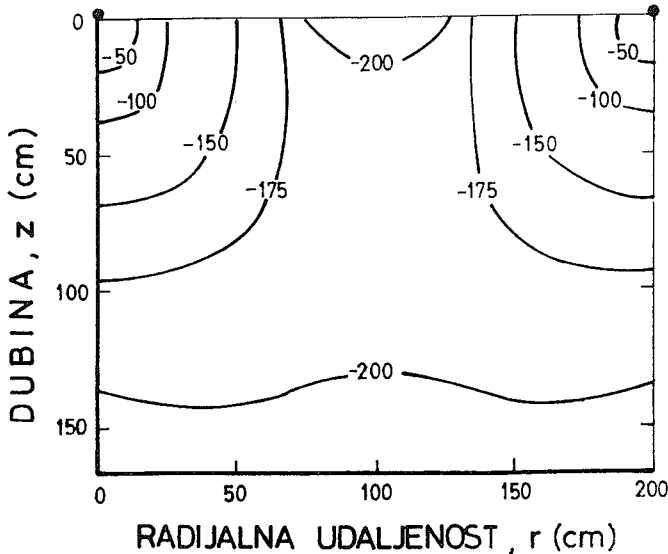
- a) - ilovasto tlo,  $q = 4$  l/sat;
- b) - ilovasto tlo,  $q = 20$  l/sat;
- c) - pjeskovito tlo,  $q = 4$  l/sat;
- d) - pjeskovito tlo,  $q = 20$  l/sat; (•) točkasti ispust

Sl. 62-2 Front vlaženja u funkciji vremena upijanja i kapaciteta ispusta

Vidi se da je pjeskovito tlo dublje ovlaženo, i to iz razloga što pjeskovito tlo lakše propušta vodu i ima manji kapacitet držanja vode. Kod ilovastog tla, veće je širenje vlage na površini. Veća norma natapanja rezultirala je manjim volumenom ovlažena tla iz razloga što su pore bile zasićene vodom (Bresler, 1978.).

*b) Vlaženje tla dvostrukim točkastim ispustom*

Izraz (19) linearan je za jednoliko strujanje. To omogućuje rješenje za višestruke ispuste. Slika 62-3 prikazuje dva ispusta: prvi je lociran na  $r = 0$  i  $z = 0$ , a drugi na  $r = 200$  cm,  $z = 0$ . Protok je 2 l/sat svakog ispusta.



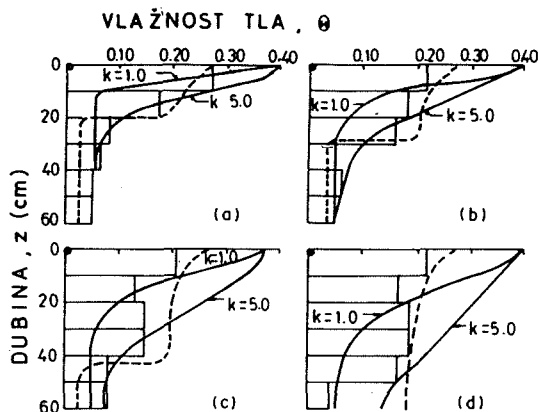
*Ilovasto tlo:  $q = 2$  l/sat*

*Sl. 62-3 Izo-linije kapilarnog potencijala u tlu vlaženom s dva točkasta ispusta*

Rezultati proračuna za hidrauličku visinu  $h$  pokazuju da je tlo najvlažnije uz ispuste. Najsuši je dio tla u donjem dijelu slike, u sredini između ispusta. Zapaža se i simetričnost crta jednaka tlaka. Voda je dodavana dovoljno dugo tako da se ovlaženi front nije mijenjao s vremenom. Voda se kretala od ispusta i višak odvodio cijevnom drenažom (Warrick et al., 1981.).

*c) Uspoređenje poljskih mjerenja i modelskih rezultata*

Poljska mjerenja vlažnosti bila su gravimetrijskom metodom za profile vlažnosti na  $r = 2$  cm za vrijeme infiltracije iz točkastog ispusta. Protok je iznosio 0,4 l/sat, a tlo je pjeskovito. Rezultati su predstavljeni na slici 62-4.



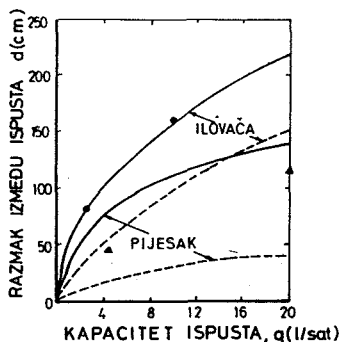
(□) poljsko mjerenje; (---) metoda konačnih razlika;  
 (—) linearno rješenje; (●) točkasti ispušt;  $q = 0,4 \text{ l/sat}$

Sl. 62-4 Uspoređenje rezultata vlažnosti tla dobivenih poljskim mjerenjem i modelskih rezultata

Histogrami su predstavljeni za vremena  $t = 0,5, 1, 2$  i  $5$  sati (a-d). Vlažnost na površini tla brzo dostiže maksimalnu vrijednost i ne mijenja se u vremenu  $t = 1$  do  $5$  sati (Ben-Asher et al., 1975., citirano po Hillel, 1982.).

d) Procjena protoka i razmaka za točkaste ispuste

Bresler (1978.) je priredio grafikoni koji pokazuje odnos protoka i razmaka točkastog ispusta za ilovasto i pjeskovito tlo. To omogućuje izbor odnosa razmaka i protoka ispusta da bi se održao specifičan tlak na površini tla na polovini razmaka dva ispusta. Rješenje je dobijeno izrazom (19) - linearizirani oblik, za geometriju vlaženja prikazanu na slici 62-1b.



tlak u sredini između ispusta (—)  
 $h = -70 \text{ cm}$  (●); (----)  $h = -10 \text{ cm}$  (▲)

Sl. 62-5 Odnos između razmaka ispusta ( $d$ ) i kapaciteta ispusta ( $q$ )

Vrijednosti koeficijenta propusnosti bili su (izraz 20):

- za ilovasto tlo:  $K = 0,84 \exp(0,025 h) \text{ cm/sat}$
- za pjeskovito tlo:  $K = 8,52 \exp(0,062 h) \text{ cm/sat}$

*Popis simbola koji nisu posebno označeni u tekstu*

$\longrightarrow$	
$V$	- brzina filtracije (Darcy) i fluks vode ( $\text{LT}^{-1}$ )
$\Theta$	- volumenski sadržaj vode (bez dimenzije)
$K(h), K(\Theta)$	- koeficijent propusnosti ( $\text{LT}^{-1}$ )
$C(h), C(\Theta)$	- specifični ili kapilarni kapacitet ( $\text{L}^{-1}$ )
$D_s$	- difuznost vode u tlu ( $\text{LT}^{-1}$ )
$\phi$	- fluks kapilarnog potencijala ( $\text{LT}^{-1}$ )
$K_0$	- empirijska konstanta za propusnost u nesaturiranoj zoni tla ( $\text{LT}^{-1}$ )
$\alpha$	- empirijska konstanta koja definira propusnost u nesaturiranoj zoni tla ( $\text{L}^{-1}$ )

$\longrightarrow$   
 $\text{grad } x = \nabla x$  - gradijent skalarnog polja

$\longrightarrow \quad \longrightarrow$   
 $\text{div } x = \nabla x$  - divergencija vektorskog polja

$\nabla$  (nabla) - Hamiltonov diferencijalni operator

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z}$$

$\Delta (= \nabla^2)$  - Laplaceov operator

$$\nabla = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

## LITERATURA

1. Blass, S.: Sub-Surface Irrigation, Hassadeh 45, 1 (Izrael), 1964.
2. Bresler, E.: Analysis of Trickle Irrigation with Application to Design Problems. Irrig. Sci. 1, 3 - 17, 1978.
3. Davis, S.: History of Drip Irrigation, Agribusiness News, 10 (7), 1., 1974.
4. Gereš, D.: Hidrodinamički proces u tlu u hidrotehničkim melioracijama, Zbornik radova s X savjetovanja JDHI, str. 405-421, Sarajevo, 1990.
5. Gereš, D.: Hidrotehničke melioracije, dio III - Navodnjavanje, Građevinski kalendar 1992., SGITJ, Beograd, 1992.
6. Gereš, D.: Hidrološki pristup upravljanja vodnim režimom teških tala u cilju primjene kod hidrotehničkih melioracija, Disertacija u radu, Građevinski fakultet, Zagreb, 1993.
7. Gustafson, D.C.: Drip Irrigation: Where it was in '75., Irrig. J. 26 (3), 1976.
8. Hillel, D.: Advances in Irrigation, Vol. 1. (Ed.), Academic Press, New York, 1982.
9. Howell, T.A., Stevenson, D.S., Aljibury, F.K., Gitlin, H.M., Wu, I.P., Warrick, A.W. and Raats, P.A.C.: Design and Operation of Trickle (Drip) Systems, u : "Design and Operation of Farm Irrigation Systems" (M.E. Jensen, Ed.). Monogr. 3, ASCAE, Michigan, 1983.
10. Keller, J. and Karmeli, D.: Trickle Irrigation Design, Rain Bird Sprinkler Mfg. Corp. Glendora, 1975.
11. Warrick, A.W., Lomen, D.O., and Tonellato, P.J.: Soil Moisture Flow for Point and Line Sources-Computer Programs for Linearized Solution, Ariz. Agric. Eng. Soil. Sci Bull. 81-2, 1-78, 1981.
12. Bucks, D.A.: Micro Irrigation - Worldwide Usage Report, 15<sup>th</sup> Congress of the ICID - Workshop on Micro Irrigation, The Hague, 1993.

## 6. LOKALIZIRANO NATAPANJE

### **Prof.dr. FRANE TOMIĆ**

Agronomski fakultet  
Sveučilišta u Zagrebu

### **Prof.dr. STJEPAN MAĐAR**

Poljoprivredni fakultet  
Sveučilišta u Osijeku

### **Mr. DAVOR ROMIĆ**

Agronomski fakultet  
Sveučilišta u Zagrebu

### 6.3. TEHNIČKE ZNAČAJKE SUSTAVA

#### 6.3.1. *Općenito*

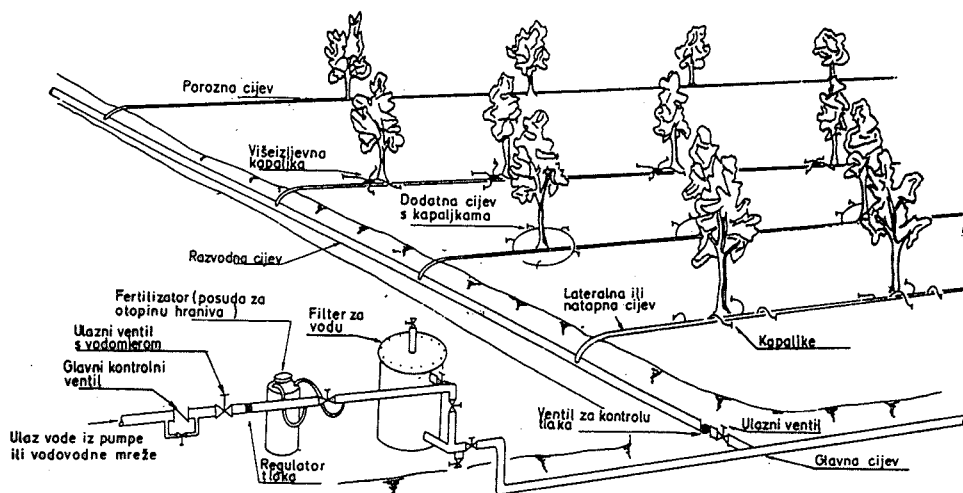
U lokalizirano natapanje spadaju načini i sustavi natapanja koji vlaže samo dio proizvodne površine (oko samih biljaka) ili dio volumena tla (zona korijena biljaka). Termin "lokalizirano natapanje" predložen je od FAO-a (Food and Agriculture Organization) Ujedinjenih naroda (xxx, 1984.), dok se ICID (International Commission on Irrigation and Drainage) koristi nazivom "micro irrigation" (Bucks, 1993.). Smatramo da je naziv "lokalizirano natapanje" više u skladu s praktičnom primjenom te metode, pa se zbog toga i mi njime koristimo u ovom radu.

Temeljna je značajka te metode sporije dodavanje manje količine vode (i rastopljenih hraniva) na prostor oko biljke ili u zonu korijena biljke, napravama za raspodjelu vode. Te se naprave razlikuju. U svezi s time postoje osnovna dva načina lokalizirana natapanja: kapanje i mini rasprskivači, koji će se posebno obraditi u ovom radu.

U uvjetima dobro uredenih površina s povoljnim tlima i upotrebom kvalitetne vode, lokalizirano natapanje nema značajne prednosti zbog ostvarivanja većih prinosa, već se u tim uvjetima sustavom kapanja lakše upravlja, manje troši radna snaga, energija i voda te se ostvaruje bolja kontrola pesticida, korova i upotreba gnojiva. Dakle, posebno se preporučuje primjena lokalizirana natapanja u prilikama gdje je cijena vode veća, na nagnutim i valovitim terenima, gdje je radna snaga skupa i kvaliteta vode diskutabilna.

## 6.3.2. Uređaji sustava lokalizirana natapanja

Uz izvor vode nalazi se pogonski dio, zatim glava sustava te glavni cjevovod, razvodne cijevi, lateralne cijevi i kapaljke (slika 63-1).



Sl. 63-1 Osnovni dijelovi natapanja kapanjem

Voda se može upotrebljavati iz različitih izvora kao i kod svakog drugog načina i sustava natapanja. Naime, izvor vode može biti vodotok (rijeka, potok, kanal), jezero, akumulacija (prirodne ili otpadne vode), podzemne vode (bunar). U svim tim slučajevima gotovo uvijek je potrebno instalirati pogonski dio (motor i crpku). Ako za izvor vode služi vodovod (prirodne ili otpadne vode) koji ima potreban tlak, tada motor i crpka nisu potrebni.

Pogonski se dio primjenjuje, dakle, kada je izvor vode (razina površinske ili podzemne vode) na jednakoj ili nižoj koti u odnosu na površinu koja se natapa. Pogonski dio upotrijebit će se i ako je izvor vode na višoj koti od natapane površine, ali visinska razlika nije dovoljna pa je nužna primjena motora i crpke. Pogonski dio crpi vodu iz izvora i tlači je potrebnim tlakom kroz glavu sustava i mrežu cijevi do kapaljki. Osnovni dijelovi pogonskog dijela jesu motor i crpka.

#### Motor

Mogu se upotrebljavati različite vrste motora za pogon sustava lokalizirana natapanja. Ipak se najčešće upotrebljavaju elektro, benzinski i dizel motori. Budući da je za lokalizirano natapanje dovoljan niži tlak (u odnosu na kišenje) i da se često radi o manjim proizvodnim površinama, obično se radi o motorima manje snage. Spominjemo da je u specifičnim uvjetima moguće za pogon primijeniti solarnu energiju, hidroenergiju ili energiju proizvedenu vjetrom.

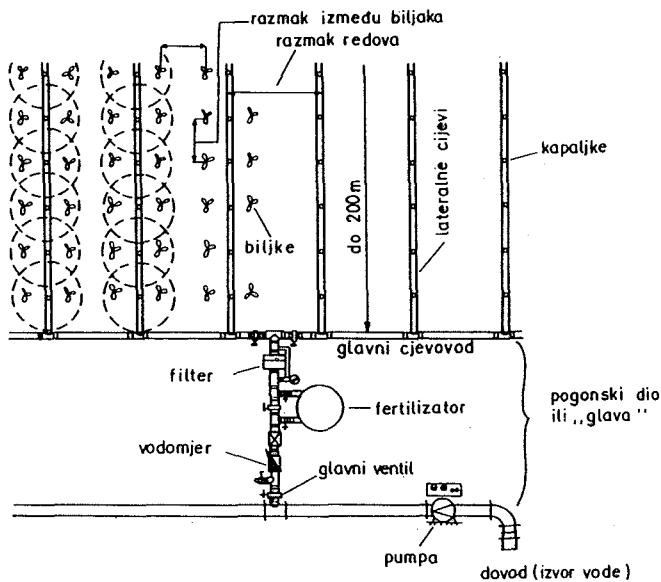
Međutim, ako je izvor vode iz vodovodne mreže koja je pod određenim tlakom, motor i pumpa nisu potrebni. Naprotiv, ako je voda u vodovodu pod većim tlakom nego što je potrebno za lokalizirano natapanje (često se pojavljuje takav slučaj), nužno je ispred glave sustava ugraditi reducir tlaka.



## Crpka

Najčešće se primjenjuje centrifugalna crpka. Glavni su dijelovi crpke: rotor, osovina, lopatice, usisni otvor, otvor za nalijevanje crpke. Pri okretanju osovine i lopatice dolazi i do okretanja vode, koja se nakon toga centrifugalnom silom izbacuje izvjesnom brzinom od središta rotora prema vanjskom rubu lopatica. Na taj način dolazi do tlačne energije kojom crpka podiže vodu do određene visine (visine dizanja).

Visina dizanja izražava se u metrima vodenog stupca ili u barima (1 bar = 10 m vodenog stupca), a označava se s  $H$ . Otvor za nalijevanje crpke potreban je jer centrifugalne crpke mogu raditi samo dok je crpka puna vode; zato se prije početka rada kroz njega napuni vodom. Brzina okretanja crpke ograničena je njezinom konstrukcijom, a o njoj ovisi i visina dizanja vode. Pomoću običnih ili crpki s jednim stupnjem, koje se uglavnom koriste za lokalizirano natapanje, visina dizanja iznosi 60 - 80 m. Te crpke imaju jedan rotor. Za ostvarivanje većih visina dizanja vode crpka mora imati dva ili više rotora montiranih na zajedničkoj osovini. Svaki rotor daje vodi dodatnu energiju, pa se na taj način može postići potreban tlak ili visina dizanja vode. U vezi s pumpom potrebno je poznavati: manometričku visinu dizanja  $H_m$ , efektivnu snagu crpke  $N_e$  i korisnost crpke  $\eta$ .



Sl. 63-2 Skica uređaja natapanja kapanjem

Manometrička visina dizanja predstavlja stvarni prirast energije vode u crpki. Ta energija služi za sisanje vode, za tlačenje vode te za svladavanje otpora trenja u sustavu. Manometrička visina dizanja crpke dobije se zbrajanjem svih tlakova i gubitaka pri natapanju (Tomić, 1988.).

Treba nastojati ostvariti što kraću usisnu cijev, odnosno što manju usisnu visinu, jer su centrifugalne crpke osjetljive prema nepovoljnim uvjetima prilikom zahvata (usisavanje) vode. Značajno je da visina sisanja ne bude veća od 4,5 m.

Efektivna snaga crpke  $N_e$  jest snaga koju crpka ima na svojoj osovini, a određuje se izrazom:

$$N_e = \frac{Q \cdot H_m}{102 \cdot \eta}$$

gdje je:

- $N_e$  - efektivna snaga crpke u kW
- $Q$  - količina vode koja prolazi kroz crpku u l/s
- $H_m$  - manometrička visina dizanja u m
- $\eta$  - koeficijent iskorištenja (korisnost crpke)

Korisnost crpke predstavlja odnos radne snage crpke i snage primljene od motora. Dobro konstruirane crpke imaju  $\eta = 0,7$ . To znači da pri crpljenju vode crpka korisno iskorištava 70% snage koju prima od motora, a 30% su gubici. Tijekom vremena smanjuje se korisnost crpke zbog trošenja. Crpka treba dostavljati određenu količinu vode do kapaljki pod potrebnim tlakom i treba imati što veći koeficijent iskorištenja ( $\eta$ ). Pri izboru kapaciteta crpke potrebno je voditi računa o površini koja se natapa, količini vode koju treba dodati natapanjem te o vremenu kroz koje će crpka obavljati rad. To se svakako odnosi na prilike u kojima postoje dovoljne količine vode za natapanje. Kapacitet crpke računa se pomoću izraza:

$$Q = \frac{N_e \cdot \eta \cdot 75}{H_m \cdot 0,735} = \frac{N_e \cdot \eta \cdot 102}{H_m}$$

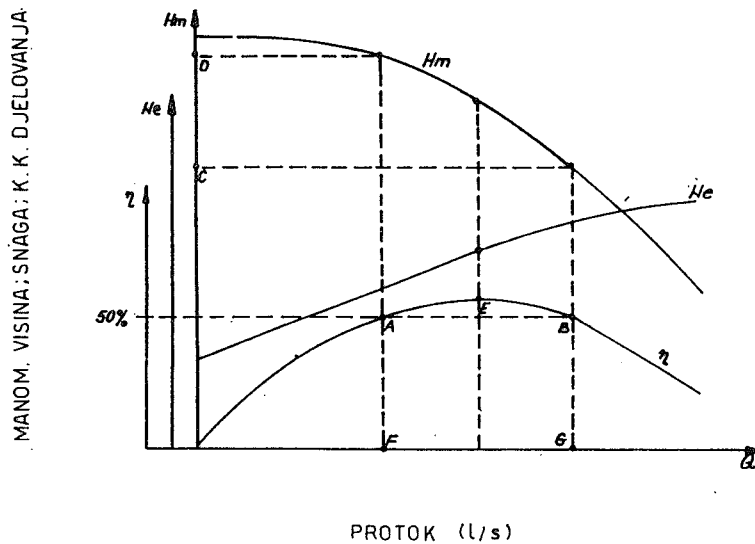
gdje je:

- $Q$  - kapacitet crpke u l/s
- $N_e$  - efektivna snaga crpke u kW
- $\eta$  - koeficijent iskorištenja (korisnost crpke)
- $H_m$  - manometrička visina dizanja u m

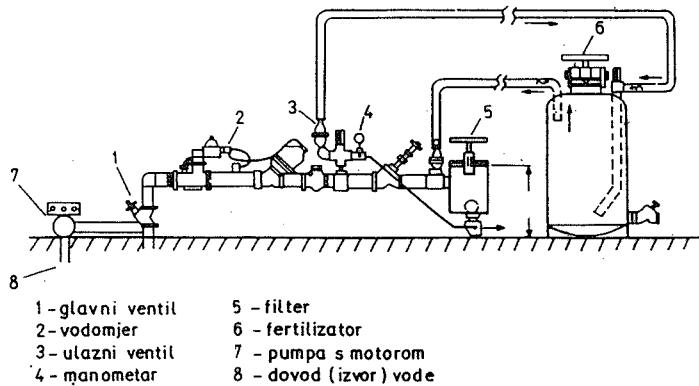
Na temelju kapaciteta i manometričke visine može se izabrati crpka, uzimajući njezine karakteristike (tlak, snagu, korisnost u ovisnosti o količini vode). Naime, pri izboru crpke treba odabrati onu koja kod traženih uvjeta  $Q$  i  $H_m$  radi uz najveću korisnost.

Za centrifugalnu crpku osnovne značajke mogu se uočiti na slici 63-3. Korisnost je rada crpke od 50% na liniji A-B. U tom se slučaju količina vode kreće u području F-G, a manometrička visina između C i D. Maksimalna je korisnost crpke u točki E, pa su za ekonomičan rad potrebni uvjeti koji su što bliži toj točki. Budući da su troškovi pogona crpke obrnuto proporcionalni njezinoj korisnosti (koeficijent iskorištenja), pogrešan izbor crpke može podvostručiti potrebnu snagu za pogon, odnosno znatno povećati troškove pogona. To su razlozi zbog kojih je potrebno pravilno izabrati crpku za natapanje.

Temeljna je uloga pogonskog dijela potiskivanje vode pod ujednačenim tlakom kroz glavu sustava i cjevovod do ispusta. Radni je tlak tog načina natapanja svega 0,8 - 2,5 bara.



Sl.63-3 Dijagram rada crpke



Sl. 63-4 Glava sustava

Glava se sustava spaja s izvorom vode (crpkom ili vodorednom mrežom). Osnovni dijelovi glave sustava jesu: kontrolni ili glavni ventil, ulazni ventil s vodomjerom, manometar, regulator tlaka, fertilizator (rezervoar za hraniva) i uređaj za filtriranje vode (filter) (sl. 63-4). Za reguliranje prolaska vode pod određenim tlakom, od pogonskog dijela do ispusta, služe ventili, vodomjer, manometar i regulator tlaka. Oni najčešće automatski reguliraju programirane količine vode u sustavu. To reguliranje vode obavlja se za svaku uzgajanu kulturu (podešavanje obroka natapanja).

Vodomjeri su danas uglavnom automatski. Inače ih ima različitih, s različitim kapacitetom. Često se izrađuju s antikorozijskim plastičnim kućištem, u kojemu se pojavljuje mali pad tlaka, a visoka je točnost mjerenja protoka. Posjeduju poseban regulacijski zatvoreni ventil. Kolebanje tlaka ne utječe na točnost mjerenja. Jednostavni su konstrukcija i rad te nije potrebna posebna stručnost za upravljanje. Može se upotrebljavati kao samostojna jedinica ili s ostalim hidrauličnim ventilima u automatskim sustavima natapanja.

## LITERATURA

1. Bucks, D.A.: Micro Irrigation worldwide usage report, 15<sup>th</sup> Congress on Irrigation and Drainage, Workshop on Micro Irrigation Worldwide, ICID, Hague, 1993.
2. Nakayama, F.S., Bucks, D.A.: Trickle Irrigation for Crop Production, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, U.S. Water Conservation Laboratory, Phoenix Arizona, USA, 1986.
3. Tomić, F.: Navodnjavanje, Savez poljoprivrednih inženjera i tehničara Hrvatske i Fakultet poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1988.
4. Tomić, F., Mađar, S. i Marušić, J.: Navodnjavanje i održiva poljoprivreda, Okrugli stol o suši, Zbornik radova, Hrvatsko hidrološko društvo i Hrvatsko društvo za odvodnju i navodnjavanje, Zagreb, 1993.
5. Tomić, F., Romić, D. i Gereš, D.: Suvremeni pristup u navodnjavanju, Okrugli stol o suši, Zbornik radova, Hrvatsko hidrološko društvo i Hrvatsko društvo za odvodnju i navodnjavanje, Zagreb, 1993.
6. xxx : Crop water requirements, FAO, Irrigation and Drainage Paper 24, Rome, 1975.
7. xxx : Localized irrigation, Design - installation - operation - evaluation, FAO, Irrigation and Drainage Paper 36, Rome, 1984.
8. xxx : Drip Irrigation Systems, Design Manual, A.W. Bill FRY, Rain Bird International, INC, Glendora, USA, 1989.
9. xxx : Natafim, Irrigation Equipment and Drip Systems, Kibbutz Hatzerim, Israel, 1992.

## 6. LOKALIZIRANO NATAPANJE

**Prof.dr. ZORKO KOS**

Građevinski fakultet  
Sveučilišta u Rijeci

### 6.4. ODREĐIVANJE POTREBE VODE KOD LOKALIZIRANA NATAPANJA

#### 6.4.1. Općenito

Početna je faza u ovom proračunu utvrđivanje potrebe vode za razmatrani usjev. To se može dobiti ili direktnim mjerenjem ili posredno - proračunom na temelju meteoroloških podataka. Prvi je postupak skup i dugotrajan, a drugi je brz i jeftin, i s obzirom na znatan opseg istraživanja relativno pouzdan. Zato se najčešće koriste Blaney-Cridleova metoda, metoda radijacije, Penmanova metoda i metoda isparitelja.

Općenito uzevši, potreba vode bilja odgovara stupnju evapotranspiracije neophodnom za razvoj bilja. Označuje se s  $ET_c$  i izražava u milimetrima po danu (mm/dan).

Točnost proračuna će u najvećoj mjeri ovisiti o raspoloživosti meteoroloških podataka i njihovoj pouzdanosti. Metode Penman i radijacije daju obično dobre rezultate za kratka razdoblja, od oko 10 dana. Ovisno o klimatskim prilikama, slijedi metoda isparitelja i Blaney-Cridleova - obično za radoblja od oko mjesec dana.

Ovdje se neće iznositi postupak proračuna, već se samo navode osnovni fazni koraci:

- proračun evapotranspiracije za referentni usjev ( $ET_o$ ), koja se definira kao "veličina  $ET$  na prostranoj površini travnog pokriva visine 8 do 15 cm, ravnomjerne visine, koja aktivno raste s dovoljno vode i potpuno zasjenjuje površinu". Određuje se prosječna potreba za 30 ili 10 dana po jednoj od formula, zatim veličina i učestalost vršne vrijednosti  $ET_o$ , te učestalosti raspodjele;

- izbor koeficijenta kulture  $k_c$ , koji se definira kao "odnos  $ET_c$  (kultura) i  $ET_o$  pod uvjetom da se oba odnose na prostrana polja pod optimalnim uvjetima rasta". Definira se dužina vegetacije, fenološke faze, te određuje  $k_c$  po fazama razvoja, pa se potom izrađuje za svaki usjev grafikon promjena za cijelu sezonu;

- određivanje  $ET_c$  za svakih 30 ili 10 dana sada se računa kao :

$$ET_c = k_c \cdot ET_o$$

- definiranje različitih utjecaja na veličinu  $ET_c$  uzrokovanih lokalnim prilikama kao što su oborine, zatečena vlaga tla, način natapanja, agrotehničke mjere i sl.

### 6.4.2. Ovisnost potrebe vode o lokaliziranom natapanju

Osnovna razlika u proračunu potreba vode lokalizirana natapanja u odnosu na ostale jest u uzimanju u obzir postotka površine obradiva tla koji je pokriven krošnjom bilja. Kako se ovaj način natapanja uglavnom koristi za usjeve uzgajane u redovima, rastom bilja mijenja se (povećava se) i površina pokrivena usjevima (gledano odozgo). Kod svih ostalih natapanja ravnomjerno se vlaži čitava površina tako da se jedan dio vode troši na  $ET$  korisnih usjeva, a drugi na isparavanje s golog tla ili na transpiraciju korova. Prema tome, kod konvencionalnih načina natapanja potreba natapne vode uključuje i količinu za beskorisnu transpiraciju i isparavanje.

Nameće se, dakle, potreba određivanja nekog koeficijenta redukcije. Svi su radovi ove vrste najnovijeg datuma, tako da još, vjerojatno, nije pronađena najsvrsishodnija metoda proračuna. Navest ćemo nekoliko prijedloga, u kojima  $k_r$  znači koeficijent redukcije, a  $PT$  pokrov tla (misli se na odnos površine lišća bilja gledano odozgo prema ukupno obrađenoj površini).

a) Keller i Karmeli (1974.g.)

$$k_r = \frac{PT}{0,85} \text{ ili } 1, \text{ već prema tome što je manje}$$

b) Freeman i Garzoli (1984.g.)

$$k_r = PT + 0,5 (1-PT)$$

Ovaj se odnos temelji na jednostavnoj pretpostavci da je isparavanje s nepokrivene površine tla jednako polovici isparavanja s tla pokrivenog biljem. U slučaju pak da bilje pokriva cijelu površinu  $k_c = 1$ . U primjeru pak da krošnja bilja pokriva manji dio ukupne površine ( $PT$  manji od oko 0,50) preporučuje se da  $k_c$  bude jednak  $PT$ .

c) Decroix, CTREGF (1984.g.)

$$k_r = (0,10 + PT) \text{ ili } 1, \text{ već prema tome koji je manji}$$

Vrijednost od 0,10 uključuje tzv. učinak oaze, koji postaje bitan kada je pokrov malen.

Prema do sada provedenom testiranju, izraz Decroix daje zadovoljavajuće rezultate, ali se svejedno preporučuje oprez u primjeni, te provjeravanje u praksi kada god je to moguće.

Vrijednosti  $k_r$  prema raznim autorima

Tablica 64-1

PT%	$k_r$	$k_r$	$k_r$
	Keller i Karmeli	Freeman i Garzoli	Decroix CTGREF
10	0.12	0.10	0.20
20	0.24	0.20	0.30
30	0.35	0.30	0.40
40	0.47	0.40	0.50
50	0.59	0.75	0.60
60	0.70	0.80	0.70
70	0.82	0.85	0.80
80	0.94	0.90	0.90
90	1.00	0.95	1.00
100	1.00	1.00	1.00

## 6.4.3. Potreba natapne vode (PNV)

Potreba natapne količine vode ona je količina koja se mora isporučiti bilju da se postigne zadani cilj, tj. planirana proizvodnja. Ako je natapanje jedini izvor vode, onda će natapna potreba biti jednaka ili veća potrebi vode bilja. Veća će biti u slučaju da se moraju zadovoljiti i ostale potrebe kao što su gubici na poniranje, potreba ispiranja i ev. drugo. Manja će biti u slučaju da se dio potreba namiruje iz drugih izvora, kao što su oborine, vlaga tla, doprinos podzemne vode i sl.

Slijedom toga, neto potreba natapne vode  $PNV_n$  jest količina vode potrebna usjevima za optimalan razvoj bez drugih izvora. Bruto potreba natapne vode  $PNV_b$  ista je količina bez drugih izvora, ali uz dodatak svih gubitaka.

Odnos neto i bruto može se izraziti:

$$PNV_b = \frac{PNV_n}{E_a} + I$$

gdje je:

- $E_a$  - efikasnost natapanja
- $I$  - potreba ispiranja

Efikasnost natapanja može se izraziti:

$$E_a = k_s \cdot E_u$$

gdje je:

- $k_s$  - odnos prosječne količine vode uskladištene u zoni korijena i prosječno dodane količine - manji od 1
- $E_u$  - koeficijent ravnomyjnosti (uniformnosti) - manji od 1.

### 6.4.4. Raspodjela vode usjevima

#### a) Točkasta raspodjela vode

Kod točkaste raspodjele vode tlu, oblik omočenog tijela uglavnom ovisi o teksturi tla, kapilarnim silama, gravitaciji i količini dodatne vode. U glinovitim tlima s razvijenom kapilarnošću i jakim bočnom infiltracijom, gravitacija ima mali učinak, pa je omočeno tijelo izduženo i plitko kako to pokazuje slika 64-1a. Nasuprot tome, u dubokim pjeskovitim tlima stanje je suprotno: kapilarnost je minimalna, a gravitacija prevladavajuća (sl. 64-1b).

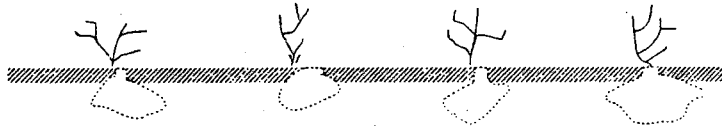
Do šada nije još provedeno dovoljno istraživanja o oblicima formiranja omočenog tijela u tlu da bi se mogla preporučiti neka pouzdana metoda. Istina je da postoje neki rezultati i preporuke u tom pravcu, ali najbolje je to neposredno izmjeriti kod izrade svakog projekta na pokusnoj parceli.

#### b) Broj ispusta po stablu

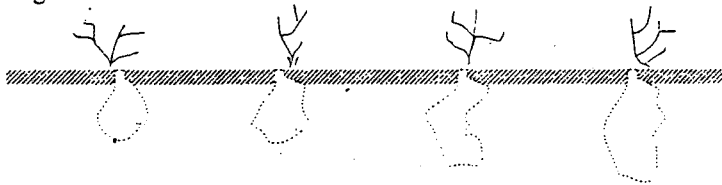
Jedan od ključnih parametara koji treba odrediti kod projektiranja sustava lokaliziranog natapanja jest postotak ( $P$ ) omočene zapremine (ili površine) tla u odnosu na ukupnu zapreminu. On ovisi o kapacitetu ispusta, teksturi tla, razmaku ispusta i laterala. Ova materija nije još u cjelosti istražena, pa nema nekih pouzdanih metodoloških postupaka za njeno definiranje. Black je (1971.g.) dokazao da se mladi nasad jabuka dobro razvija s vlaženjem samo 1/4 potencijalne površine žilnog sustava ( $P = 25\%$ ). Po tome se čini da bi vlaženje polovice površine ( $P = 50\%$ ) moglo biti sasvim zadovoljavajuće. Za voćarski nasad male gustoće čini se da posve zadovoljava ako se vlaži 1/3 ( $P = 33\%$ ) od potencijalne žilne površine. U slučaju pak da na području padaju povremeno jake kiše, predlaže se da se vlaži svega 20% površine ( $P = 20\%$ ). Kod nasada u redovima (drvoredi) preporučuje se vlaženje traka s ispustima na razmaku od 0,8 do 0,9 mm bilo u jednom ili u dva reda (sl. 64-2) u kojem slučaju će biti vlaženo oko 95% površine trake.



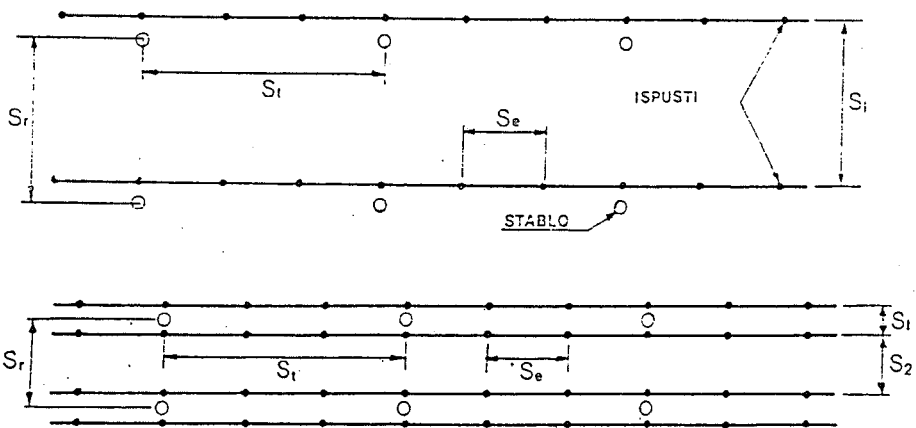
Teško tlo



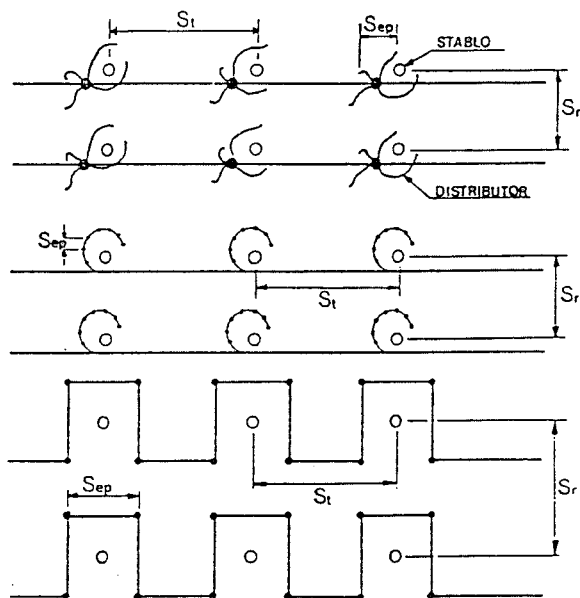
Lagano tlo



Sl. 64-1 Oblici omočenog tijela u tlu



Sl. 64-2 Jednoredni i dvoredni ispusti za voćarski nasad



Sl. 64-3 Rješenja s više ispusta po stablu

## 6.5. KVALITETA VODE ZA LOKALIZIRANO NATAPANJE

### 6.5.1. Općenito

Nema nikakve dvojbe da su začepljenja u mreži jedan od bitnih problema i ograničavajućih čimbenika primjene lokalizirana natapanja, pa mu zato treba posvetiti dužnu pažnju. Materijali koji izazivaju začepljenja ispusta najrazličitijeg su porijekla, počev od pijeska i mulja, pa preko alga i bakterija, sve do ostataka umjetnih gnojiva i plastičnih materijala. U našim krajevima prilikom upotrebe karbonatnih voda za natapanje, značajan problem mogu predstavljati inkrustacije kalcijeva karbonata uslijed isparavanja i precipitacije. Najveći broj uzročnika začepljenja može se spriječiti odgovarajućim filtriranjem vode, za što nam stoje na raspolaganju brojni uređaji. Drugi, pak, zahtijevaju posebne postupke uz specifične analize na licu mjesta.

### 6.5.2. Filtriranje

Najprije treba naglasiti da je veoma značajno da prije bilo kakvih zahvata za pročišćavanje vode treba provesti odgovarajuću analizu vode, kako na sadržaj muteži (nanosa) po granulometrijskom sastavu, tako i organske materije i otopljenih soli. Veličina čestica obično se klasificira po jednom od sustava navedenih u tablici 65-1.

#### Klasifikacija veličine čestica

Tablica 65-1

Međunarodna Atterberg	Veličina čestica u mm	US Dept. of Agriculture USDA	Veličina čestica u mm
grubi pijesak	2.0 - 0.2	veoma grubi pijesak	2.0 - 1.0
fini pijesak	0.2 - 0.02	grubi pijesak	1.0 - 0.5
prah	0.02 - 0.002	srednji pijesak	0.5 - 0.25
glina	manje od 0.002	jako fini pijesak	0.1 - 0.05
		prah	0.05 - 0.002
		glina	manje od 0.002

Za odvajanje krute od tekuće komponente primjenjuju se različite metode od kojih su najčešće taloženje i filtriranje.

#### a) Talozenje

Taloženje je vjerojatno najstariji i najjeftiniji način za uklanjanje krutih čestica iz vode. Mjerenja pokazuju da će se npr. čestice vode od 40 mikrometara istaložiti za manje od jedan sat. U poljoprivredi se za tu namjenu najčešće koriste zališni bazeni. Treba naglasiti da u slučaju da se bazen koristi kao taložnica onda treba primijeniti plivajući zahvat.

#### b) Mrežasti filteri

Mrežasti filteri su druga vrlo popularna metoda za uklanjanje krutih sastojina u vodi. Filteri se klasificiraju prema nazivnom broju mreže, o čemu ovisi otvor. Nazivni brojevi i odgovarajući otvori za standardne filtere navedeni su u tablici 65-1.

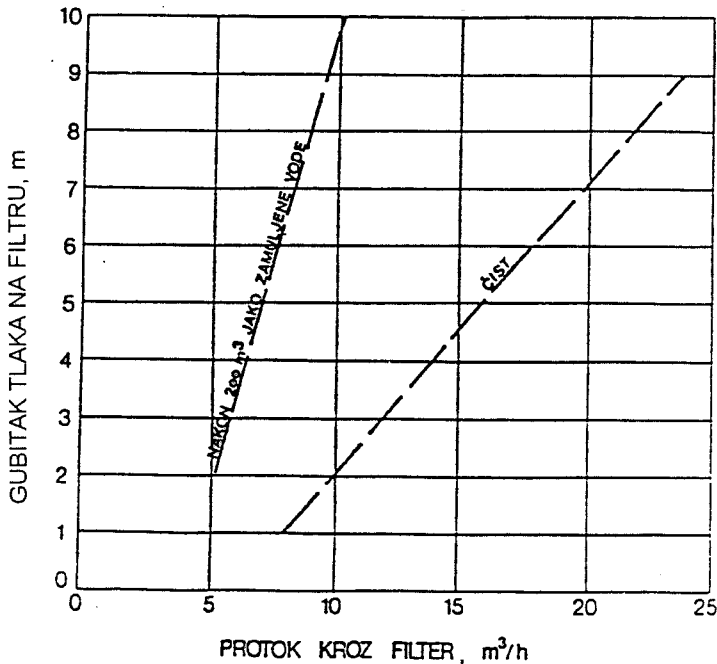
#### Broj mreže prema promjeru otvora

Tablica 65-2

Broj mreže	Otvor u mm	Broj mreže	Otvor u mm
4	4.750	80	1.180
10	2.000	140	0.106
20	0.850	200	0.075
40	0.425		

Uočljivo je da filteri ove vrste mogu zadržati samo čestice relativno velikog promjera, jer npr. i najgušći može zaustaviti samo čestice do 0,074 mm, što nije dovoljno. U praksi se obično koriste filteri broja od 80 do 200 i to najčešće kombinacija dviju veličina u seriji.

Mrežasti se filteri moraju povremeno čistiti, a to se primjećuje po osjetnom povećanju hidrauličkih gubitaka. Zato moraju biti tako izrađeni da se lako rastavljaju i čiste. U zadnje je vrijeme u prometu veći broj modela koji se sami, automatski, čiste čim otpor u njima dostigne određenu granicu. Na priloženoj slici 65-1 prikazane su hidrauličke značajke čistog i zamuljenog filtera.



Sl. 65-1 Hidrauličke značajke filtera

### c) Pješčano - šljunčani filteri

Pješčano-šljunčani filteri pojavili su se radi zadržavanja krutih čestica koje prolaze kroz mrežaste filtere. Sastoje se od više slojeva pijeska i šljunka različite granulacije kroz koje protječe voda. Nečistoće u vodi prijanjaju na zrnca pijeska agregirajući se u veće skupine. Uspješno zadržavaju nanos do veličine promjera od oko 20 mikrometara. Efikasnost filtriranja uglavnom ovisi o filterskom materijalu, debljini filterskog sloja, te brzini i tlaku vode po jedinici filterske površine. Kod izbora pješčanog filtera treba prethodno odrediti granulaciju pijeska koji je potreban. U tablici 65-3 dati su podaci za veličinu zrna mogućeg izbora različitog materijala.

### Veličina zrna filterskog materijala

Tablica 65-3

Nazivni broj	Materijal	Srednja veličina zrna mikrometara
8	drobljeni granit	1840
11	drobljeni granit	952
16	silicijev pijesak	806
20	silicijev pijesak	524
30	silicijev pijesak	335

Debljina filterskog sloja varira između 10 cm i 1,0 m. Kod debljih filterskih slojeva postoji opasnost neadekvatnog ispiranja, uslijed formiranja privilegiranih putova obratnog toka vode kod pranja. Što je manja brzina toka vode, to će efektivnije biti filtriranje. Smatra se da brzinu od 1800 l/min/m<sup>2</sup> treba uzeti kao gornju granicu. Kao što je poznato, čišćenje se provodi obrnutim tokom vode, odozdo prema gore. Iz sigurnosnih razloga, iza pješčanih filtera se obično ugrađuje mrežasti filter da pokupi čestice koje prolaze ili su zaostale kod pranja.

#### d) Pjenasti filteri

Pjenasti (spužvasti) filteri sastoje se od PVC cijevi i poliuretanske pjene kao filterskog materijala. Jeftini su i jako prikladni za "zadnje" filtriranje. Mogu se ugraditi na glavni cjevovod ili na svaki pojedini lateral.

#### e) Vorteks filteri

Ni jedan od do sada opisanih filtera ne može tako efikasno ukloniti čestice mulja iz vode kao vorteks filter. To je, zapravo, obrnuto položen šuplji stožac s bočnim utokom vode i izlazom na vrhu. U njemu se zbivaju dvije vrste ciklonskog gibanja: jedan odvođeći talog prema taložnici, odnosno izlazu i drugi koji diže čistu vodu prema gore, odnosno odvodnom cjevovodu. Može efikasno odstraniti relativno velike količine mulja.

### 6.5.3. Kemijska precipitacija

Filtriranjem vode nije spriječena svaka mogućnost začepjenja mreže. Neke vode sadrže veće količine željeznog oksida (FeO) ili pak kalcijevog hidrokarbonata Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> koji se pod nekim uvjetima, a naročito kod povećanja temperature i pH vode pretvaraju u netopive soli (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i CaCO<sub>3</sub>) i talože na stijence cijevi i ispusta.

Dakako, rješenja i za takva začepjenja postoje. Željezni oksid može se uspješno eliminirati iz vode prije nego li uđe u natapnu mrežu postupkom kloriranja, a kalcijev se karbonat može odstraniti iz mreže povremenim ispiranjem otopinom solne kiseline. U svakom slučaju treba nastojati izbjeći potrebu primjene takvih mjera, jer nisu ni prikladne ni jeftine.

## 6.5.4. Mikrobiološka kontrola

Problemi razvoja i začepljenja mreže pojavljuju se u vodama, obično iz površinskih izvorišta i plitkih bunara, ako ona sadrži organsku materiju, željezo ili sumporovodik. Sadržaj željeza u vodi od svega 0,4 ppm može već izazvati ozbiljne probleme. Kako razvoj alga, tako i sluz mogu biti uspješno suzbijene kloriranjem. Kloriranje je efikasna metoda za rješavanje tih problema, ali je skupa i štetna za okolinu. Alge i sluz mogu se uspješno držati pod kontrolom konstantnom koncentracijom klora u vodi od 1 ppm, ili pak povremenim udarnim doziranjem od 10 - 20 ppm.

*Uobičajene doze kloriranja*

Tablica 65-4

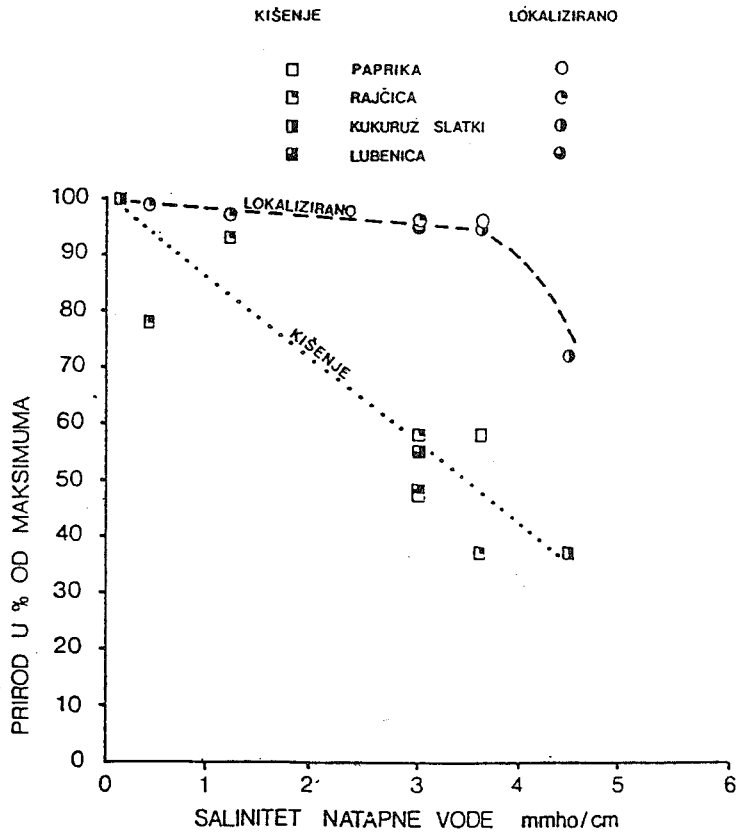
Problem	Doza
alge	0.5 do 1 ppm neprekidno ili 10 do 20 ppm po pola sata
sumporovodik	3.5 do 8.4 puta sadržaj sumporovodika
željezne bakterije	1 + ppm željeza
sluz	0.5 ppm

## 6.6. PROBLEMI VEZANI UZ KVALITETU VODE

Općenito uzevši, problemi vezani uz visoki sadržaj nekih soli u vodi mogu se grupirati na problem saliniteta, vodopropusnosti, toksičnosti specifičnih iona i ostale probleme. Salinitet se obično izražava pomoću električne vodljivosti,  $EV_v$ , koja se označava u mmho/cm\* ili u sadržaju soli izraženom u ppm ili mg/l ( $\text{mmho/cm} \times 640 = \text{ppm} = \text{mg/l}$ ).

Odmah treba naglasiti da se primjenom lokaliziranog natapanja neće, vjerojatno, polučiti nikakav pozitivan učinak na probleme vodopropusnosti i toksičnosti, ali može na učinak ukupne sadržine soli (salinitet). Naravno, ako se za lokalizirano natapanje koristi voda visokog sadržaja soli neće se dobiti veći prirodni negoli kod vode niske sadržine, ali se može očekivati manji negativni utjecaj na smanjenje priroda. To se tumači činjenicom učestalijeg natapanja lokalizirana natapanja u odnosu na ostale načine. Na slici 66-1 vidljiv je rezultat tog učinka.

\* Prema SI, 1 mmho = 1 S



Sl. 66-1 Usporedba utjecaja kvalitete vode na prirode kod lokalizirana natapanja i kišenja

Da bi biljka mogla isisati potrebnu količinu vode iz tla za svoj razvoj, mora svladati potencijal vode u tlu i osmotski potencijal. Kako salinitet (osmotski potencijal) i zaslanjena voda (potencijal vode u tlu) nisu ravnomjerno raspoređeni po profilu tla, korjenje je suočeno s različitim stupnjevima raspoloživosti vode zbog razlike u totalnom potencijalu. Suočeno s tim problemom, ono će pristupiti selektivnoj opskrbi vode, i to iz onih slojeva gdje je totalni potencijal manji. Budući da se kod lokalizirana natapanja voda uglavnom neprekidno dozira, to je totalni potencijal na površini najmanji, pa će se i biljka uglavnom opskrbljivati u tom horizontu. Prema tome, kao zaključak može se konstatirati da se lokaliziranim natapanjem, vezano na kontrolu saliniteta, može postići sljedeće:

- održavati visoki sadržaj vode u gornjem sloju tla (niski kapilarni potencijal) tako da biljka neće crpsti vodu iz nižih, zaslanjenih korizonata, i
- uz učestala natapanja spriječiti značajniju koncentraciju soli između sukcesivnih natapanja.

### 6.7. ZAKLJUČAK

Primjenom lokalizirana natapanja može se, u odnosu na ostale načine natapanja, uštedjeti značajne količine vode, ako se ono pravilno projektira i ako se organizira pravilan pogon. Ušteda se ne odnosi na manji utrošak vode na evapotranspiraciju od strane uzgajanog bilja, već gotovo isključivo na smanjenje gubitaka koji su kod ostalih načina neminovni. Prvenstveno se to odnosi na duboko poniranje kod neravnomjernog vlaženja i na isparavanje iz tla i transpiraciju korova na dijelu obrađene površine gdje rastu korovi.

Za lokalizirano natapanje mogu se upotrebljavati vode niže kvalitete (većeg saliniteta) negoli kod gotovo svih ostalih načina. Tome ima više razloga. Prvo, jer se ne vlaži krošnja bilja (kao kod kišenja) pa slanost vode ne može neposredno oštećivati lišće i plodove (cvijet) bilja. Drugo, jer se učestalim natapanjem (uglavnom svakodnevno) drži niski potencijal vlage u površinskom sloju, pa bilje ne crpi vodu iz nižih, najčešće zaslanjenih slojeva. Kod natapanja u turnusima od 10 do 15 dana, biljka najprije utroši vodu u površinskom sloju (gdje je korjenje najgušće raspoređeno), a pri kraju turnusa je "prisiljena" crpiti iz donjih - zaslanjenih slojeva, pa se to očituje kao nedostatak vode (suša).

Iz izloženog je očigledno da ovaj način natapanja ima određenih prednosti pred ostalima i to u pogledu štednje vode i korištenja vode niže kvalitete, ali ima i svojih mana, a te su da je investicija redovito viša negoli kod drugih načina, a za pogon je natapnu vodu potrebno adekvatno pročititi.

Prema tome, kod donošenja odluke za njegovu primjenu treba valorizirati sve pozitivne i negativne čimbenike, te donijeti ekonomski najprihvatljivije rješenje.



## LITERATURA

1. Constantinidis, C.Ath.: Bonifiche ed Irrigazioni, Edagricole, Bologna, 1970.
2. Jensen, M.E.: Design and Operation of Farm Irrigation Systems, ASAE Monograph, No.3, 2950 Nile Road, P.O.Box 410 St. Joseph, Michigan 49085, 1981.
3. Kos, Z.: Hidrotehničke melioracije tla - navodnjavanje, Školska knjiga, Zagreb, 1987.
4. Ollier, Ch., Poiree, M.: Irrigation, Eyrolles, 61, Boulevard Saint-Germain 75005 Paris, 1981.
5. Vermeiren, L., Jobling, G.A.: Localized Irrigation, FAO Irrigation and Drainage Paper 36, Rome, 1984.