



GRAĐEVINSKI FAKULTET

Sveučilišta u Rijeci

HRVATSKO DRUŠTVO ZA ODVODNJAVANJE I
NAVODNJAVANJE

PRIRUČNIK
ZA HIDROTEHNIČKE MELIORACIJE

II. KOLO

NAVODNJAVANJE

KNJIGA 4

SUSTAVI, GRAĐEVINE I OPREMA ZA NATAPANJE

Rijeka 1995.

Sadržaj ove knjige predstavlja rezultat četvrte 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".

Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike

Republike Hrvatske

Projekt: Znanstvene osnove za razvoj navodnjavanja u Hrvatskoj

Šifra: 2-11-059

Voditelj projekta: Prof.dr. Zorko Kos

Istraživači:

Prof.dr. Zorko Kos

Prof.dr. Ognjen Bonacci

Mr. Vladimir Prosen

Prof.dr. Frane Tomić

Prof.dr. Stjepan Mađar

Dr. Davor Romić

Mr. Ivica Plišić

Dr. Dragutin Gereš

Senko Vlah, dipl. inž. građ.

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, 1995. -
sv.;24 cm

Kolo 2, knj.4: Sustavi, građevine i oprema za natapanje (autori Zorko
Kos.../et.al./ -1995. - X, 247 str.; ilustr.)

Bibliografija: str. 13, 35, 62, 115, 167, 175, 247

Rezultati istraživanja na temi tijekom 1994.

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Sveučilišta u Rijeci

HRVATSKO DRUŠTVO ZA ODVODNJAVANJE I
NAVODNJAVANJE

PRIRUČNIK
ZA HIDROTEHNIČKE MELIORACIJE

II. KOLO

NAVODNJAVANJE

KNJIGA 4

SUSTAVI, GRAĐEVINE I OPREMA ZA NATAPANJE

Autori:

Prof.dr. Zorko Kos

Prof.dr. Ognjen Bonacci

Prof.dr. Frane Tomić

Prof.dr. Stjepan Mađar

Dr. Davor Romić

Dr. Dragutin Gereš

Rijeka, 1995.

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Sveučilišta u Rijeci

Za izdavača:

Prof.dr. Zorko KOS

Uredništvo:

Prof.dr. Zorko KOS

Prof.dr. Juraj PLENKOVIĆ

Prof.dr. Edvard PAVLOVEC

Prof.dr. Ante MATKOVIĆ

Doc.dr. Ivica KOŽAR

Glavni i odgovorni urednik:

Prof.dr. Zorko KOS

Recenzenti:

Prof.dr. Ivo MARINČIĆ

Prof.dr. Božidar EKL

Lektor:

Mr. Istočnica BABIĆ

Kategorizacija:

Znanstvena monografija

Adresa uredništva: Rijeka, Viktora Cara Emina 5

Naklada: 300 primjeraka

Kompjutorski slog: Alen MAREČIĆ i Senko VLAH

Tisak: Tipograf Rijeka

PREDGOVOR

Na redu je, eto, i deseta knjiga ovog priručnika (računajući i šest knjiga prvoga kola), pa je i ovo prilika za odgovarajući jubilej. Naime, izdavanje priručnika ovako uskog segmenta hidrotehničke discipline, zapravo na dobrovoljnoj osnovi, nije nimalo lak ni jednostavan zadatak. Da bi se koliko-toliko osigurala materijalna osnova za ovaj pothvat, potpisani je 1991. godine prijavio kod Ministarstva znanosti i tehnologije znanstveni projekt "Znanstvene osnove za razvoj navodnjavanja u Hrvatskoj" u okviru kojega je trebalo pripremati i Priručnik, što je i ostvareno. Međutim, zbog nastalih poteškoća u osiguranju sredstava za tu namjenu u državnom proračunu, već nakon prve godine izostao je priljev sredstava za osobne dohotke istraživača, pa se rukopisi pripremaju zapravo bez ikakve naknade autorima. Uspjelo je jedino da se sponzorstvom osiguraju sredstva za tiskanje naklade. Ovome treba svakako pribrojiti i značajan doprinos, trud i zalaganje djelatnika Građevinskog fakulteta u Rijeci, ustanove kao cjeline, koja uspijeva, bez ikakve naknade, obaviti na vrijeme ovako složen posao kao što je izdavanje jednog sveska godišnje.

Ovogodišnji broj, četvrti po redu u drugom kolu, obrađuje temu "sustavi, građevine i oprema za natapanje", što predstavlja jako opširan i zahtjevan zadatak. Budući da u našoj zemlji zapravo nema iole spomena vrijedna značajnijega natapnog sustava, bilo je potrebno neke elemente detaljnije obraditi. Tako je poglavlje o planiranju i građenju obloženih natapnih kanala dobilo relativno više prostora negoli bi se to prema rasporedu očekivalo. Učinjeno je to zato jer kod nas nema ni tradicije ni planera-projektanata koji imaju iskustva u tom području. Slična je stvar i s pratećim građevinama na velikima dovodnim kanalima.

Građa je izložena jednostavno i koncizno kako bi bila pristupačna i stručnjacima koji nisu specijalizirani u ovoj materiji. Radi boljeg razumijevanja pojedinih konkretnih zadataka proračuna, izrađeni su, za određene građevine, i računski primjeri.

Nadamo se da će - kao i prethodni brojevi - i ovaj svezak naići na značajno zanimanje kod svekolike stručne javnosti.

Rijeka, veljača 1995.

Prof.dr. Zorko Kos

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
PROF. DR. ZORKO KOS	
2. NATAPNI SUSTAVI.....	5
PROF. DR. ZORKO KOS	
2.1. OPĆENITO.....	5
2.2. DOVODNA MREŽA.....	6
2.2.1. Neka praktična rješenja.....	7
2.3. RAZVODNA I NATAPNA MREŽA.....	9
2.3.1. Gravitacijski natapni sustavi.....	10
2.3.2. Natapni sustavi pod tlakom.....	10
2.3.3. Natapni sustavi malih akumulacija.....	11
LITERATURA.....	13
3. GLAVNE GRAĐEVINE SUSTAVA ZA NATAPANJE.....	15
DR. DRAGUTIN GEREŠ	
3.1. TEORIJSKE OSNOVE REGULIRANJA RAZINE I PROTOKA VODE U KANALIMA.....	15
3.1.1. Uvod.....	15
3.1.2. Ciljevi i potreba za kontrolnim sustavom.....	16
3.1.3. Dodjela natapne vode.....	16
3.1.3.1. Postojeće definicije načina dodjele vode.....	16
3.1.3.2. Metode pogona glavnog sustava.....	17
3.1.3.2.1. Način dodjele vode tercijanom podsustavu.....	18
3.1.3.2.2. Raspored dodjele vode tercijanom podsustavu.....	20
3.1.3.2.3. Metode distribucije vode u glavnom sustavu.....	21
3.1.4. Sustavi kontrole protoka i razina vode.....	22
3.1.4.1. Klasifikacija kontrolnog sustava protoka.....	22
3.1.4.2. Izbor kriterija za kontrolni sustav.....	24
3.1.5. Proporcionalni kontrolni sustav.....	26
3.1.6. Uzvodni kontrolni sustav.....	27
3.1.7. Nizvodni kontrolni sustav.....	28
3.1.8. Daljinski kontrolni sustavi.....	30
3.1.8.1. Općenito.....	30
3.1.8.2. Bival sustav.....	31
3.1.8.3. El-flo sustav.....	31
3.1.8.4. Cardd sustav.....	31
3.1.8.5. Dinamički kontrolni sustav.....	31
3.1.9. Hidrauličke osnove metoda kontrole.....	32
LITERATURA.....	35
3. GLAVNE GRAĐEVINE SUSTAVA ZA NATAPANJE.....	37
PROF. DR. OGNJEN BONACCI	
3.2. ZAHVATI VODA.....	37
3.2.1. Uvod.....	37

3.2.2. Zahvati površinskih voda.....	39
3.2.2.1. Zahvati riječnih voda	39
3.2.2.2. Zahvati izvorskih voda.....	50
3.2.2.3. Zahvati voda iz prirodnih i umjetnih jezera.....	53
3.2.3. Zahvati podzemnih voda.....	55
3.2.3.1. Zahvati izvorskih voda.....	55
3.2.3.2. Zahvati aluvijalnih podzemnih voda.....	56
3.2.3.3. Zahvati iz klasičnih vodonosnika	59
3.2.3.4. Zahvati dubokih podzemnih voda.....	61
3.2.4. Specijalni zahvati	61
LITERATURA.....	62

3. GLAVNE GRAĐEVINE SUSTAVA ZA NATAPANJE..... 63

PROF. DR. ZORKO KOS

3.3. ELEMENTI NATAPNE MREŽE.....	63
3.3.1. Kanali	63
3.3.1.1. Općenito	63
3.3.1.2. Elementi kanala	63
3.3.1.3. Utvrđivanje potrebe za oblaganjem kanala.....	73
3.3.1.4. Utvrđivanje gubitaka na procjeđivanje	76
3.3.1.5. Oblaganje kanala	86
3.3.1.5.1. Krute obloge.....	86
3.3.1.5.2. Izložene membrane	97
3.3.1.5.3. Ukopane (zaštićene) membrane.....	97
3.3.1.5.4. Zemljane obloge.....	101
3.3.2. Cjevovodi.....	103
3.3.2.1. Općenito	103
3.3.2.2. Vrste cijevi	104
3.3.2.3. Hidraulički proračun cjevovoda	108
3.3.3. Crpne postaje	110
3.3.3.1. Općenito	110
3.3.3.2. Elementi crpne postaje.....	110
3.3.3.3. Pogon crpne postaje.....	113
LITERATURA.....	115

3. GLAVNE GRAĐEVINE SUSTAVA ZA NATAPANJE..... 117

DR. DRAGUTIN GEREŠ

3.4. GRAĐEVINE NA RAZVODNOJ MREŽI.....	117
3.4.1. Prijelazi.....	117
3.4.1.1. Hidraulika objekata za prijelaz.....	117
3.4.1.2. Propusti	120
3.4.1.3. Akvadukti	120
3.4.2. Obrnuti sifoni.....	123
3.4.3. Objekti za raspodjelu vode	124
3.4.3.1. Uvod.....	124
3.4.3.2. Pločaste zapornice	125
3.4.3.3. Radijalne (segmentne) zapornice.....	129
3.4.3.4. Zahvat vode pomoću zapornice.....	131
3.4.3.5. Proporcionalni razdjelnik vode.....	132
3.4.3.5.1. Fiksirani razdjelnik protoka	133
3.4.3.5.2. Podesivi razdjelnik protoka	133
3.4.3.5.3. Proporcionalni razdjelni objekt.....	134

3.4.4. Moduli i vodomjeri	135
3.4.4.1. Općenito	135
3.4.4.2. Mjerenje brzine tečenja vode i protoka u kanal	137
3.4.4.3. Moduli	138
3.4.4.4. Vodomjer s konstantnim tlakom	144
3.4.4.5. Preljev sa širokim pragom	146
3.4.6. Preljev sa zapomicom (Romijn)	148
3.4.4.7. Preljev Cipoletti	150
3.4.4.8. Parshallov vodomjer	151
3.4.5. Regulatori razine vode	154
3.4.5.1. Regulatori za uzvodnu kontrolu	154
3.4.5.2. Regulatori za nizvodnu kontrolu razine vode	159
3.4.6. Ostale građevine na kanalima	162
3.4.6.1. Umirujućí bazeni	162
3.4.6.2. Stepenice	162
3.4.6.3. Objekti za zaštitu kanala	165
LITERATURA	167
4. OPREMA ZA NATAPANJE	169
PROF. DR. ZORKO KOS	
4.1. OPREMA ZA POVRŠINSKE NAČINE	169
4.1.1. Općenito	169
4.1.2. Ispusti	169
4.1.3. Teglice	171
4.1.4. Prijenosni cjevovodi	172
LITERATURA	175
4. OPREMA ZA NATAPANJE	177
PROF. DR. FRANE TOMIĆ	
DR. DAVOR ROMIĆ	
PROF. DR. STJEPAN MADAR	
4.2. OPREMA ZA LOKALIZIRANO NATAPANJE	177
PROF. DR. FRANE TOMIĆ	
DR. DAVOR ROMIĆ	
PROF. DR. STJEPAN MADAR	
4.2.1. Umjesto uvoda	177
4.2.2. Oprema kapanja	177
4.2.2.1. Što je kapanje?	177
4.2.2.2. Koristi koje se ostvaruju kapanjem	178
4.2.2.3. Potencijalni problemi s kapanjem	179
4.2.3. Uredaji sustava lokalizirana natapanja	181
4.2.3.1. Regulatori tlaka	181
4.2.3.2. Uredaji za gnojidbu	181
4.2.3.3. Uredaji za filtriranje vode	184
4.2.3.4. Ventili za linijsko ispiranje	186
4.2.3.5. Cijevi	188
4.2.3.6. Kapaljke	188
4.2.3.7. Pribor za spajanje	205
4.2.4. Potrebe uzgajanih kultura za vodom	205
4.2.4.1. Potreba kulture za vodom korigirana pokrivenošću površine	206
4.2.4.2. Doziranje vode pri natapanju kapanjem	208
4.2.4.3. Dnevna potreba za vodom za natapanje	210

4.2.5. Natapanje podzemnim cijevima.....	211
4.2.6. Mini rasprskivači.....	214
4.2.7. Automatika u sustavima lokaliziranog natapanja	228
4.2.8. Zaključne napomene.....	229
4. OPREMA ZA NATAPANJE	231
PROF.DR. FRANE TOMIĆ	
DR. DAVOR ROMIĆ	
PROF.DR. STJEPAN MADAR	
<i>4.3. OPREMA ZA NATAPANJE KIŠENJEM</i>	<i>231</i>
4.3.1. Vrste sustava i uređaja za natapanje kišenjem.....	231
4.3.1.1. Nepokretni ili stabilni uređaji.....	232
4.3.1.2. Polupokretni ili polustabilni uređaji	232
4.3.1.3. Pokretni ili prenosivi uređaji.....	233
4.3.1.4. Samopokretni ili samohodni uređaji.....	234
4.3.1.4.1. Samohodno bočno kišno krilo (BK-krilo).....	235
4.3.1.4.2. Samohodna kružna prskalica ("Boon" uređaj).....	236
4.3.1.4.3. Samohodni sektorski rasprskivač ("Tifon" uređaj).....	237
4.3.1.4.4. Samohodno vučeno kišno krilo ("Dusenwagen" uređaj).....	240
4.3.1.4.5. Samohodni automatizirani uređaji za kišenje (Hidromatici).....	241
LITERATURA.....	247

1. UVOD

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

Ovaj svezak Priručnika za hidrotehničke melioracije tla obuhvaća temeljno gradivo građevinske struke hidrotehničkog usmjerenja u ovoj grani. Sustavi za natapanje i pojedine građevine u njima predstavljaju cjelokupnu materijalnu osnovu za provedbu pogona natapanja, odnosno za osiguranje adekvatnoga vodno-zračnog režima u tlu. Na taj se način poljoprivredi eliminira jedan od bitnih ograničavajućih čimbenika razvoja, a to je nedostatak vlage u kritičnom razdoblju razvoja bilja, koji je čest u našim klimatskim uvjetima.

Gradivo knjige koncipirano je tako da su na prikladan način za praksu obrađeni svi elementi natapnih sustava. U prvom su poglavlju klasificirani natapni sustavi prema pogonskim značajkama tako da su podijeljeni na gravitacijske, tlačne i mješovite tipove. Ovdje treba napomenuti da su gravitacijski sustavi, iako potječu iz najstarijih vremena, i dan-danas najrašireniji i najmnogobrojniji te da će, vjerojatno, tako ostati i u daljoj budućnosti. Tome u prilog treba pribrojiti prednosti koje oni imaju, a to je niska pogonska cijena, jednostavnost u praksi, niski investicijski i pogonski troškovi te mogućnost natapanja svih vrsta usjeva uz relativno visoku učinkovitost. Površinski načini imaju i tu prednost što štede vodu time što natapaju samo dio površine (brazde), odnosno što štite bilje od različitih bolesti jer ne vlaže lišće, čime smanjuju i gubitke na isparavanje. Prema tome nije ni malo slučajno što su ti načini još uvijek i danas (iako datiraju od najstarijih vremena) najrašireniji u svim zemljama svijeta, uključujući i najrazvijenije. Tlačni sustavi imaju također izvjesnih prednosti, pogotovo u razvijenim zemljama svijeta, gdje je radna snaga svakim danom sve skuplja, jer omogućuju bitno smanjenje troškova za radnu snagu. Prema tome, teško je a priori reći što je povoljnije, a što nije; u svakom konkretnom slučaju treba pomno analizirati sve ključne čimbenike o kojima ovisi izbor, a potom odlučiti!

Treće je poglavlje ove knjige zapravo ključno u obradi osnovne teme, a to su glavne građevine sustava za natapanje. Podijeljeno je u četiri točke, od kojih svaka obrađuje jednu vrstu problema, odnosno jednu skupinu građevina koje služe nekoj zajedničkoj svrsi ili namjeni.

U prvoj se točki obrađuju teorijske osnove reguliranja vode u natapnim kanalima, što je od temeljnog značaja za pravilno organiziranje pogona natapnih sustava, raspodjelu vode usjevima te dimenzioniranje elemenata natapne mreže nižeg reda. Dani su odgovarajući hidraulički proračuni za dimenzioniranje građevina i za uzvodno i za nizvodno reguliranje vode u kanalima te za ostale pomoćne građevine.

U drugoj se točki obrađuju zahvati voda koji se mogu pojaviti kod natapnih sustava. Obradeni su svi oblici zahvata počev od zahvata površinskih voda, poglavito riječnih vodnih tokova koji su najučestaliji i najvažniji, zatim zahvati iz jezera i akumulacija pa sve do različitih tipova zahvata podzemnih voda, kao što su uzlazna i silazna vrela te vode temeljnice. Taj je prikaz bogato ilustriran većim brojem crteža i skica konkretnih primjera iz prakse tako da je cijeli sadržaj jako plastično prikazan i lako razumljiv svakom stručnjaku iz te domene, pa je veoma prikladan za praksu.

U idućoj se točki obrađuju ključne građevine natapnih sustava koji se koriste za dovodenje vode do natapnih površina te za razvođenje vode po natapnim poljima. Glavni su predstavnici ove skupine kanali, cjevovodi i crpne postaje. Kanali su najdetaljnije obrađeni, posebno što se tiče problema procjeđivanja i primjene različitih vrsta obloga. To je učinjeno zato što o tome, uglavnom, u nas do sada nema gotovo nikakva iskustva. Posebno se to odnosi na primjenu raznih folija, asfaltnih obloga, kompaktirane zemlje i sl. Kako je razvoj natapanja u Hrvatskoj u samom povoju, može se očekivati da će se sve te vrste obloga kanala u najskorijoj budućnosti primjenjivati u većoj mjeri.

Budući da su vrste cjevovoda koje se primjenjuju kod natapnih sustava jednake onima kod sustava opskrbe vodom stanovništva i industrije, tom dijelu nije dat veći prostor, jer su se i do sada te građevine primjenjivale za tu namjenu. Razlika je donekle u primjeni tlačnih armirano-betonskih cjevovoda, u čemu kod nas do sada gotovo i nema iskustava, a te se cijevi u svijetu naveliko koriste i za sustave opskrbe vodom stanovništva, i poljoprivrede (natapanje). Za crpne postaje dan je prikaz osnovnih elemenata građevina i opreme te načina proračuna, ali se ta tema detaljnije nije obrađivala. To je učinjeno zato što to nije tipična građevina samo natapnih sustava, već se pojavljuje i u drugim granama vodnog gospodarstva.

Zadnja točka ovog poglavlja obuhvaća osnovne građevine na razvodnoj mreži. Obradene su samo one građevine koje su tipične za natapne sustave kao što su prijelazi, sifoni te građevine za raspodjelu, mjerenje i reguliranje razine vode u kanalima. Kod svake značajnije vrste prikazana je metodologija hidrauličkog proračuna, a dani su i svi važniji tehnički podaci koji su nužni pri proračunu, što bitno olakšava rad budućim projektantima. Tekst je ilustriran velikim brojem primjera iz prakse, i to svih opisanih vrsta građevina.

U poglavlju 4 dan je kratak prikaz opreme za natapanje koja se danas primjenjuje za raspodjelu vode usjevima. Kod površinskih načina to su različiti tipovi ispusta za doziranje vode kod natapanja prelijevanjem i potapanjem te teglica i cijevi s otvorima za natapanje brazdama.

Oprema za lokalizirano natapanje obrađena je daleko detaljnije, što je i razumljivo jer je to metoda novijeg datuma, koja je u punom razvoju već više od 20 godina. U toj domeni treba u neposrednoj budućnosti očekivati još mnogo novih rješenja jer se uglavnom sve proizvodi iz plastičnih materijala, koji su također u stalnom razvoju. Manji dio gradiva koji se odnosi na opremu ovog načina natapanja, nalazi se u prethodnom svesku (knjiga 3) pa to treba kod upotrebe Priručnika imati u vidu. Najveći dio teksta odnosi se na razne vrste i tipove ispusta,

poglavito mini rasprskivača za što je priložen veći broj crteža, fotografija i grafikona. Nažalost, veći je broj fotografija loše kvalitete jer se za tisak nije raspolagalo izvornim primjercima. Dapače, autor je ponudio daleko veći broj slika negoli je obuhvaćeno konačnim tekstom, ali su morale biti izbačene zbog neadekvatne kvalitete (fotokopije).

2. NATAPNI SUSTAVI

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

2.1. OPĆENITO

Općenito uzevši, cilj je natapanja ili omogućiti razvoj poljoprivredne proizvodnje u klimatskim uvjetima koji su nepogodni za tu djelatnost (godišnje oborine manje od 200 m/m) ili pak polučiti ekonomske kriterije. Kod nas se, očigledno, radi o tome drugom slučaju, pa takvu vrstu natapanja nazivamo dopunskim natapanjem, jer se poljoprivredna djelatnost obavljala i prije uvođenja natapanja.

Pri uvođenju dopunskog natapanja cilj plana može biti:

- povećanje priroda pojedinih poljoprivrednih usjeva kao i rentabilnosti proizvodnje te "spašavanje" žetve u izuzetno sušnim godinama;
- uvođenje novih usjeva koji se, inače, bez natapanja ne bi mogli uzgajati (riža, actinidia) ili pak zaštita od mrazeva nekih sorti koje se, zbog specifičnih prilika u tom klimatu, ne bi mogle unosno proizvoditi;
- osiguranje dviju žetvi godišnje. To se odnosi na ona područja koja imaju sve preduvjete za to, izuzev što je jedan dio vegetacijske sezone izrazito aridan.

Da bi natapna voda stigla do "odredišta", odnosno do parcele na kojoj će se upotrijebiti za natapanje usjeva, ona protječe kroz duži ili kraći sklop kanala i drugih građevina, što općenito nazivamo natapni sustav ili natapna mreža. Ima primjera natapnih sustava kod kojih je udaljenost između zahvata vode i mjesta potrošnje i do 1000 kilometara. Natapni je sustav najčešće koncipiran tako da se od glavnoga dovodnog kanala, putem uzastopnih račvanja i podjela na vodove nižih redova s padajućim protokom, mreža grana u sve dijelove natapnog područja tako da se svakom korisniku može doznačiti vode u vremenu i količini koja je prethodno ugovorena. Sustav je, dakle, skup građevina, uređaja i opreme koji osigurava zahvat, dovod, razvod i raspodjelu određene količine vode za natapanje svakom imanju, čak i svakoj parceli u natapnom području (perimetru).

Za natapanje mogu se koristiti riječne (najčešće), jezerske (akumulacije), podzemne i otpadne vode. S obzirom na tako široku mogućnost izbora izvorišta s pripadnim građevinama koje nalaže izbor specifičnih konfiguracija sustava, veoma je teško sve sustave svrstati u neke standardne sheme, jer je zapravo svaki sustav "shema" za sebe. Ipak, na osnovi funkcionalnih značajki, sve sustave možemo podijeliti u dva osnovna skupa građevina, i to:

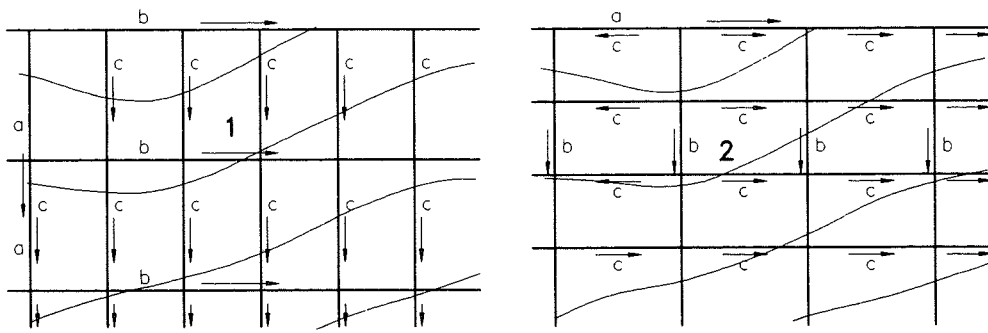
- dovodna mreža
- razvodna i natapna mreža

2.2. DOVODNA MREŽA

Natapno je područje, u najvećem broju slučajeva, udaljeno od zahvata vode, pa vodu treba dovesti odgovarajućim građevinama - kanalima. K tome treba još dodati da je površina koja se natapa najčešće još nepravilna, što predstavlja dopunske poteškoće u planiranju mreže. U svakom slučaju, bez obzira na te specifičnosti, vodu treba dovesti na što višu nadmorsku razinu kako bi se omogućilo gravitacijsko natapanje, odnosno kako bi troškovi mogućega mehaničkog dizanja vode bili što manji. Konačni izbor rješenja temeljit će se na principu da ukupni godišnji troškovi pogona (investicijski i pogonski) budu najmanji, odnosno najniža cijena kubičnog metra dopremljene vode.

Nakon što glavni dovodni kanal stigne blizu natapnog područja na određenoj koti od njega granat će se razvodni kanali prvog reda, a iz tih drugoga itd. Ako se natapno područje može aproksimirati s jednom nagnutom plohom, moguće je zadatak riješiti na dva načina, i to:

a) u prvom će slučaju glavni dovodni kanal biti položen uzdužno, odnosno u smjeru najvećeg pada, dok će glavni razvodni kanali biti položeni poprečno, odnosno više-manje paralelno sa slojnicama; dakako iz tih kanala račvat će se sekundarni, bilo jedno ili obostrano, koji će također imati uzdužan smjer;



a - kanal I. reda, b - kanal II. reda, c - kanal III. reda

Sl. 2-1 Tipične sheme natapnih mreža

b) u drugom će slučaju tok glavnoga i sporednih kanala poprimiti suprotne položaje, što se najbolje može uočiti na priloženoj slici. Izbor jednoga ili drugog rješenja ovisi o ekonomskim značajkama, odnosno o investicijskim i pogonskim troškovima. Dakako, to su dva školska, "čista", slučaja; u praksi postoji bezbroj kombinacija i međurješenja.

Glavni dovodni kanal može se, u pravilu, podijeliti na tri funkcionalno različite dionice. Prva dionica, koja se proteže od zahvata do ulaska u natapno područje, odnosno početka raspodjele vode na razvodne kanale, naziva se još i mrtvi dio ("tete morte"). Poželjno je da taj potez bude što kraći ili, još bolje, da po mogućnosti izostane, jer opterećuje investicijske i pogonske troškove. Dakako, to ovisi o svakom konkretnom slučaju posebno. Druga dionica, koja prolazi kroz natapno područje opskrbljujući vodom razvodnu mrežu, naziva se još i radni dio, dok se potez iza toga, tj. od izlaska iz natapnog područja do spoja s nekim recipijentom (obično vodotok), naziva odvodni dio, a služi za odvod neupotrebijene vode ili viška ako se pojavi iznenadna kiša. U našim prilikama pored natapne mreže treba planirati i izgraditi i odvodnu mrežu, ali to nije predmet ovoga rada pa se to neće razmatrati.

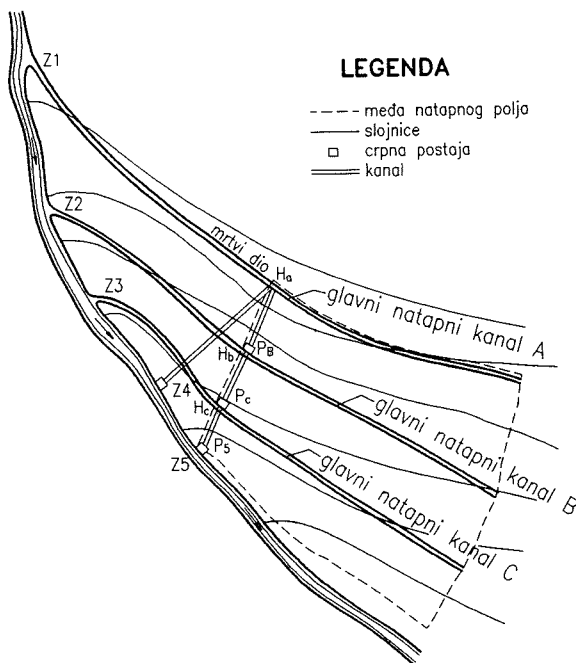
2.2.1. Neka praktična rješenja

Najčešće je odnos između mjesta gdje se nalazi raspoloživa količina vode za natapanje (izvorište) i natapnog područja takav da omogućuje primjenu većeg broja mogućih tehničkih rješenja. Zadatak je inženjera-projektanta da izabere najprikladnije, odnosno da adekvatnom analizom planira najbolje rješenje. U nastavku će se razmotriti jedan konkretan slučaj i analizirati neka od mogućih rješenja.

Pretpostavimo da treba izraditi projekt za natapanje osjenčane površine na slici 2-2 iz rijeke (R) koja protječe dolinom. U osnovi postoje dva glavna, potpuno različita rješenja i nekoliko kombiniranih, i to:

a) Izbor mjesta zahvata na rijeci na takvoj lokaciji uzvodno od natapnog područja koje omogućuje gravitacijski dovod, razvod i pogon planiranoga natapnog sustava (Z1), odnosno vodu u radnom dijelu kanala na takvoj koti da se može gravitacijski natapati čitavo polje.

b) Zahvat vode na rijeci na takovom mjestu (Z4) koje osigurava izvedbu najkraće, odnosno pogonski najjeftinije trase tlačnog cjevovoda u svrhu mehaničkog dizanja vode na početni presjek natapnog kanala A, odnosno u točku H_A . Time će se osigurati mogućnost gravitacijskog natapanja s pomoću jednog od površinskih načina, dakako uz pomoć adekvatne mreže razvodnih i natapnih kanala koji, radi preglednosti, nisu na slici prikazani. Nadalje, to rješenje omogućuje primjenu i bilo kojega drugog načina (kišenje, lokalizirano) uz uvjet da se voda tlači na odgovarajuću kotu te da se s tim u svezi izgradi odgovarajuća vodosprega (vodotoranj) s razinom vode na odgovarajućoj koti.



Sl. 2-2 Neka moguća rješenja natapnog sustava

Izbor jednog od ovih dvaju radikalno suprotnih rješenja dovoda vode do natapne površine nije uvijek lako i jednostavno provesti. Rješenje pod a) s dugačkim mrtvim dijelom dovoda obično zahtijeva veće investicijske troškove, a i gubici vode u takvoj mreži mogu biti značajni. Rješenje opisano pod b) ima izvjesnih prednosti u odnosu prema prvoopisanome, a to je da se može neposredno primijeniti za pogon bilo kojeg načina natapanja, da obično traži manje investicijske troškove i "troši" manju površinu (za građenje). Najveći mu je nedostatak što zahtijeva veće i trajne pogonske troškove, poglavito za utrošenu energiju i za održavanje tlačnih cjevovoda i hidromehaničke opreme. Slijedom navedenoga, najprikladnije je rješenje moguće izabrati jedino nakon odgovarajuće analize godišnjih investicijskih i pogonskih troškova, odnosno optimalizacijom sustava po principu dopreme na natapnu površinu najniže cijene kubičnog metra natapne vode.

c) Ranije opisana dva osnovna rješenja nisu i jedina moguća. Dapače, za realizaciju zadanog cilja (natapanje prikazane površine) moguće je, teoretski, izabrati bezbroj rješenja. Neka moguća (i preporučljiva) prikazat će se u nastavku. Radi pojednostavljenja analize pretpostavit ćemo da se planira primjena jednoga od površinskih načina natapanja. U tom slučaju moguć je izbor različitih konfiguracija gravitacijskoga dovodnog kanala s pridruženim sustavom za dovod vode pod tlakom za dio natapne površine koja visinski leži na kotama višima od dosega gravitacijskoga kanala.

Jedna od tako mogućih kombinacija sastoji se u lociranju zahvata gravitacijskog kanala na rijeci u točki Z2, što omogućuje neposredni razvod vode i natapanje čitave površine koja leži niže od kanala B. Za površinu koju opskrbljuje kanal A potrebno je sagraditi odgovarajuću crpnu stanicu P_B u točki H_B . Crpna stanica tlači vodu na potezu između H_B i H_A , a na visini koja je jednaka visinskoj razlici između kanala A i B.

Sljedeća se varijanta sastoji u još većem skraćanju dužine mrtvog dijela dovodnog kanala locirajući zahvat u točku Z3. Na taj se način neposredno gravitacijski može natapati samo površina koja leži niže od trase kanala C, a za površine iznad te kote vodu treba dizati mehaničkim putem. I tu su moguća dva rješenja. Prvo se sastoji u tome da se voda diže na kotu H_A u kanal A, odakle se kasnije raspoređuje na cijelu natapnu površinu koja leži niže od trase kanala A, ali više od trase kanala C. Druga je mogućnost da se voda tlači u dva "koraka". Najprije na potezu H_C H_B za čitavu površinu iznad kote H_C , a potom još i na potezu H_B H_A samo za dio površine iznad trase kanala B.

I, konačno, moguće je planirati zahvat vode u točki Z5 i sagraditi niz crpnih stanica stepenasto poredanih na trasi planiranih područnih natapnih kanala (u tom ih primjeru ima tri). Svaka sljedeća crpna stanica ima manji kapacitet, i to za površinu koja leži niže od trase natapnog kanala na kome je locirana. Koja će se od navedenih mogućih varijanti izabrati, ili neka druga koja ovdje nije spomenuta, ovisi o detaljnim istražnim, ili studijskim radovima koji će se provesti te o ekonomskoj analizi uspješnosti poslovanja.

2.3. RAZVODNA I NATAPNA MREŽA

Nakon što je glavni dovodni kanal stigao do natapnog područja započinje njegov radni dio, odnosno razvod vode po čitavoj površini planiranoj za natapanje. U osnovi, mogu postojati tri vrste natapnih sustava (natapnih mreža), i to:

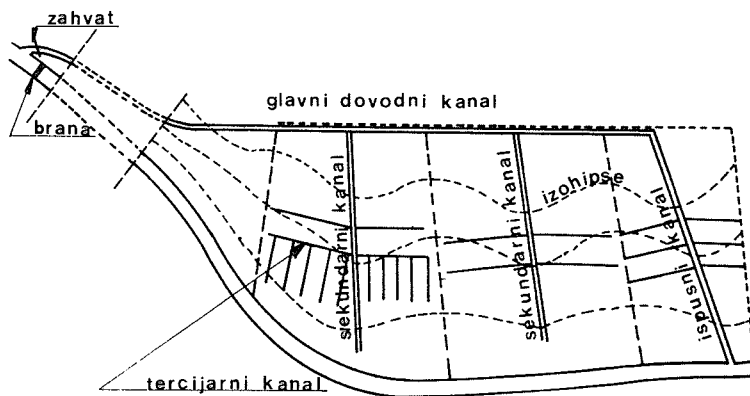
a) ako je planirana primjena jednoga od površinskih načina natapanja (prelijevanje, brazde ili potapanje), bit će to mreža kanala sa slobodnim vodnim licem koji će se hijerarhijski granati, ovisno o veličini natapnog područja, na sekundarne, terciarne, itd. kanale sve dok ne dopreme vodu na prag natapne parcele (pojednog vlasnika tla). Unutar same natapne parcele formira se, ovisno o veličini, natapna mreža koja neposredno opskrbljuje vodom poljoprivredno tlo;

b) pri natapanju kišenjem, odnosno lokaliziranome, voda se po terenu razvodi cijevnim vodovima pod tlakom, najčešće ukopanima koji se, kao i u prethodnom slučaju, granaju prema potrebi i završavaju hidrantima na pragu natapne parcele s tlakom u mreži koji odgovara planiranim uređajima za pogon natapanja;

c) u nekim slučajevima planira se tzv. mješoviti tip razvodne mreže, tj. sekundarni kanali gravitacijskog tipa sa slobodnim vodnim licem, a zadnji elementi kao mreža pod tlakom (ukopani cjevovodi) za pogon rasprskivača ili drugih uređaja za natapanje pod tlakom. U tom slučaju na prelazu iz gravitacijskoga u tlačni sustav grade se crpne stanice s vodospremama na povišenome mjestu (npr. vodotornjevi) ili se pak, za manje površine, voda neposredno tlači u mrežu.

2.3.1. Gravitacijski natapni sustavi

Na priloženoj slici 2-3 prikazan je jedan školski primjer gravitacijske natapne mreže ili, kako se to često kaže, mreže klasičnog tipa



Sl. 2-3 Primjer gravitacijskoga natapnog sustava

Kao što se vidi na slici, na kraju mrtvog dijela dovodnog kanala, odnosno ulaskom u natapni perimetar, započinje njegovo grananje na razvodnu mrežu, odnosno sekundarne kanale. Glavni se natapni kanal najčešće polaže po obodu brežuljka ili na povišenoj osnovi (nasipu) kako bi mogao dominirati čitavim terenom, odnosno kako bi voda mogla gravitacijski dotći i do najudaljenije parcele. Kanal završava spojnom dionicom na vodotok radi odvoda neupotrijebljenog viška vode.

Kanali drugog reda (sekundarni) koji se granaju iz glavnog dovodnoga, također se trasiraju na povišenoj prirodnom položaju (vidi sliku), ako je ikako moguće, a ako nije, mora im se na drugi način osigurati povišen (dominantan) položaj. Oni opskrbljuju vodom jedan sektor doline i dalje se granaju na tercijarne, koji pokrivaju dio sektora, odnosno jednu rudinu.

Tercijarni su kanali najčešće i zadnji u tome hijerarhijskom slijedu i neposredno opskrbljuju vodom natapnu mrežu, odnosno natapne kanale (natapnice, brazde natapnice i sl.).

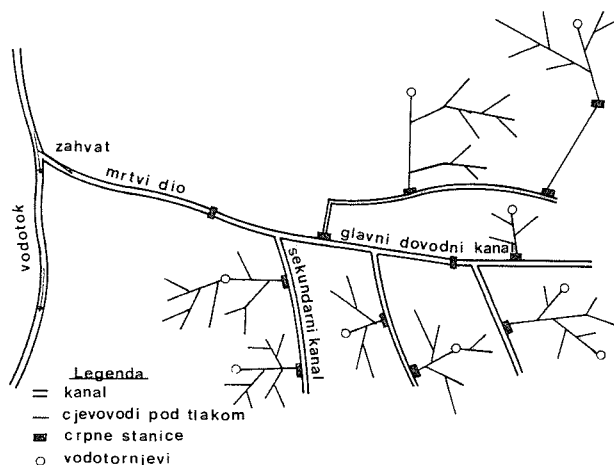
2.3.2. Natapni sustavi pod tlakom

U posljednje vrijeme (iza 1950.) počeli su se u pojedinima melioracijskim područjima graditi moderni natapni sustavi pod tlakom koji dopremaju vodu korisnicima, najčešće pod tlakom od 3 bara na hidrantima koji su smješteni na "pragu" natapne parcele. Najznačajniji radovi te vrste u Europi izvedeni su u južnoj Francuskoj (dolina Rhone)

Rješenje se sastoji u tome da se na pojedinim presjecima glavnog ili sekundarnog kanala izgrade zahvati sa crpnim postajama koje tlače vodu na

vodotoranj koji obično opskrbljuje vodom 2-3.000 ha tla. Ta se površina opskrbljuje vodom ukopanom mrežom tlačnih cjevovoda, a voda se korisnicima doprema na hidrantima pod tlakom koji su primjereni opremi za natapanje. Jedan hidrant obično dostavlja vodu za 2-4 korisnika. Vodosprema na tornju ima isključivu funkciju uravnoteženja tlaka u mreži i ima zanemarivu zapremninu u odnosu prema ukupnoj potrošnji (oko 3% dnevne potrošnje).

Prednost je ovakvih mreža u prvom redu u tome što je izbor trase cjevovoda potpuno slobodan i neovisan od međa parcela i nadmorske visine terena. Nadalje, natapanje se provodi tako da se na hidrante neposredno ili preko parcelne pokretne mreže cjevovoda priključe uređaji i oprema za kišenje bez ikakva dopunskog potiskivanja.



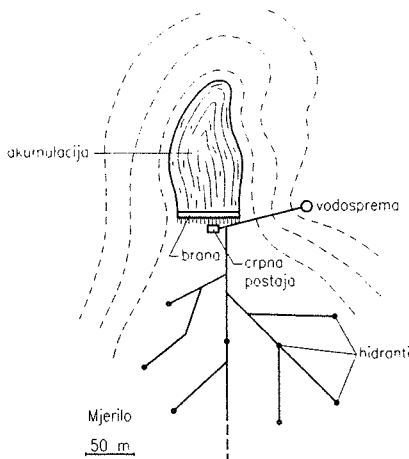
Sl. 2-4 Primjer natapnog sustava pod tlakom

2.3.3. Natapni sustavi malih akumulacija

Natapanje manjih površina tla s pomoću vode koja se akumulirala u manjim slivovima, obično bočnih dolina nekoga melioracijskog područja poznato je od davnina. Oborinska se voda sakuplja na prikladnim mjestima, obično bujičnih tokova, u odgovarajuće rezervoare najčešće pomoću manjih zemljanih brana, ali su se u nekim zemljama za tu namjenu upotrebljavale i cisterne. Veličina brane i akumulacije ovisila je o terenskim uvjetima, klimatskim značajkama i potrebama natapne vode. Akumulacija je najčešće zapremnine od nekoliko desetaka, pa do nekoliko milijuna kubičnih metara, a služi za natapanje pojedinačnog imanja ili više posjeda (kolektivni sustavi).

Zbog sve veće nestašice raspoložive količine vode, kao i potrebe natapanja onih površina gdje u blizini nema vode na raspolaganju, gradnja se malih akumulacija naglo povećala iza 50-tih godina ovoga stoljeća, pa je i dandanas u usponu i to

gotovo u svim zemljama svijeta. U tom su se razdoblju, u Europi, posebno intenzivno gradile te građevine u Italiji, Bugarskoj i Francuskoj, a u Aziji u NR Kini.



Sl. 2-5 Tipičan primjer natapnog sustava male akumulacije

U pravilu, svaka mala akumulacija ima svoj vlastiti razvodni sustav, najčešće u obliku cijevne mreže pod tlakom, ali ako zatreba voda se diže na određenu kotu i mehaničkim putem (vidi sliku). U tom slučaju vodosprema na povišenom mjestu služi samo za postizanje uravnoteženog tlaka, što je već ranije objašnjeno. Umjesto takva rješenja, u novije se doba projektiraju hidroforska postrojenja, odnosno rezervoari pod tlakom, što može kod određenih rješenja imati znatne gospodarske prednosti. Sve u svemu, sustav mala akumulacija-natapna mreža, u svemu je jednak uobičajenim "velikim" sustavima samo u manjem mjerilu. Izvjesna prednost tog modela sastoji se i u tome što to može biti u posjedu vlasnika poljoprivrednog tla, što može bitno olakšati problem pogona i održavanja, pogotovo u nekim administrativno-političkim sustavima.

LITERATURA

1. C.Constantinidis: Bonifica ed Irrigazione, Edagricole, Bologna, 1970.
2. M.E.Jensen: Design and Operation of Farm Irrigation Systems, ASAE, 1981.
3. Z.Kos: Hidrotehničke melioracije tla. Navodnjavanje. Školska knjiga, Zagreb, 1987.
4. D.B.Kruatz: Irrigation Canal Lining, FAO, Rome, 1977.
5. Ch.Ollier-M.Poircé: Irrigation, Eyrolles, 5.Edition, Paris, 1981.

3. GLAVNE GRAĐEVINE SUSTAVA ZA NATAPANJE

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

3.1. TEORIJSKE OSNOVE REGULIRANJA RAZINE I PROTOKA VODE U KANALIMA

3.1.1. Uvod

Sustav kontrole protoka i razine vode ima funkciju regulacije natapne vode tako da voda za natapanje može biti učinkovito upotrijebljena za biljnu proizvodnju. Zadatak je kontrolnog sustava dodjela zahtijevane ili potrebne količine vode korisniku natapanja. Kontrola protoka i razine vode u sustavima za natapanje češće se izvodi na temelju povijesnih iskustava ili temeljem sklonosti planera nego na temelju dobro definiranih ciljeva sustava za kontrolu vode. Ovo poglavlje obrađuje temu pomoću sustavnog prilaza. To znači da prvo treba točno definirati sustav za natapanje, i to u pogonu i pod normalnim uvjetima i u posebnim uvjetima, na pr. za vrijeme nestašice vode; zatim je potrebno specificirati prikladne alternative kontrolnog sustava, a na kraju se moraju ocijeniti performance kontrolnog sustava prije konačnog izbora načina kontrole. Vode za natapanje u svijetu ima sve manje. Upravljanje je raspoloživom vodom kritično na puno mjesta i teško ga je kontrolirati. Radi učinkovita upravljanja vodom, u prošlim su dekadama razvijene metode i načini kontrole protoka. Počelo se s kontrolom protoka ili razine vode na neovisnoj lokaciji, a danas je trend prema kompleksnim sustavima međuovisne kontrole na više različitih lokacija simultano, dakle kontrola u realnom vremenu.

Sustav za natapanje dijeli se općenito u dva dijela:

- a) glavni sustav, kojim upravlja organizacija za natapanje
- b) tercijarna jedinica ili krajnja jedinica, kojom upravljaju korisnici.

Glavni sustav čine: glavni vodozahvat, primarni kanal s objektima, distribucijski ili sekundarni kanal s objektima, uključivo i tercijarni vodozahvati za opskrbu vodom tercijarnih jedinica.

Tercijarni podsustav čine tercijarni i kanali nižeg reda, objeti na tim kanalima i sustav odvodnje na površinama.

Tercijarna jedinica sadrži veći broj polja za natapanje ili farmi. Tercijarna jedinica može primiti vodu izravno iz primarnog kanala.

3.1.2. Ciljevi i potreba za kontrolnim sustavom

Prije početka bilo koje aktivnosti na kontroli protoka i razine vode, potrebno je precizno definirati ciljeve koje treba postići kontrolnim sustavom. To mogu biti: ispunjenje potreba za vodom usjeva, jednaka raspodjela raspoloživih vodnih resursa itd. Također je potrebno specificirati otklone od idealnog stanja, koji su prihvatljivi za upravljača i korisnika kontrolnog sustava. Svrha je kontrolnog sustava za regulaciju protoka i razine vode u kanalima dodjela određenog protoka tako da budu zadovoljeni sljedeći uvjeti:

- a) ispravan protok iskazan u količini, učestalosti i trajanju
- b) dotok vode s dovoljnim tlakom
- c) jednake količine na određenom mjestu (također i krajnjem korisniku)
- d) u odgovarajućem razdoblju vremena
- e) na realan i siguran način.

Kanali za natapanje planirani su - projektirani - za kapacitet koji je određen maksimalnim potrebama natapanja. Za većinu vremenskog razdoblja natapanja oni se upotrebljavaju za manji protok od navedenog maksimuma i često je potrebno kontrolirati protok i razinu vode pomoću uređaja ili građevina. Regulatori su protoka objekti koji uređuju protok iz jednoga kanala u drugi. To se može dogoditi na različitim mjestima u sustavu za natapanje;

- 1) na glavnom vodozahvatu sustava za natapanje, često na zahvatu na rijeci ili jezeru (to je kontrola na primarnom kanalu)
- 2) na početku distribucijskog ili sekundarnog kanala
- 3) na vodozahvatu tercijarne jedinice (jedinica korisnika).

Objekti za reguliranje razine vode u kombinaciji s navedenim regulatorima protoka potrebni su za određivanje protoka, a također i za potrebe distribucije vode na natapanje površine. Uzvodna vodna razina kontrolira se u uskim granicama jer zahvati vode s uzvodnom razinom i s dovoljno širokim opsegom promjene još nisu raspoloživi za praktičnu primjenu. Kontrola razine vode provodi se regulatorima razine vode (engleski je naziv "sheck-structure" ili "cross-regulator"), čija je funkcija održavanje projektirane razine vode pri svakom protoku.

Regulatori protoka, kao npr. jednostavna zapornica (ustava), nisu točni za mjerenje protoka. Iz iskustva je poznato da su odnosi između otvora zapornice, uzvodne razine vode i pripadnog protoka previše komplicirani za dnevno upravljanje vodom. Zato su razvijeni posebni mjerni objekti, kao što su specijalne vrste zapornica, vodomjeri i slično.

3.1.3. Dodjela natapne vode

3.1.3.1. Postojeće definicije načina dodjele vode

Danas u svijetu ne postoji jedinstvena klasifikacija načina dodjele natapne vode. Iz pregleda se klasifikacija vidi sva složenost pitanja dodjele vode krajnjim korisnicima ili klasifikacije metode pogona glavnog sustava za natapanje.

Prva poznata klasifikacija o načinu dodjele vode korisnicima - farmerima u SAD-u potječe iz 1910. godine (Newel, 1916, citirano Ankum, 1993.):

1. kontinuirana dodjela: dodjela kontinuiranog protoka kroz cijelu sezonu natapanja

2. dodjela na zahtjev: sustav za taj način dodjele vode temelji se na traženju susjednih farmera da im se dodjeli sva voda u kratkome vremenskom razdoblju

3. rotacija: plan dodjele vode u rotaciji temelji se na shemi po kojoj svaki farmer prima svoj udio vode koji je unaprijed određen.

Klasifikacije načina dodjele vode, koje su danas u upotrebi, temelje se na načinima utvrđenima 1910. godine. Tako Kraatz i Mahajan (1975.) predlažu klasifikaciju dodjele vode farmerima u: a) kontinuirano, b) na zahtjev i c) u rotaciji. Doorenbos i Pruitt (1977.) koriste se istom klasifikacijom za metode pogona sustava za opskrbu. Sagardoy et all. (1982.) koriste se navedenim grupama za klasifikaciju metoda distribucije vode u shemama natapanja većima od 1000 ha:

a) na zahtjev: voda je na raspolaganju korisnicima u svako vrijeme

b) poluzahjev: voda je na raspolaganju korisnicima nekoliko dana nakon njihova traženja

c) rotacija po kanalima i slobodan zahtjev: sekundarni kanali primaju vodu po turnusu, kada kanal ima vodu, korisnik uzima potrebnu količinu vode

d) rotacijski sustav: sekundarni kanali primaju vodu u turnusima (po slijedu), a korisnici se koriste tom vodom po unaprijed određenom redoslijedu

e) kontinuiran protok: za vrijeme sezone natapanja korisnici primaju male, ali kontinuirane količine vode, koje pokrivaju dnevnu evapostranspiraciju biljaka.

Sljedeća klasifikacija prema World Bank (1986.) daje četiri načina dodjele vode: 1) kontinuirano; 2) na zahtjev; 3) fiksirana rotacija s konstantnim protokom i 4) promjenjiva rotacija s promjenjivim protokom i/ili promjenjivim vremenima.

Dalji primjer, Burt i Plusquellec (1990.) klasificiraju dodjelu vode u četiri grupe i šest podgrupa.

Iz navedenoga se može zaključiti da još ne postoji podudarnost u terminologiji upravljanja vodom u glavnom sustavu za natapanje. Uobičajeni termini za načine dodjele vode: kontinuirano, u rotaciji i na zahtjev vrijede za natapanje u tercijarnom sustavu, tj. na razini farne - korisnika.

3.1.3.2. Metode pogona glavnog sustava

Iz podjele sustava za natapanje na glavni sustav i na tercijarni podsustav vidi se da je tercijarni vodozahvat spona ovih dvaju dijelova sustava, da je taj vodozahvat "srce" sheme natapanja. Zato je potrebno specificirati metode pogona glavnog sustava na temelju zahtjeva i potreba tercijarnog vodozahvata. Metode pogona glavnog sustava moraju zadovoljiti tako postavljene zahtjeve.

Pri tome se može razlikovati pogon s maksimalnim potrebama ("peak") od pogona s protokom manjim od maksimalnoga ("off-peak" sezona). Pogon je za vrijeme maksimalnih potreba jednostavan, kanali se upotrebljavaju s najvećim projektiranim protokom. U ostalom dijelu pogon nije tako jednostavan, potrebe su

za vodom manje ili vode nedostaje. Taj dio sezone određuje način pogona glavnog sustava.

Dodjela vode tercijarnoj jedinici ovisi o sljedećim parametrima:

- veličina tercijarne jedinice
- potrebe za vodom jedinice za razdoblje natapanja
- politika ili način dodjele vode (u rotaciji, kontinuirano ili na zahtjev)
- način pogona jedinice za vrijeme maksimalne potrošnje

Potrebne operacije pogona glavnog sustava određuju, dakle, tri parametra:

1. način dodjele vode tercijarnom podsustavu
2. raspored dodjele vode tercijarnoj jedinici
3. metode distribucije vode kroz glavni sustav.

3.1.3.2.1. Način dodjele vode tercijarnom podsustavu

Donosilac odluke o načinu dodjele vode može biti organizacija za natapanje temeljem saznanja o potrebama usjeva za vodom ili na temelju raspoložive količine vode. Taj se naziv u literaturi i praksi naziva dodjela po rotaciji. Moguća je primjena i kontinuirane dodjele. To je, dakle, određena ili zadana dodjela vode.

Dalje, organizacija za natapanje može odlučivati o dodjeli vode tercijarnoj jedinici temeljem prethodnih zahtjeva korisnika. Taj je način poznat pod nazivom dodjela na zahtjev ili poluzahjev, tj. dogovoreni način dodjele.

a) Dodjela u rotaciji ili kontinuirana dodjela

To je najraširenija tehnika dodjele vode. Normalno je način kontrole protoka u glavnom sustavu uzvodna kontrola. Regulator protoka i često vodomjerni uređaj potrebni su za tu vrstu kontrolnog sustava. Nizvodna je kontrola teorijski moguća, ali se normalno ne primjenjuje pri tom načinu dodjele. Plan pogona mora biti izrađen prije početka sezone natapanja i korisnici moraju biti upoznati s planom da bi mogli obaviti prethodne pripreme.

Prednosti tog načina dodjele vode jesu:

- nema potrebe ni za komunikacijskim sustavom ni za centrom za upravljanje sustavom; plan je dodjele vode poznat operaterima zapornica na početku sezone natapanja;

- učinkovitost je natapanja u tercijarnoj jedinici visoka;
- sustav je kontrole u glavnom sustavu jednostavan i jeftin;
- potrebno tehničko znanje osoblja može biti nisko jer su i zadaci jednostavni;
- učinkovitost je otpreme vode u glavnom sustavu vrlo visoka.

Nedostaci tog načina dodjele vode jesu:

- sustav je nefleksibilan sa stajališta korisnika;

- učinkovitost je korištenja oborina niska jer se pojava oborina ne može predvidjeti;

- opća je učinkovitost sustava niska pri uzgoju usjeva koji traže fleksibilnu količinu vode (kada želimo postići maksimalan prirod po jedinici površine).

b) Dodjela na poluzahjev

U tom načinu dodjele vode korisnici unaprijed postavljaju zahtjeve za vodom. Poznati se protok osigurava u glavnom sustavu. Način je sličan kao i na zahtjev, s tom razlikom da u dodjeli na poluzahjev postoji vremenski pomak ("lag time") između zahtjeva i dodjele. Normalno je način kontrole protoka uzvodna kontrola. nizvodna kontrola nema "lag time" između zahtjeva i isporuke pa zato ona odgovara dodjeli na zahtjev. Moguća je, naravno, i primjena sustava nizvodne kontrole ako ima manje vode u sustavu od potreba. Kod uzvodne kontrole organizacija za natapanje odlučuje o frekvenciji upravljanja zapornicama. To je obično jedanput tjedno ili jedanput u dva tjedna.

Kod nizvodnoga kontrolnog sustava sve se događa na samoregulirajući način. Taj način dodjele vode zahtijeva česte komunikacije između organizacije za natapanje i korisnika. Potrebno je također dnevno upravljanje sustavom. Teorijski, potrebe biljaka za vodom smanjuju se za vrijeme oborina. Zato se potrebe korisnika smanjuju za vrijeme ili poslije značajnih oborina.

Prednosti tog načina dodjele jesu:

- sustav je fleksibilan sa stajališta korisnika, zahtjev za većom količinom vode može se ispuniti;

- srednja je učinkovitost korištenja oborina;

- sustav je prilagodljiv ako su potrebe veće od raspoložive količine vode;

- problem se nanosa učinkovito rješava za vrijeme malih zahtjeva za vodom;

- opća je učinkovitost sustava srednja.

Nedostaci su:

- nužna je dobra komunikacija između korisnika i organizacije za natapanje;

- potreban je centar za upravljanje vodama u glavnom sustavu;

- učinkovitost je otpreme vode u glavnom sustavu niska;

- postavljanje zapornica u nove položaje može izazvati probleme;

- potrebni su objekti za reguliranje protoka i razine vode te vodomjeri;

- potreban je znatan broj osoblja, sa srednjim tehničkim znanjem, jer su zadaci brojni.

c) Dodjela na zahtjev

Dodjela je vode na zahtjev najpovoljnija za korisnika jer se voda dodjeljuje tercijarnoj jedinici kada je potrebna. Tercijarni se vodozahvati reguliraju u svako vrijeme (fleksibilnost u učestalosti), upušta se mali ili maksimalni protok (fleksibilnost u količini često do gornje granice) i vrijeme je uzimanja vode po želji (fleksibilnost u trajanju). Sustav dodjele vode na zahtjev jest sustav s automatskim odgovorom na potrebe korisnika. Dakle, kontrola u glavnom sustavu mora biti na principu samoregulirajućeg načina, kao što je nizvodna kontrola protoka i razine vode.

Prednosti tog načina jesu:

- najfleksibilniji sustav sa stajališta korisnika;

- nema potrebe za komunikacijskim sustavom ni za centrom za upravljanje vodama u glavnom sustavu;
 - učinkovitost otpreme voda u glavnom sustavu doseže i 100% kada se primjenjuje kontrola;
 - korištenje je oborina visoko.
- Nedostaci mogu biti:
- visoki investicijski troškovi za samoregulirajuće uređaje;
 - sustav ima nedostataka ako je raspoloživa količina vode manja od potrebne količine;
 - problem nanosa (ako ga ima u rijeci na kojoj je vodozahvat) susreće se u vlažnoj sezoni.

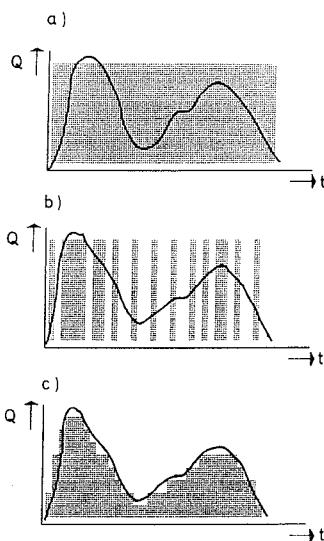
3.1.3.2.2. Raspored dodjele vode tercijarnom podsustavu

Za natapanje tercijarnog podsustava može se primjenjivati različit raspored dodjele vode:

a) fiksirani proporcionalni protok tj. kontinuirani protok u određenoj veličini iz glavnog sustava; potreban je proporcionalan vodozahvat za izuzimanje fiksiranog protoka iz glavnog sustava;

b) Prekinuti protok tj. povremena dodjela maksimalnog protoka pomoću tercijarne zapornice otvoreno/zatvoreno ("on/off");

c) promjenjiv protok, odnosno kontinuiran dotok vode promjenjive količine, što se postiže podesivim regulatorom protoka i vodomjernim uređajima na tercijarnom vodozahvatu.

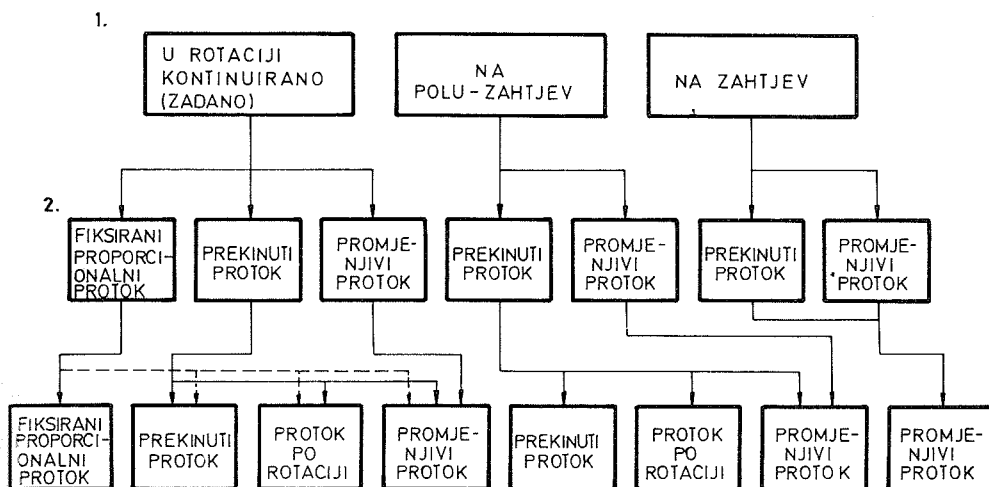


a) fiksirani proporcionalni protok; b) prekinuti protok; c) promjenjivi protok

Slika 31-1 Raspored dodjela vode tercijarnoj jedinici

3.1.3.2.3. Metode distribucije vode u glavnom sustavu

Distribucija vode u glavnom sustavu slijedi podjelu kao pri rasporedu dodjele vode tercijarnom podsustavu. Odnos između parametara koji definiraju pogon sustava za natapanje, vidi se u shemi na slici 31-2.



1) način dodjele vode tercijarnom podsustavu; 2) raspored dodjele vode tercijarnom podsustavu; 3) metode distribucije vode kroz glavni sustav

Slika 31-2 Parametri koji definiraju pogon sustava za natapanje

Izbor načina dodjele vode i procesa donošenja odluka na tercijarnom vodozahvatu određuje i vrijeme prilagođenja rada tog zahvata, i to na sljedeći način:

a) Prilagođenje zapornice-ustave nije moguće za "fiksirani proporcionalni" protok.

b) Prilagođenje je zapornice moguće u svako vrijeme za dodjelu "na zahtjev". Posljedica je tog načina rada da se svi uzvodni objekti u glavnom sustavu za natapanje moraju prilagoditi novom stanju potražnje za vodom. Isto tako to znači da glavni sustav ima stalno promjenjiv protok, čak i u slučaju prekinutog dotoka u tercijarnom vodozahvatu.

c) Prilagođenje zapornica za dodjelu na "poluzahtjev", kada korisnici traže promjenu dodjele vode ili kada organizacija za natapanje provodi promjene, moguće je u određeno vrijeme (fiksirano), npr. ponedjeljkom.

Iz gornjeg se izlaganja vidi da svaka promjena u dodjeli vode tercijarnom podsustavu zahtijeva cijeli niz aktivnosti prije nego se ta promjena ostvari u tercijarnoj jedinici.

Upravljanje glavnim sustavom može se ostvariti na sljedeći način :

- 1) nije potrebno;
- 2) upravljanje iz centra organizacije za natapanje;
- 3) samoupravljanje sustava.

Upravljanje nije potrebno kada se zahvati ne mogu prilagođivati. To se događa kod sustava kontrole pomoću "fiksiranoga proporcionalnog protoka". Kada se vodozahvati prilagođuju u određeno vrijeme, tada centralno upravljanje obično diktira novi položaj za sve regulatore protoka u sustavu. Normalno se primjenjuje uzvodna kontrola protoka, pri kojoj se ulazni protok u sustav sistematski dijeli da bi se zadovoljile potrebe tercijarnih vodozahvata. Kada se vodozahvati mogu prilagođivati u svako vrijeme, tako da potrebno samoupravljanje sustava. To znači da hidraulički sustav sam prelazi u novo stanje ravnoteže. Obično je takav sustav automatski reguliran objektima i uređajima, kao npr. nizvodna kontrola i drugi načini. Teorijski, samoupravljanje sustava može se ostvariti i ručnom regulacijom sustava, pomoću specijalnih instrukcija operatorima zapornica, tj. promjena orijentacije s uzvodne na nizvodnu kontrolu razine vode.

3.1.4. Sustavi kontrole protoka i razina vode

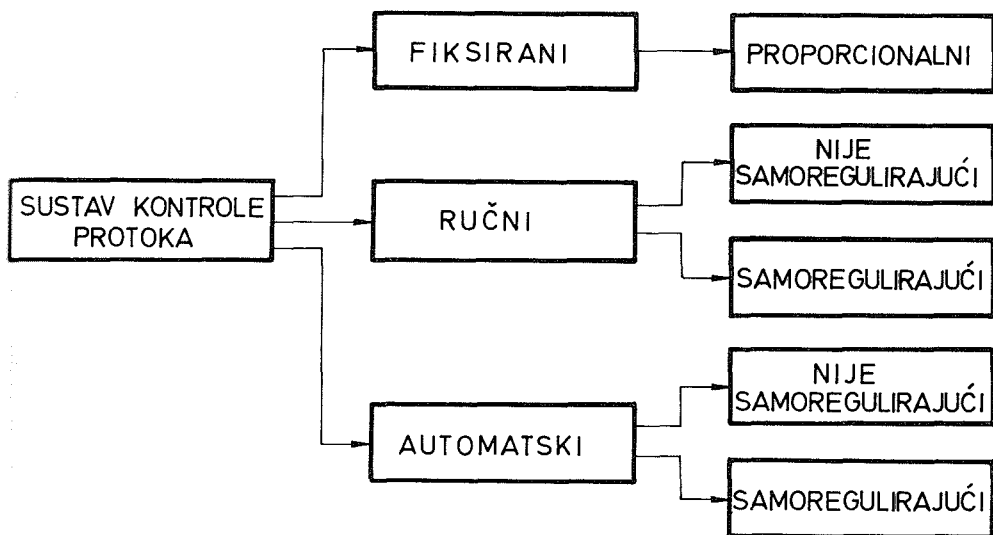
Kontrolni sustav ima funkciju regulacije natapne vode tako da se voda može učinkovito upotrebljavati za biljnu proizvodnju. Velike količine vode na glavnom vodozahvatu potrebno je podijeliti na manje dijelove, koji opskrbljuju manji dio natapne površine. Kontrolni se sustav obično sastoji od regulatora razine vode na kanalu višeg reda i od regulatora protoka u kanalu nižeg reda. Mogu se postaviti i vodomjerni uređaji.

3.1.4.1. Klasifikacija kontrolnog sustava protoka

Općenito, kontrolni se sustav može podijeliti na sustav koji nije samoregulirajući i na samoregulirajući sustav. Samoregulirajući sustav sam postiže novo ravnotežno stanje kada se promijene parametri. Kod automatskog se sustava kontrole regulatori sustava postavljaju putem hidrauličkih ili elektronskih dijelova opreme. Proporcionalni sustav nema prilagodljive regulatore te se objekti tog sustava postavljaju na fiksirani način.

Razvojem i pristupačnošću telemetrije i računala brzo rastu broj i vrste kontrolnih sustava protoka. Prijedlog klasifikacije na temelju kontrolnih parametara: orijentacija kontrole, način regulacije lokacije i parametra kontrole, prikazan je na slici 31-4.

Uzvodna je kontrola vodne razine kontrola pomoću regulatora razine, čiji se rad temelji na promjenama razine uzvodno od regulatora. Kanal, upravljan "uzvodnom kontrolom", radi na temelju planskih pokazatelja. Taj sustav može raditi pomoću ručne regulacije ili automatski.



Slika 31-3 Načini regulacije protoka

ORIJENTACIJA KONTROLE	NAČIN KONTROLE	LOKACIJA KONTROLE	PARAM. KONTR.	KONTROLNI SUSTAV Q
BEZ KONTROLE RAZINE VODE	FIKSIRANI	LOKALNA	Q	PROPORCIONALNI
UZVODNA KONTROLA RAZINE	RUČNI	LOKALNA	Q H	RUČNI, UZVODNI
	AUTOMATSKI	LOKALNA	Q H	AUTOMATSKI, UZVODNI
NIZVODNA KONTROLA RAZINE	AUTOMATSKI	LOKALNA	H	NIZVODNI, SAMOREG.
		DALJINSKA	H	BIVAL, EL - FLO, CARD, D, SAMOREG.
UZVODNA I/ILI NIZVODNA KON- TROLA RAZINE	AUTOMATSKI	CENTRALNA	Q H	DINAMIČKI, RAČUNALOM

Q = kontrola protoka; H = kontrola razine vode

Slika 31-4 Klasifikacija kontrolnih sustava

Nizvodna je kontrola razine vode kontrola kod koje se pojavljuje reakcija ustave na promjene nizvodne razine vode. Bilo koja promjena u dionici kanala prouzrokuje istovremenu kompenzacijsku akciju na uzvodnim objektima, sve do glavnog zahvata. Nizvodna je kontrola normalno automatiziran ili samoregulirajući kontrolni sustav. Tom je kontrolom moguće upravljati i ručno.

Pri ručnoj kontroli regulatori sustava kontrole postavljaju se ručno - prisustvom operatora. Primjenjiva je tako dugo dok je frekvencija postavljanja zapornice ograničena. Automatska kontrola zamjenjuje ručni rad hidrauličkim ili elektronskim komandama. Ta kontrola unapređuje osobine sustava za natapanje. Automatska se kontrola primjenjuje samo kada je funkcija automatskih kontrolnih objekata dobro poznata operatorima.

Lokalna kontrola protoka temelji se na uvjetima u kanalskom sustavu na tome mjestu. U daljinskoj se kontroli upravlja ustavama s udaljenosti. Signali sa senzora prenose se do centra, ustave se pokreću elektro-mehaničkom opremom.

U centraliziranoj se kontroli upravlja s jednog mjesta - iz centra za upravljanje. Programom za računalo upravlja se pokretanjima ustava. Senzori kontinuirano bilježe razinu vode i ostale parametre i elektro-mehanički kontrolor upravlja objektima. Primarni je cilj objekata za kontrolu protoka održavanje poznate veličine protoka za nizvodne korisnike. Ti su objekti vrlo važni za tercijarnu jedinicu za natapanje, dok za glavni distribucijski sustav vode nisu od najveće važnosti. Proporcionalna je kontrola potpuna kontrola protoka. Kontrola je protoka u uzvodnoj kontroli druga vrsta kontrole jer se razina vode na mjestu zapornica (ustave) drži konstantnom da bi se dobio konstantan protok. Nizvodna kontrola razine vode planirana je za osiguranje fleksibilnih potreba za vodom na vodozahvatima tercijarne jedinice, bez poznavanja protoka. Regulator ima funkciju održavanja konstantne vodne razine u cijelom sustavu i na svim vodozahvatima.

3.1.4.2. Izbor kriterija za kontrolni sustav

Izbor tipa kontrolnog sustava ovisi o primjenjivosti i željenoj funkciji sustava. Uz to se moraju uzeti u obzir i fizikalna, ekonomska i socijalna ograničenja u procesu selekcije. Specifičan "hardware", tj. objekti i oprema, koji će biti izabran, slijedi iz tih kriterija. Navedeni kriteriji utječu na izbor kontrolnog sustava protoka:

- Troškovi: najvažniji određujući faktor u izboru,
 - Potreba za pogonskim osobljem: svi tipovi kontrole zahtijevaju osoblje.
- Opći prikaz dan je u tablici 31-1.
- Logistička podrška: rezervni dijelovi za zamjenu moraju biti osigurani,
 - Učinkovitost,
 - Vrijeme odgovora sustava na promjene,
 - Nagib terena: pri nagnutom terenu nizvodno kontrola može biti vrlo skupa, zbog velikih zaštitnih nasipa,
 - Taloženje nanosa,
 - Električna energija za pogon automatske kontrole,

- Objekti ili uređaji za mjerenje protoka: mnogi kontrolni sustavi zahtijevaju mjerenje protoka samo na tercijarnom zahvatu, a neki i na glavnom sustavu. Mjerni objekti zahtijevaju raspoloživi hidraulički tlak.

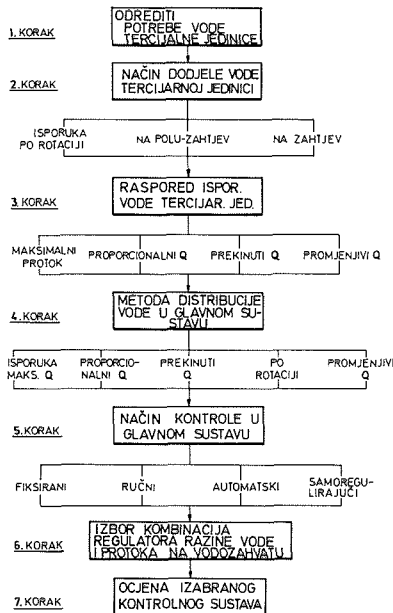
Potrebno osoblje za kontrolni sustav

Tablica 31-1

Oblik distribucije	Tip objekta	Broj osoblja	Stručna osposobljenost osoblja
Proporcionalna	Razdjelni protok	+	+
Prekinuti	"Otvorenc/zatvorene"	+++	+
Promjenjivi protok	Ustave + mjerenje protoka	++++	+++
Samoregulirajući	Hidromch. oprema	+	++++
Daljinska kontrola	Elektromch. oprema	+	+++++

- Potreba za automatizacijom.

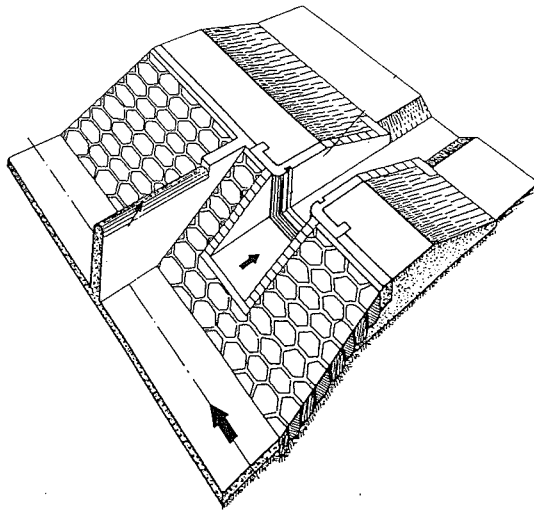
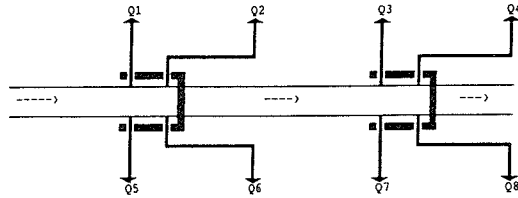
Postupak selekcije za kontrolni sustav prikazan je na slici 31-5. Počinje se, kako je ranije naglašeno, s dobro definiranim ciljem kontrolnog sustava: potrebe za vodom tercijarnog podsustava. Izabrani se kontrolni sustav na kraju ocjenjuje temeljem navedenih kriterija.



Slika 31-5 Izbor kontrolnog sustava

3.1.5. Proporcionalni kontrolni sustav

Proporcionalni kontrolni sustav dijeli i distribuira natapnu vodu u skladu s prethodno određenom i često fiksnom količinom vode. Protok je reguliran na glavnom vodozahvatu. Obično sustav radi kontinuirano s različitim protokom ili s konstantnim protokom za određeno razdoblje. Taj je sustav vrlo jednostavan za pogon. Primjenjuje se za male natapne sustave, ali se može primijeniti i za moderne natapne sustave.



Slika 31-6 Proporcionalni kontrolni sustav

Hidraulički je princip proporcionalne kontrole upotreba proporcionalnog razdjelnika vode, koji dijeli vodu na unaprijed utvrđen način, dakle prilagođivanje nije moguće. Prednost proporcionalnoga kontrolnog sustava jesu:

- Natapni sustav ili njegov dio radi bez operatora na vodozahvatu tercijarne jedinice. Jedina je regulacija potrebna na glavnom vodozahvatu. Natapni sustav radi s punim kapacitetom ili ne radi.

- Sustav ne pruža mogućnost lošeg upravljanja vodom.

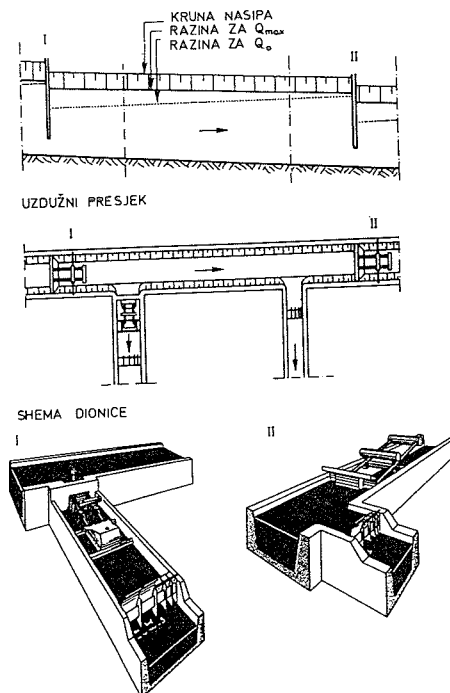
- Osigurava proporcionalnu distribuciju vode i kod ekscesa u pogledu količine vode.

- Izgradnja je jednostavna i jeftina.
- U nedostatke ubrajamo:
 - Sustav se ne može upotrebljavati za različite usjeve u raznim tercijarnim jedinicama jer se ne regulira promjenjiva količina vode.
 - Nije moguća dodjela vode u rotaciji.

3.1.6. Uzvodni kontrolni sustav

Kontrola tečenja u kojoj regulatori održavaju konstantnu uzvodnu razinu vode, naziva se uzvodna kontrola. To je najrašireniji i tradicionalan kontrolni sustav upravljanja vodom u natapnom sustavu.

Uzvodni kontrolni sustav radi na temelju unaprijed određene sheme opskrbe vodom. Dotok vode u svaku tercijarnu jedinicu mora biti poznat unaprijed. Zbrajanjem svih potreba dobije se protok na glavnom vodozahvatu sustava. Sustavi s uzvodnom kontrolom moraju operacijski biti vođeni iz organizacije za natapanje. Korisnici vode ne smiju otvarati i zatvarati tercijarne vodozahvate. Operacijski su gubici vode kod takve kontrole između 50% i 10%. Uzvodna kontrola i dodjela vode na poluzahjev zahtijeva redovnu komunikaciju korisnika i centra za upravljanje sustavom.



Slika 31-7 Uzvodni kontrolni sustav

Uzvodna kontrola određuje konstantnu razinu vode uzvodno od svakog regulatora te tako osigurava konstantan tlak na vodozahvatima u dionici. Regulator razine u kanalu višeg reda ("cross regulator") ima funkciju održavanja razine vode i ne primjenjuje se za kontrolu protoka. Iz toga slijedi da se protok u kanalu mjeri i kontrolira na početku kanala i na tercijarnim vodozahvatima.

Regulator razine vode izaziva efekt povratne vode, koji se širi do idućeg objekta. Povećani dotok popunjava taj volumen "klina" vode prije nego se uspostavi novo ravnotežno stanje na nizvodnom kraju. To uvodi u račun vrijeme reakcije sustava. Kanali s uzvodnom kontrolom dijele se na serije dionica pomoću "cross" regulatora. Razina vode u dionici varira između horizontalne površine za $Q = 0$ i nagnute vodne razine za Q_{max} . Određivanje udaljenosti između "cross" regulatora ovisi uglavnom o dopuštenoj varijaciji razine vode na vodozahvatima. Velik razmak regulatora dovodi do velikih varijacija razine i zbog toga velikih radova na iskopu kanala.

Prednosti sustava uzvodne kontrole jesu:

- Kontrolni koncept orijentiran je na dodjelu vode na zahtjev (ili poluzahtjev), gdje organizacija određuje količinu vode.

- Lako razumljiv koncept distribucije vode. Voda se distribuira u smjeru propagacije dotoka tj. od uzvodnog prema nizvodnom kraju.

- Potrebni su jednostavni objekti i zapornice za sustav kontrole.

- Ručne su operacije jednostavne.

Nedostaci su:

- Korisnici, koji su položeni uzvodnije, imaju mogućnosti uzimanja veće količine vode od nizvodnih ako dođe do nestašice vode,

- Protok se ne može regulirati "cross" regulatorom, već je potreban dodatni mjerni objekt.

- Postoji zakašnjenje u distribuciji za vrijeme povećane potrošnje.

- Postoje operacijski gubici za vrijeme smanjenja potrošnje.

- Potrebni su objekti za evakuaciju viška vode.

Natapni sustavi s uzvodnom kontrolom imaju nisku učinkovitost. Primjena automatskih regulatora razine znatno poboljšava stanje. Automatizacija se vodi "samoupravljačim" sustavom.

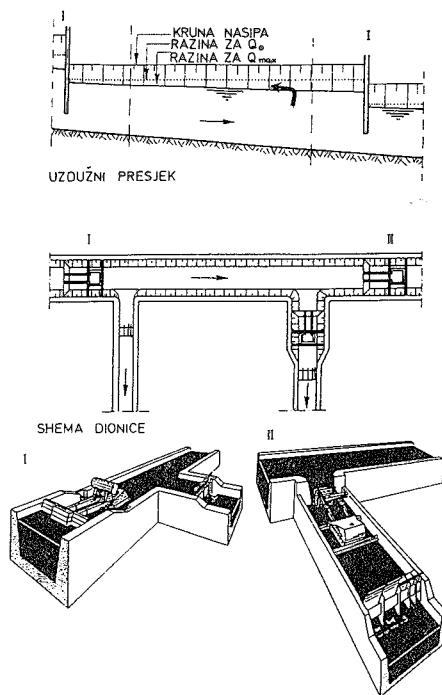
3.1.7. Nizvodni kontrolni sustav

Kod toga kontrolnog sustava regulator razine vode održava konstantnu nizvodnu razinu vode. Jednostavniji je naziv nizvodna kontrola. U tom konceptu kontrole na svakom regulatoru protok se automatski prilagođuje nizvodnoj potrebi za vodom. Nizvodna se kontrola primjenjuje u primarnim i sekundarnim kanalima, a uglavnom se ne primjenjuje u tercijarnom podsustavu. Sustav se primjenjuje za dodjelu vode tercijarnom podsustavu "na zahtjev". Postupak je opskrbe puno jednostavniji od onoga kod uzvodne kontrole jer sustav automatski odgovara promjeni potreba tercijarnih jedinica. Nizvodna kontrola zahtijeva kanale s horizontalnim nasipima između regulatora. Kapacitet kanala mora biti dovoljno

velik da bi sadržavao odgovarajući volumen vode, tj. volumen koji odgovara razini za $Q = 0$ (koja razina je viša od razine za Q_{max}). To može izazvati velike zemljane radove za veće nagibe dna kanala.

Kod nizvodne kontrole, organizacija za natapanje nema posla oko dodjele vode korisnicima (kao što ima kod uzvodne kontrole). Korisnici sami donose odluku frekvencije, obroka i trajanja natapanja.

Nizvodna je kontrola automatski i samoregulirajući kontrolni sustav, koji je u mogućnosti prenositi poruke u uzvodnom smjeru. Elektronska komunikacija nije potrebna jer se ustave podešavaju hidraulički putem toka vode ispod njih.



Slika 31-8 Nizvodni kontrolni sustav

U nizvodnoj se kontroli pojavljuje "klin" vode u dionici kanala. To je volumen vode između razine za $Q = 0$ i razine za Q_{max} . Učinak povratne vode jedne ustave širi se uzvodno do sljedećeg regulatora.

Određivanje je razmaka između regulatora u uskoj vezi s količinom zemljanih radova za kanale. Zemljani se radovi mogu reducirati ugradnjom većeg broja ustava. Minimalni razmak nije određujući faktor pri projektiranju. Razmak je za stabilnost tečenja i minimalni volumen klina vode između 1 i 3 km.

Normalno se razmak ustava određuje temeljem troškova zemljanih radova i regulatora. Prednosti nizvodnoga kontrolnog sustava jesu:

- Natapna se voda odmah dodjeljuje u potrebnom protoku.

- Nema operacijskih gubitaka vode.
- Upravljanje je sustavom jednostavno.

Nedostaci su:

- Glavna je prednost ujedno i glavni nedostatak: kako sustav ne zahtijeva monitoring i prilagođenje protoka, ostaju neutvrđeni gubici vode. Gubici mogu nastati procjeđivanjem iz kanala, ilegalnim vodozahvatima ili neautoriziranim otvaranjem vodozahvata.

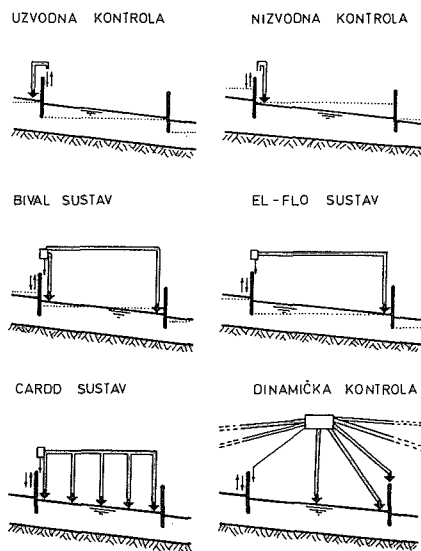
- I u razdoblju nestašice vode razina vode u kanalu održava se na razini pune opskrbe.

3.1.8. Daljinski kontrolni sustavi

3.1.8.1. Općenito

Samoregulirajući kontrolni sustavi, kao nizvodna kontrola, pružaju znatne operacijske prednosti pred tradicionalnom uzvodnom kontrolom. Međutim, transformacija je postojeće uzvodne u nizvodnu kontrolu na mnogim sustavima nemoguća. Nasipi nisu dovoljno visoki da prime vodu stagnirajuće razine vode. Zahvati vode locirani su uzvodno od regulatora, a ne nizvodno, što je potrebno kod nizvodne kontrole. Rješenje je u tim slučajevima, kao i kod većeg nagiba terena, u daljinskom kontrolnom sustavu ili skraćeno daljinskoj kontroli.

Sve kontrolne tehnike u daljinskoj kontroli koriste se mikroprocesorima za upravljanje razinom vode i izdavanje naloga za rad ustava.



Slika 31-9 Tipovi daljinskih kontrolnih sustava

3.1.8.2. Bival sustav

To je kontrolni sustav s konstantnim volumenom vode. Razina se mjeri na dva kraja dionice. Sustav je razvijen u SOGREAH-u početkom 1960-ih godina. Minimizira zemljane radove za nasipe.

3.1.8.3. El-flo sustav

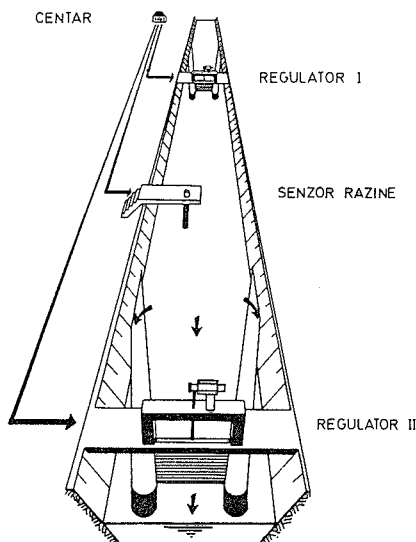
USBR, SAD je 1967. godine razvio analogni proporcionalni kontroler, koji je temelj razvoja kontrole za operacije dodjele vode na zahtjev. Senzor razine vode postavlja se u nizvodnom dijelu dionice kanala. Zadana razina vode (time i količina) održava se na lokaciji senzora putem kontrolera.

3.1.8.4. Cardd sustav

U tom se sustavu razina vode mjeri na više mjesta u dionici kanala. Naziv dolazi od prvih slova engleskih riječi za automatizaciju kanala za brzu dodjelu vode na zahtjev. Razvijen je u California Polytechnic State University 1980. godine.

3.1.8.5. Dinamički kontrolni sustav

S povećanom složenošću sustava za distribuciju vode, nedostatkom vode i velikom cijenom ljudskog rada pojavila se dinamička kontrola-automatizirana operacija uz pomoć računala. Dinamička je kontrola razvijena u Canal de Provence u Francuskoj 1970. godine. Sustav je dinamičke kontrole daljinski upravljani, kontroliran i opažani sustav, potpuno automatiziran.



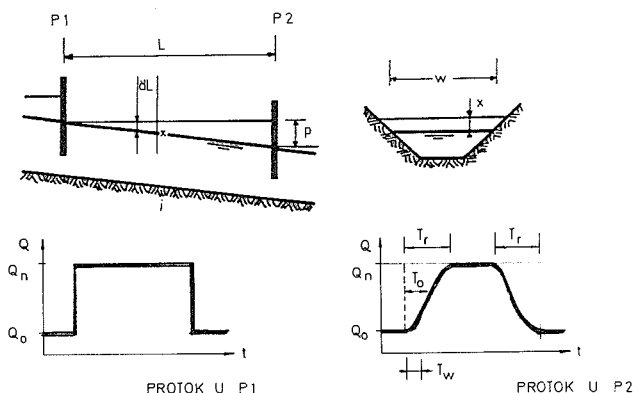
Slika 31-10 Sustav dinamičke kontrole

Primjenjuje se princip regulacije volumena kao dijela automatiziranoga upravljačkog sustava. Sustav radi po načinu dodjele "na zahtjev". Glavni elementi sustava jesu:

- objekti za kontrolu protoka
- uređaji za mjerenje: senzori razine vode, za monitoring kvalitete vode, oborine evaporacije itd.
- alarmna oprema
- rezervni izvor električne energije
- računalo za upravljanje u realnom vremenu.

3.1.9. Hidrauličke osnove metoda kontrole

Osobine metoda kontrole protoka pri promjenjivim protocima analizirat će se na temelju podataka sa slike 31-11.



Slika 31-11 Elementi zapremnine vode u dionici kanala

Pretpostavimo da se protok u presjeku P2 povećava s prethodnog protoka Q_0 na novi protok Q_n te da se kasnije mora smanjiti ponovo na veličinu Q_0 . Za dionicu kanala bez regulatora razine vode, promjene protoka u presjeku P2 kasnit će pojavljuje se vremenski učinak. Početna promjena protoka u P2 slijedi iz formula za vrijeme putovanja vala u kanalu:

$$T_v = \frac{L}{c + v_0} = \frac{L}{\sqrt{g \cdot y} + v_0} \quad (1)$$

gdje je:

- T_v = vrijeme putovanja vodnog vala u s
- c = brzina vala u m/s
- y_0 = dubina vode u kanalu pri protoku Q_0 , u m
- v_0 = brzina tečenja vode pri protoku Q_0 u m/s

- L = dužina dionice kanala između presjeka P1 i P2 u m
 g = gravitacijska konstanta, $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

To vrijeme putovanja vodnog vala određuje samo zaostatak u vremenu prije bilo kojih promjena stanja u presjeku P2. Ono ne određuje "vrijeme odgovora" (T_r) potrebno za doseganje novoga stacionarnog stanja.

Vrijeme odgovora sustava jest vrijeme potrebno da sustav prijeđe iz prethodnog stanja u željeno novo stacionarno stanje. Vrijeme odgovora dionice kanala nije jednako vremenu putovanja vodnog vala, već ovisi o popunjenosti vodnog klina između dvaju presjeka. Kada se u kanalu događa promjena protoka, dolazi do povećanja ili smanjenja volumena vode sadržane u kanalu. Taj je volumen jednak razlici volumena prethodnog i željenog stanja.

Najjednostavniji oblik volumena vode u kanalu pojavljuje se kada nema efekta povratne vode, a volumen zadržane vode ima oblik prizme. Iz elemenata na slici 31.6 dobije se:

$$V = wpl - mp^2L \quad (2)$$

gdje je:

- V = volumen vode u dionici kanala između početne i nove razine vode u m^3
 w = širina vodnog lica u željenom, novom stanju, u m
 m = gradijent nagiba pokosa kanala: $1V = mH$
 p = maksimalna promjena u razini vode u m

Normalno kanali imaju ugrađene regulatore razine vode pa gore označeni prizmatični volumen postaje "zapreminna klina". Zapreminna "klina" vode može biti negativna, i to kada razina vode raste pri povećanju protoka, kao što je u slučaju uzvodne kontrole. Zapreminna "klina" vode može biti pozitivna, što se događa kada razina vode pada pri povećanju protoka, kao u slučaju nizvodne kontrole.

Volumen pozitivne zapreminne "klina" vode iznosi:

$$V = \frac{1}{2}wpL + \frac{1}{3}mp^2L \quad (3)$$

i volumen negativne zapreminne "klina" vode iznosi:

$$V = \frac{1}{2}wpL - \frac{1}{3}mp^2L \quad (4)$$

Vrijeme odgovora T_r dionice kanala bez povratnog učinka može se procijeniti iz volumena klina vode u kanalu i razlike između protoka Q_u i Q_o . Burt (1990) pretpostavlja vrijeme T_r ne uzimajući u obzir vremena putovanja vala:

$$T_r = V / \Delta Q \quad (5)$$

Na temelju istraživanja utvrđeno je da povećanje protoka u presjeku P2 ima oblik simetričnog S oblika, pa slijedi:

$$T_r = T_o + (T_o - T_w) = 2 T_o - T_w$$

$$V = (Q_n - Q_o) T_o \quad \text{ili} \quad T_o = \frac{V}{Q_n - Q_o}$$

pa se vrijeme odgovora dionice kanala računa prema:

$$T_r = \frac{2V}{Q_n - Q_o} - T_w \quad (6)$$

gdje je:

T_r = vrijeme odgovora dionice kanala u s

T_w = vrijeme putovanja vala u s

T_o = vrijeme u kojem je srednji pomak $(1/2 Q_n + 1/2 Q_o)$ istekao iz dionice u m^3/s

U nastavku slijedi primjer rezultata proračuna: kanal dužine $L = 42000$ m; nagib dna kanala $0,4 \text{ ‰}$; kanal je obložen pa je Stricklerov koeficijent hrapavosti $k = 67$ $m^{1/3}/s$; širina dna $b = 4$ m, a nagib pokosa kanala $m = 1,5$.

Početni je protok u kanalu $Q_o = 3,4$ m^3/s i dubina vode $y_o = 0,73$ m, brzina vode je $v_o = 0,91$ m/s. Protok se povećava na $Q_n = 7,0$ m^3/s , pri čemu je dubina vode $y_n = 1,10$ m. Vrijeme je putovanja vala kroz dionicu $T_w = 3,3$ sata, a vrijeme odgovora $T_r = 13$ sati (približno).

Može se izračunati da vrijeme odgovora postaje kraće za slično povećanje protoka za približno puni profil kanala: $Q = 13,8$ m^3/s , $Q_n = 17,2$ m^3/s pa se dobije $T_r = 10$ sati (podaci proračuna prema Ankumu (b), 1993).

Operacijski gubici vode ne postoje u kanalu za vrijeme povećanja protoka jer se sva količina vode upotrijebi. Međutim, operacijski se gubici događaju kada se dionica kanala puni za vrijeme smanjenja protoka. Volumen vode jednak zapremnini klina vode tada je izgubljen. Operacijski gubici za gornji primjer, kad protok opada s $Q_n = 7,0$ m^3/s ($\Delta Q = 3,6$ m^3/s) dosežu vrijednost od 103×10^3 m^3 vode. Ako se protok smanji sa $Q_n = 17,2$ m^3/s na $Q_o = 13,8$ m^3/s ($\Delta Q = 3,4$ m^3/s) operacijski gubici iznose 72×10^3 m^3 vode.

LITERATURA

1. Ankum, P.(a): Operation Specifications of Irrigation Main Systems, 15 th Congress ICID, VOL.1-A, R11. The Hague, 1993.
2. Ankum, P.(b): Canal Storage and Flow Control Methods. 15 th Congress ICID, VO1 1-B, R51. The Hague, 1993.
3. Burt, C.M. and Plusquellec, H.L.: Water Delivery Control. In: Management of Farm Irrigation Systems. ASAE Monograph, USA, 1990.
4. Doorenbos, J. and Pruitt, W.O.: Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. FAO Irrig. and Drain. Pap. 24. Rome, 1984.
5. Gereš, D.: Objekti na distributivnom sistemu za navodnjavanje. Seminar iz hidrotehničkih melioracija, DONTH, i DGIT, Zagreb, 1989.
6. Gereš, D.: Navodnjavanje. Građevinski kalendar 1992. SGITJ, Beograd 1991.
7. Kraatz, D.B. and Mahajan, I.K.: Small Hydraulic Structures. FAO Irrigation and Drainage Paper 26. Rome, 1975.
8. Sagardoy, J.A., Bottrall, A. and Uittenbogaard, G.O.: Organization, Operation and Maintenance of Irrigation Schemes. FAO Irrig, and Drain. PAP. 40. Rome, 1986.
9. USBR: Design of Small Canal Structures, USDI, Denver, USA, 1974.
10. Ven te Chow: Open Channel Hydraulics, Mc Graw-Hill, New York, 1959.
11. World Bank: Desing and Operating Guidelines for Structured Irrigation Networks, Washington D.C. 1986.

3. GLAVNE GRAĐEVINE SUSTAVA ZA NATAPANJE

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

3.2. ZAHVATI VODA

3.2.1. Uvod

Ograničavajući uvjeti koji se odnose na kvalitetu voda dopuštenih za korištenje pri natapanju, nisu suviše strogi. Zbog toga se većina slatkih voda može upotrebljavati za natapanje bez prethodnog tretiranja.

Glavni problemi pri osiguranju voda za potrebe natapanja vezani su s činjenicom koja je u svijetu gotovo svugdje prisutna. Riječ je o tome da najčešće kulturnom bilju trebaju najveće količine voda upravo u razdoblju kad u prirodi takvih voda u području uzgoja ima najmanje ili ih uopće nema na raspolaganju. Taj se problem može riješiti na dva načina, od kojih oba imaju visoku cijenu. Prvi je dovođenje voda iz udaljenih područja, u kojima u vegetacijskom razdoblju ima obilje voda. Drugi je skladištenje voda u području uzgoja prvenstveno u umjetnim rezervoarima najrazličitijih izvedbi i dimanzija. Rezervoari kod toga mogu biti površinski, ali i podzemni.

Kako se zadatak ovog dijela priručnika odnosi na tehničke detalje zahvata voda, izlaganje će započeti podjelom zahvata na:

1. Zahvate površinskih voda,
2. Zahvate podzemnih voda,
3. Specijalne zahvate.

Zahvati površinskih voda mogu se podijeliti na:

- 1.1. Zahvate riječnih voda,
- 1.2. Zahvate izvorskih voda,
- 1.3. Zahvate voda iz prirodnih i umjetnih jezera.

Zahvati podzemnih voda mogu se podijeliti na:

- 2.1. Zahvate izvorskih voda,
- 2.2. Zahvate aluvijalnih podzemnih voda,
- 2.3. Zahvate iz klasičnih vodonosnika,
- 2.4. Zahvate dubokih podzemnih voda.

U skupinu specijalnih zahvata spadaju:

- 3.1. Zahvati voda od topljenja snijega,

3.2. Zahvati oborinskih voda,

3.3. Zahvati ponovo upotrebljenih vodonosnika.

Čitatelj će odmah zapaziti da su zahvati izvorskih voda smješteni i u skupinu zahvata površinskih, ali i podzemnih voda. Jedina je i osnovna razlika u načinu zahvata vode. Ako je predviđen samo gravitacijski zahvat izvorskih voda koje prirodno izlaze na površinu, tada taj postupak često nazivamo kaptadžom izvorskih voda i smještamo ga u zahvate površinskih voda. Ako se pak crpenjem ili na neki drugi način dobavljaju dodatne količine podzemnih voda, koje inače pripadaju slivu izvora, tada se taj način zahvata izvorskih voda smješta pod zahvate podzemnih voda. Takva vrsta zahvata može biti uvjetovana činjenicom da u sušnom razdoblju izvor daje nedovoljne količine voda za potrebe natapanja ili čak presuši. Tada se crpenjem podzemnih voda koje pripadaju njegovu slivu (ili na drugi način), zadire u statičke rezerve čime mu se umjetno povećava izdašnost. Kod takve vrste zahvata treba biti vrlo oprezan da se bitno ne poremeti hidrološko-hidrogeološka bilanca voda kaptiranog izvora te da se ne izazovu dugoročne i negativne posljedice, za što ima brojnih primjera kod nas, ali i u svijetu. Takve se situacije nazivaju rudarenje podzemnih voda (overpumping).

Već sama podjela zahvata u tri glavne skupine i detaljnije podpodjele ukazuju na brojnost i raznolikost zahvata. Gotovo se može reći da je svaki zahvat potpuno individualan. Na njegov oblik i dimenzije primaran utjecaj imaju sljedeća četiri čimbenika:

1. Morfologija terena na kojem se zahvat gradi;
2. Geološke, geomehaničke i ostale (pedološke, vegetacijske itd.) karakteristike mjesta zahvata;
3. Količina voda koje dotječu ili su locirane na mjestu zahvata, tj. njihova promjenjivost u vremenu;
4. Minimalne i maksimalne količine voda koje se moraju distribuirati od zahvata do mjesta potrošnje.

Osim četiriju navedenih čimbenika postoje još brojni drugi, ne znatno manje važni, a spadaju u skupinu ekonomskih, estetskih, socijalnih itd. Pri tome se nerijetko zaboravlja hidrološki aspekt problema dimenzioniranja zahvata voda. To se obično čini u najboljoj namjeri sa željom da se potrošačima osiguraju velike količine vode. Međutim varijabilnost količina voda u vremenu u prirodi ne prati naše dobre namjere. Zbog toga se može desiti da se izvedu skupi i neefikasni zahvati, koji s punim kapacitetom mogu funkcionirati mnogo kraće razdoblje od onoga koje mu je projektant namijenio, najčešće u razdoblju kada voda ima, ali one nisu potrebne kulturnom bilju.

Prilikom projektiranja zahvata maksimalno treba poštivati ekonomske aspekte, ali i graditeljsku tradiciju pojedine regije. Ta je tradicija vrlo često vezana s postojećim građevinskim materijalima, razinom tehnološkog razvoja i civilizacije kao i običajima života i rada mjesnog stanovništva.

Na kraju uvodnog izlaganja treba istaknuti da će se u nastavku opisati samo neki zahvati, koji su nam se činili značajniji od brojnih drugih. Iako u takvom izboru postoji određena objektivnost, nije moguće izbjeći i subjektivne procjene. Ovime se

željelo istaknuti da osim prijedloga zahvata iznesenih ovdje, zasigurno postoje i drugi, jednako vrijedni ili čak i vredniji. U tom se smislu projektantima ne samo ostavlja sloboda već se preporučuje i korištenje drugom literaturom te tuđim iskustvima. Čitatelj će ujedno ustanoviti da su neke vrste zahvata brojnije zastupljene i detaljnije opisane od drugih. Razlozi su prvenstveno u procjeni današnje učestalosti njihove upotrebe, što ne znači da u bliskoj budućnosti neće u tom smislu doći do značajnijih promjena. Osobno smatram da će danas relativno malobrojni specijalni zahvati navedeni pod rednim brojevima 3.2. i 3.3. u našima, posebno južnim i primorskim krajevima, biti sve češće u upotrebi, razumljivo za natapanje malih poljoprivrednih površina kakve tamo jedino i postoje.

3.2.2. Zahvati površinskih voda

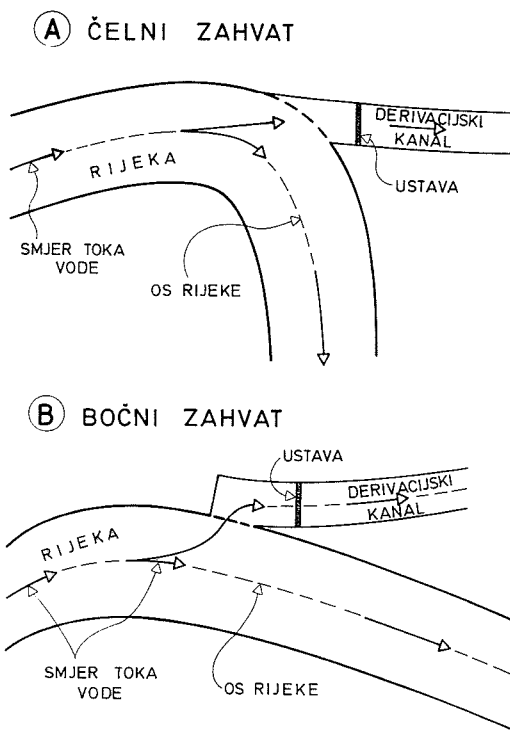
3.2.2.1. Zahvati riječnih voda

Zahvati voda u rijekama predstavljaju građevine čiji je zadatak propuštanje ili odvođenje svih voda ili dijela riječnih voda u kanale za natapanje. Općenito se takvi kanali nazivaju derivacijski. Njihova primjena uobičajena je na većim ili srednjim vodotocima koji su bogati vodom u razdoblju kad je ona nužna za potrebe natapanja kulturnog bilja. Osim za zahvate riječnih voda za potrebe natapanja, one mogu služiti i za rasterećenje glavnog toka tijekom prolaska valova velikih voda. Dijele se na sljedeće tri vrste:

1. Izravni zahvati ili zahvati bez pregrada,
2. Zahvati s pregradom,
3. Zahvati s crpnom postajom na rijeci.

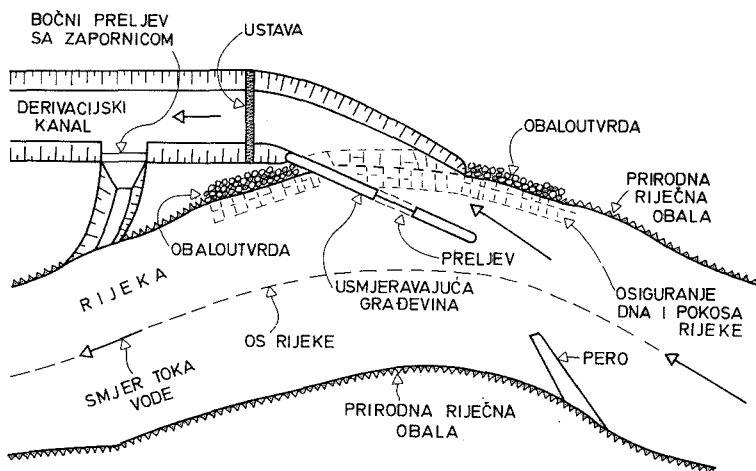
Izravni zahvat

Ta se vrsta zahvata gradi usklađeno s razinama korita i vodnog lica glavnoga riječnog toka. Pretežno se primjenjuje za zahvat vode iz vodotoka s velikim padovima i s dosta izravnatim protokom. Osnovna joj je prednost u manjoj cijeni izvedbe. Nerijetko se takvi zahvati nazivaju i gravitacijskima jer se voda zahvaća uglavnom primjenom njene potencijalne energije u odnosu prema melioracijskom području u koje se odvodi. Postoje i određene, relativno česte smetnje koje se javljaju kod te vrste zahvata. Prva se odnosi na smanjenje protoka i spuštanje razine vode u beskišnom razdoblju koje se najčešće poklapa s vegetacijskim razdobljem. To može izazvati djelomičan ili potpun prekid prihranjivanja derivacijskog kanala vodom. Druga je, relativno česta pojava, promjenjivost aluvijalnog dna riječnog korita tijekom vremena. U tom se slučaju radovima održavanja moraju izravnati razine riječnog dna i derivacijskog kanala na mjestu zahvata kako bi se osiguralo njegovo stalno funkcioniranje.



Sl. 32-1 Dvije osnovne vrste izravnih zahvata

Položaj zahvata, u odnosu prema rijeci, mora biti izabran tako da su na donjem položaju prostorne ili visinske varijacije rijeke najmanje vjerojatne. Dakle, mora se naći stabilna dionica riječnog toka, a uz to se izgradnjom zahvata ne smije narušiti njenu stabilnost. Na slici 32-1 shematski je prikazan čelni i bočni direktan zahvat. Čelni zahvat (slika 32-1A) moguće je smjestiti na konkavnim obalama rijeke i na počecima riječnih zavoja dok se bočni zahvati mogu projektirati i graditi na bilo kojem mjestu riječnog toka. Da bi se osigurao stalan dotok vode iz rijeke u zahvat, vrlo je često potrebno izvesti određene regulacijske građevine kao što je prikazano na slici 32-2. Na njoj se nalaze i pero na suprotnoj obali i usmjeravajuća građevina na obali rijeke gdje se nalazi zahvat. U pojedinim situacijama treba odlučiti da li je prijeko potrebna izgradnja obje građevine, samo jedne od njih ili možda nijedna nije potrebna. Na slici 32-2 ukazano je na moguću potrebu za zaštitom obale, dna i pokosa rijeke na mjestu i u blizini zahvata. Dimenzije potrebne zaštite stvar su posebne analize svakog lokaliteta. Jednako je s projektiranjem preljeva na usmjeravajućoj građevini i u derivacijskom kanalu. Zavisno o hidrološkim karakteristikama rijeke i potrebnim količinama zahvaćene vode, preljevi će biti nužni ili će se možda i izbjeći.

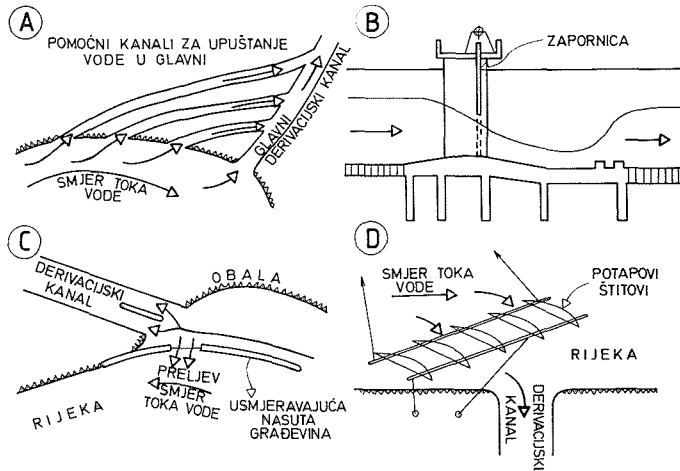


Sl. 32-2 Neke građevine nužne pri projektiranju zahvata riječnih voda

Osnovni problem čelnih zahvata predstavlja činjenica da se preko njih nekontrolirano unosi i vučeni i suspendirani nanos u derivacijski kanal, a time dalje i u cijeli melioracijski sustav. Taj je problem na nekim rijekama vrlo ozbiljnih razmjera te se stoga mora barem pokušati riješiti u nizvodnom dijelu derivacijskog kanala ili melioracijskog sustava. Činjenica je da je pojava veće ili manje količine nanosa neizbježna, što ukazuje na nužnost stalnog održavanja melioracijskog sustava, prvenstveno s aspekta zaštite od zamuljivanja. Bočni su direktni zahvati nešto povoljniji od čelnih jer je kod njih uglavnom spriječen direktan ulaz vučenog nanosa u melioracijski sustav. Međutim, može se desiti da se taj nanos taloži nešto nizvodnije, čime će započeti znatnije promjene u riječnom toku, što može izazvati probleme u funkcioniranju zahvata. Svi se objekti moraju projektirati tako da se osigura nesmetani pronos vučenog nanosa riječnim tokom što dalje od mjesta zahvata.

U vezi s problemom nanosa, ali i sa drugim neizbježnim elementima koji se javljaju pri projektiranju izravnih zahvata voda, moguće su vrlo različite vrste tehničkih rješenja. U nastavku se navodi sljedećih pet vrsta uz napomenu da su moguća i druga rješenja, ali i kombinacije navedenih, nazovimo ih, osnovnih rješenja:

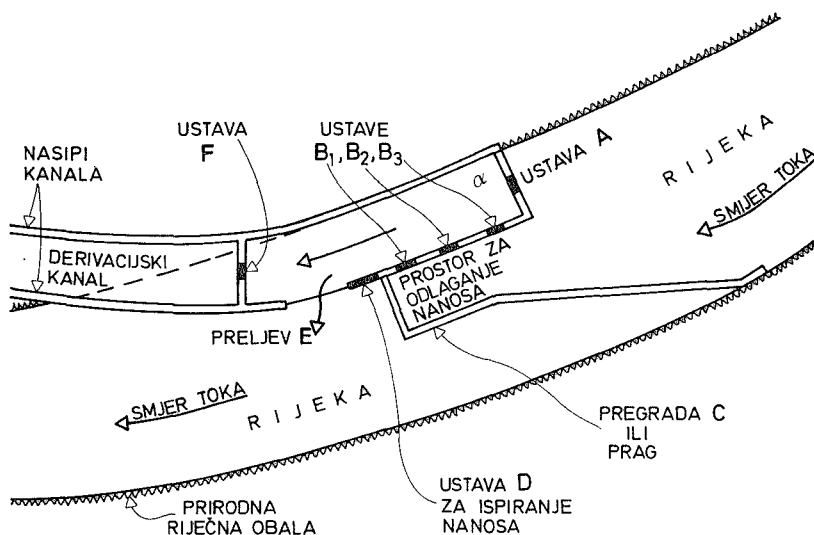
1. Postojanje jednoga glavnoga derivacijskog kanala,
2. Višestruko puštanje voda u glavni derivacijski kanal (slika 32-3A),
3. Izgradnja građevine otvorena tipa na čelu derivacijskog kanala (slika 32-3B),
4. Izgradnja usmjeravajuće stabilne zemljane građevine (slika 32-3C),
5. Izgradnja sekundarnih montažnih usmjeravajućih građevina (slika 32-3D).



Sl. 32-3 Tehnička rješenja zahvatnih građevina

Na slici 32-3 shematski su prikazana prethodno opisana tehnička rješenja, prvenstveno izravnih zahvata, iako se ona mogu kombinirati i s izvođenjem pregrada. Višestruko upuštanje vode u glavni derivacijski kanal (slika 32-3A) primjenjuje se obično na rijekama koje nose mnogo nanosa. Izgradnja građevine koja može regulirati ulaznu količinu protoka u derivacijski kanal (slika 32-3B), često se primjenjuje u praksi. Na taj se način proces akumuliranja vode u uzvodnom dijelu riječnog toka te njegovo kontrolirano upuštanje u nizvodni dio toka može držati pod kontrolom. To je naročito važno u vegetacijskom, obično sušnom razdoblju. Izgradnja usmjeravajuće nasute građevine (slika 32-3C), osim pri usmjeravanju toka vode u zahvat, ima ulogu i zadržavanja vučenog nanosa u glavnom riječnom toku. Izgradnja sekundarnih montažnih usmjeravajućih građevina, kao što su Potapovi štitovi (slika 32-3D) ili Wolfove lese ili neki drugi objekti, ima prednost zato što se obično radi o jeftinijim građevinama koje se mogu ukloniti u razdoblju velikih voda ili kad zahvat nije u funkciji.

Na slici 32-4 ucrtan je shematski primjer izravnoga čelnog zahvata transformiranoga u lateralni zahvat. Ulaz vode u derivacijski kanal reguliran je čelnim zahvatom, na kojemu je ustava A, i ustavama položenima bočno B₁, B₂ i B₃. Pregrada C usmjerava vode rijeke k derivacijskom kanalu. Sa slike 32-4 moguće je uočiti postojanje prostora na kojemu se odlaže pretežno vučeni nanos. Taj prostor potrebno je povremeno čistiti od nataložena nanosa. Prostor zatvoren ustavama A, B₁, B₂, B₃ i F te preljevom E označen je grčkim slovom α . Preljev E služi za propuštanje velikih voda. Njegova uloga i dimenzije stvar su hidrološke analize. Na ulazu u sam derivacijski kanal predviđa se postavljanje ustave F za regulirano upuštanje potrebnih količina vode u sustav za natapanje. Razumljivo je da svaki pojedini slučaj traži individualna rješenja.



Sl. 32-4 Shema izravnog čelnog zahvata transformiranog u lateralni zahvat

U svrhu osiguranja prihranjivanja zahvata vodom u bujičnima nestabilnim vodotocima, korito se stabilizira izgradnjom praga, tj. niske pregrade do visine srednje vode. Ta pregrada ujedno podiže i razinu vode u sušnom razdoblju, čime omogućuje stabilnije prihranjivanje vodom derivacijskog kanala i melioracijskog područja.

Na slici 32-5 dani su situacija i presjek Ottakal preljeva, izvedenoga za potrebe natapanja na rijeci Kellada u Indiji. Radi se o objektu značajnih dimenzija 120 m širine i dvadesetak metara visine. Voda se usporava samo oko 4 m pri niskim protocima. Postoje dva derivacijska kanala s maksimalnim kapacitetom zahvata voda od 39 m³/s (desni) i 22 m³/s (lijevi). Taj tip zahvatne građevine predstavlja prijelaz između izravnog zahvata ili zahvata bez pregrade i zahvata s pregradom, o kojima će se u nastavku govoriti.

Zahvati s pregradom

Takvi zahvati nazivaju se još i zahvatima pomoću brana odnosno ustava. Češće se primjenjuju od direktnih zahvata zbog sljedećih nepobitnih prednosti:

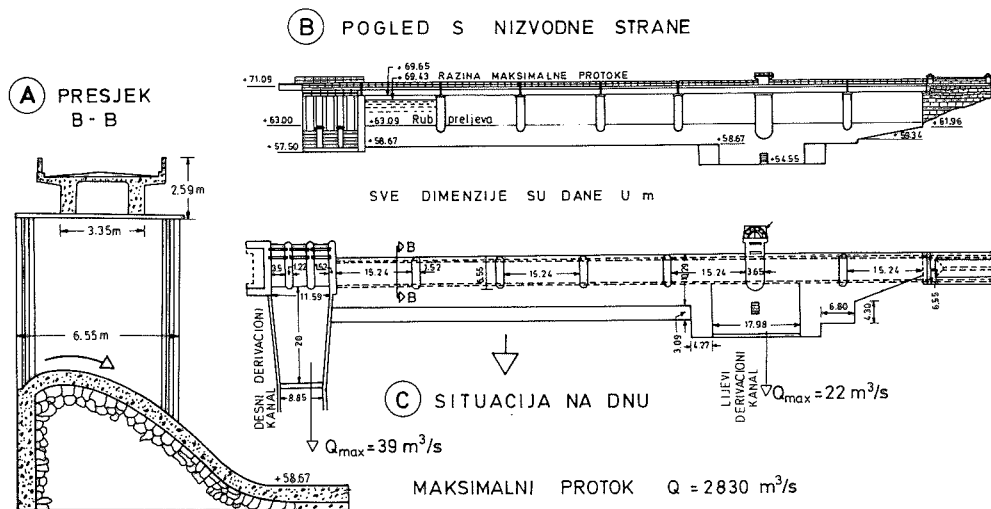
1. Razina se vode u uzvodnom dijelu rijeke podiže, čime se omogućuje gravitacijsko odvođenje vode do područja koja treba natapati.

2. Razinu vode na zahvatu moguće je zadržati manje-više na konstantnoj visini, posebno tijekom sušnoga vegetacijskog razdoblja.

3. Akumulacija vode uzvodno od pregrade omogućuje regulirano ispuštanje potrebnih količina vode u derivacijski kanal. Te količine mogu biti veće od trenutnog protoka rijeke, koja može i presušiti, što je naročito važno u sušnom vegetacijskom razdoblju, kada je natapanje prvenstveno i prijeko potrebno.

S obzirom na vrstu pregrade postoji sljedeća klasifikacija:

1. Stabilne pregrade, koje trajno zaustavljaju vode;



Sl. 32-5 Presjek B-B (A), pogled s nizvodne strane (B) te situacija na dnu Ottakal preljeva za natapanje na rijeci Kallada (Indija)

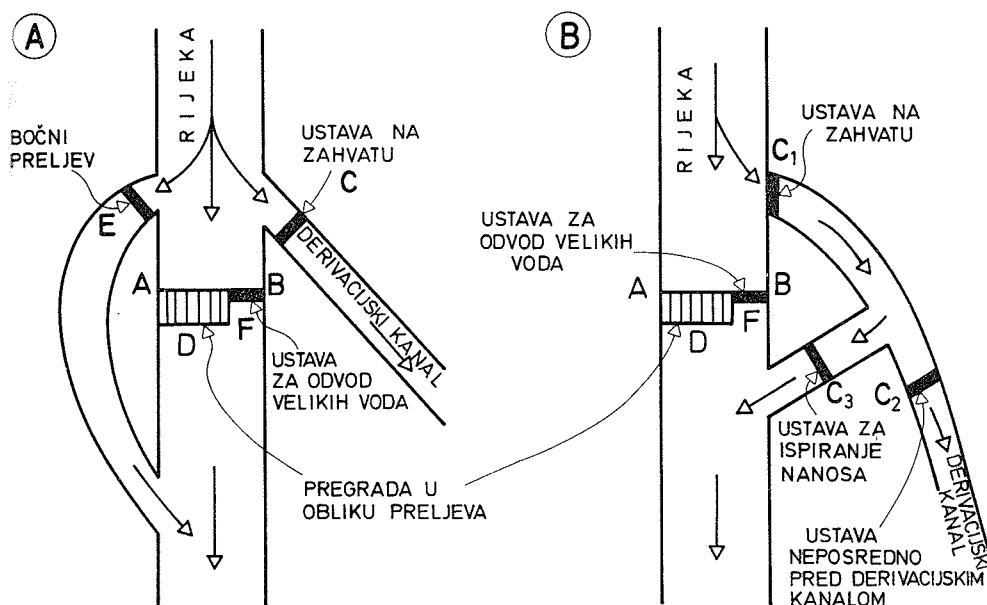
2. Pokretne pregrade, koje se uklanjaju u trenucima prolaska valova velikih voda u svrhu njihova propuštanja;

3. Kombinirane ili polupokretne pregrade, koje se sastoje od stabilnog dijela, tj. praga izdignutog u odnosu prema dnu riječnog korita i pokretnom dijelu koji se može ukloniti prilikom prolaska valova velikih voda.

Prilikom izgradnje bilo koje pregrade na riječnom toku treba voditi računa o tome da se njenom izgradnjom i funkcioniranjem ne djeluje štetno na uzvodne ili nizvodne korisnike voda ili objekte vezane s rijekom na bilo koji način.

Na slici 32-6A nacrtana je opća shema zahvata s pregradom izgrađenoga na rijeci, a koji je označen slovima AB. Dio riječne vode ulazi u derivacijski kanal preko ustave C. Preostale količine vode mogu se evakuirati na sljedeća tri načina:

1. Preko same pregrade D izvedene u obliku preljeva;
2. Preko bočnog preljeva E;
3. Preko ustave F, koja služi za evakuaciju velikih voda.



Sl. 32-6 Dvije opće sheme zahvata riječnih voda s pregradom

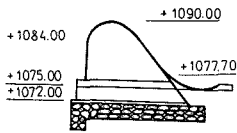
Na slici 32-6B dana je nešto izmijenjena varijanta zahvata s pregradama AB izgrađenoga na rijeci. Ta donekle odgovara shemi prikazanoj na slici 32-4. Sa slovom C_1 označena je ustava na zahvatu, dok je sa slovom C_2 označena ustava neposredno pred derivacijskim kanalom. Slovo C_3 označuje ustavu za ispiranje nanosa koji se skuplja u prostoru α zatvorenom ustavama C_1 , C_2 i C_3 .

Na slikama 32-7, 32-8 i 32-9 dani su presjeci i situacije triju izvedenih pregrada za potrebe natapanja na trima velikim rijekama u Indiji. Sva tri objekta izvedena su i u funkciji su. Za zahvate koji se izvode u Indiji gotovo je karakteristično da je derivacijski kanal okomit na riječni tok. Treba ipak istaknuti da postoje i brojna drugačija riješenja. Na slici 32-9 moguće je uočiti još jednu relativno čestu karakteristiku zahvata u Indiji. S grčkim slovom α označeni su prostori za odlaganje nanosa, smješteni neposredno pred zahvatom prije ulaza u derivacijske kanale. Te prostore treba dosta često (više puta godišnje, uglavnom poslije prolaska svake velike vode) čistiti.

Osim prethodno spomenutih zahvata s pregradom u praksi je do danas izveden ogroman broj različitih vrsta prilagođenih lokalnim hidrološkim, morfološkim i psamološkim uvjetima. Značajna razlika postoji između zahvata na bujičnim, planinskim tokovima i ravničarskim rijekama, te na onim tokovima koji nose obilje nanosa ili onima koji teku bez nanosa.

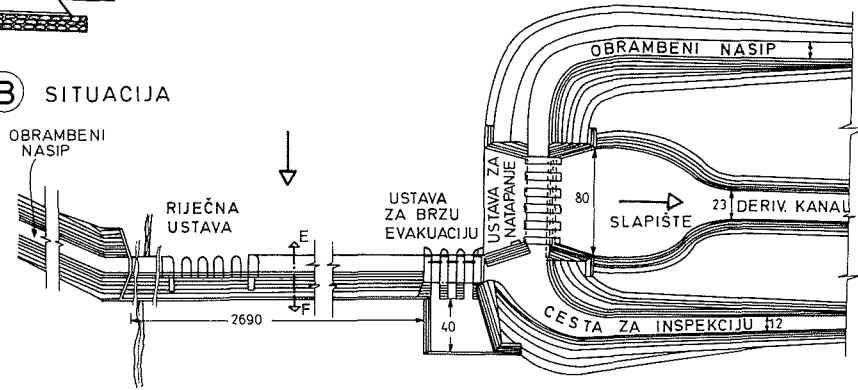
3. GLAVNE GRAĐEVINE SUSTAVA ZA NATAPANJE

(A) PRESJEK E-F



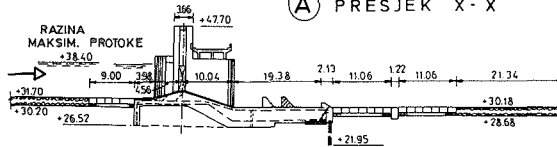
SVE DIMENZIJE SU DANE U m
 SREDNJA GODIŠNJA OBORINA U SLIVU $P=1051$ mm
 POVRŠINA SLIVA $A=35320$ km²
 MAKSIMALNI PROTOK $Q=21240$ m³/s

(B) SITUACIJA



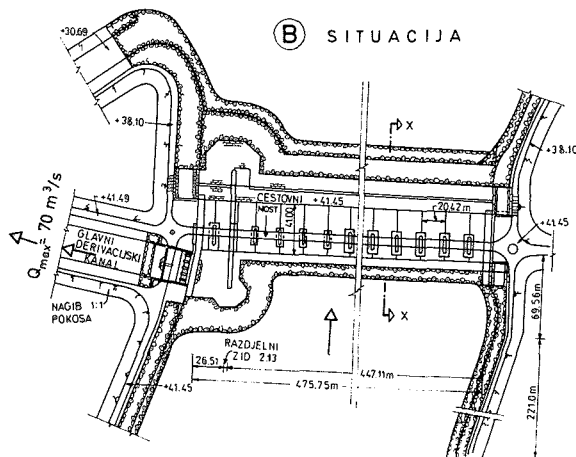
Sl. 32-7 Presjek (A) i situacija (B) pregrade za natapanje Rajolibunda na rijeci Tungabhadra (Indija)

(A) PRESJEK X-X



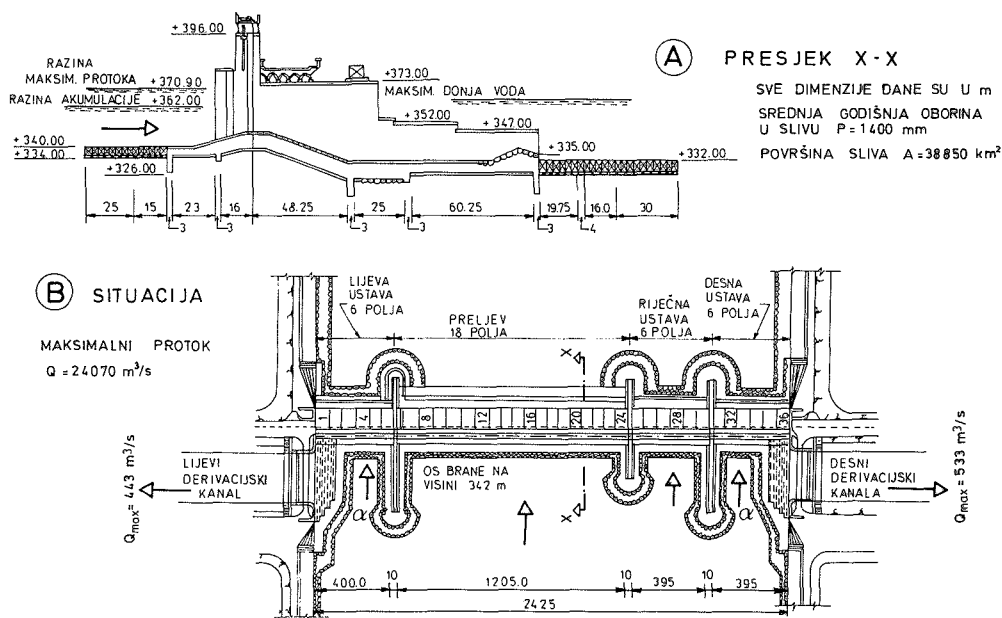
SVE DIMENZIJE DANE SU U m
 SREDNJA GODIŠNJA OBORINA U SLIVU $P=1803$ mm
 POVRŠINA SLIVA $A=9731$ km²
 MAKSIMALNI PROTOK $Q=8213$ m³/s

(B) SITUACIJA



Sl. 32-8 Presjek (A) i situacija (B) Gotta pregrade za natapanje Vamsadhara (Indija)

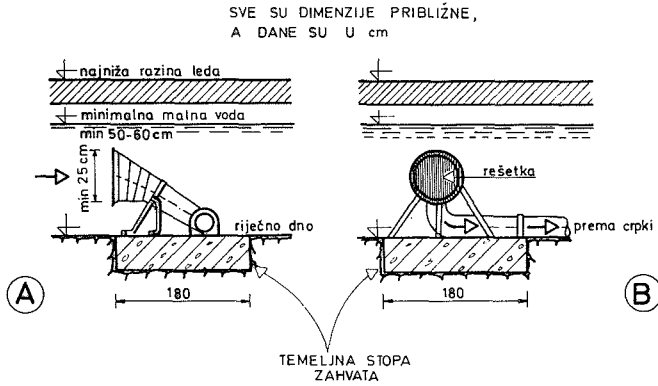
3. GLAVNE GRAĐEVINE SUSTAVA ZA NATAPANJE



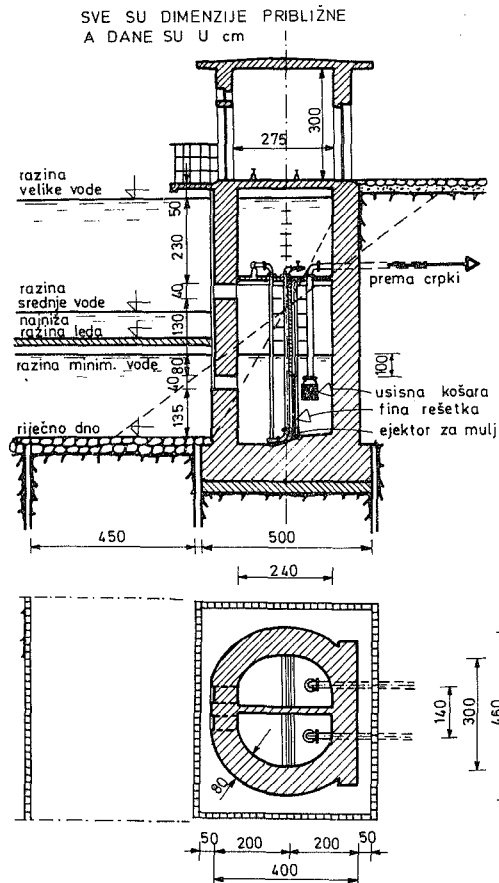
Sl. 32-9 Presjek (A) i situacija (B) pregrade za natapanje na rijeci Gandak (Indija)

Zahvati s crpnom postajom na rijeci

Kada je usporavanje i podizanje razine vode u rijeci ili nemoguće ili vrlo skupo, moguće je graditi crpnu postaju na rijeci ili uz nju. Zahvate vode za crpne postaje moguće je postaviti ili direktno uz riječni tok, ako je on stabilan u dnu i pokosima te ako ima dovoljnu dubinu vode u razdoblju minimalnih vodostaja. Na slici 32-10 prikazan je najjednostavniji slučaj, koji obično služi kao privremeno rješenje. Radi se o nezaštićenom zahvatu riječnih voda. Na slici 32-11 prikazan je zahvat voda na riječnoj obali zaštićenog tipa. Taj zahvat očito ima namjenu trajnijeg djelovanja.

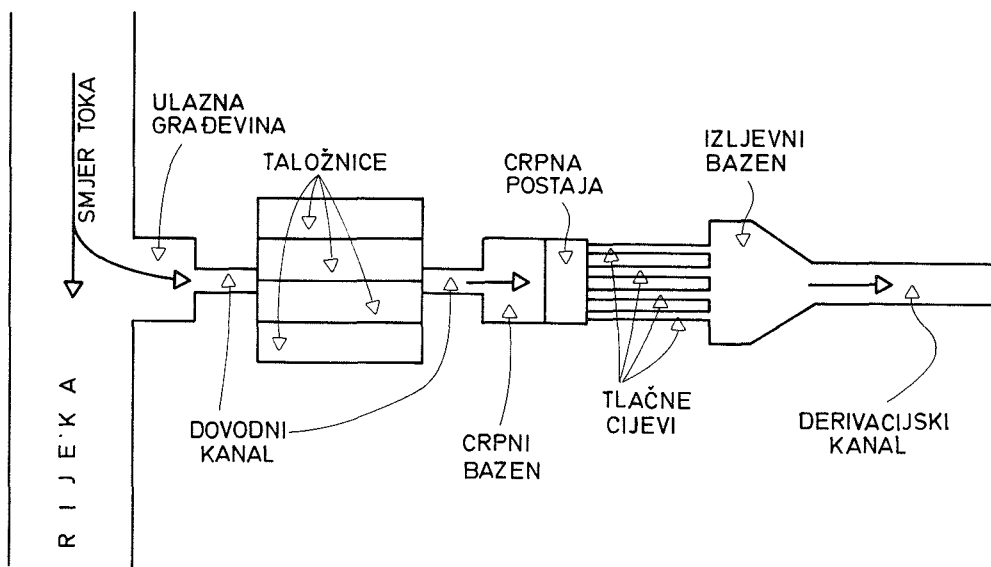


Sl. 32-10 Nezaštićeni zahvat riječne vode



Sl. 32-11 Zaštićeni zahvat na riječnoj obali

Na slici 32-12 ucrtana je shema svih potencijalnih objekata i građevina koje se mogu izvesti u vezi sa zahvatom vode crpnom postajom na rijeci. Ovisno o hidrološkima, morfološkim i psamološkima lokalnim uvjetima, neki od objekata može biti izostavljen.

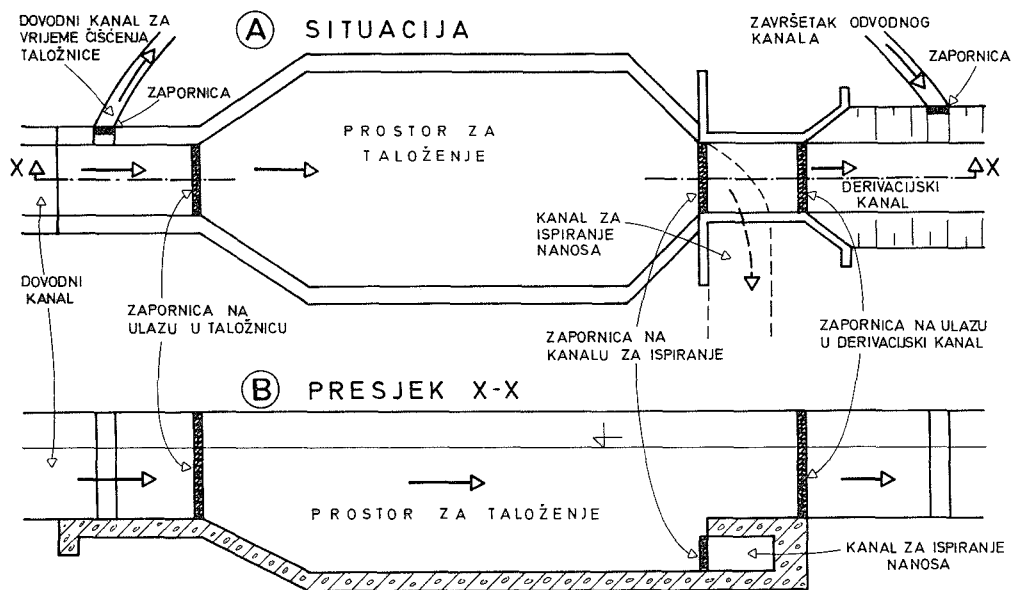


Sl. 32-12 Shema potencijalnih objekata uz zahvat voda s crpnom postajom na rijeci

Taložnice

Ovisno o količini i režimu vučenog i suspendiranog nanosa koji pronosi riječni tok, potrebno ga je manje ili više eliminirati i onemogućiti njegov ulaz u glavni derivacijski kanal. To se postiže brojnim građevinama, od kojih su neke prethodno prikazane. Za eliminaciju nanosa sitnije granulometrijske strukture, koji se u većini situacija kreću kao suspendirani, najefikasnije je graditi taložnice na pogodnim mjestima ispred zahvata voda. U nastavku će se opisati najjednostavnija taložnica s jednom komorom. Pri tome se neće ulaziti u hidrauličku problematiku kao što se nije u nju ulazilo niti kod opisa uspora ustava itd. Željelo bi se samo istaknuti da to predstavlja vrlo ozbiljan problem, čije se rješavanje mora prepustiti stručnjacima školovanima za takve zadatke.

Na slici 32-13 dani su situacija i presjek kroz taložnicu s jednom komorom. Treba istaknuti i to da se taložnicama nikako ne želi isključiti sav nanos iz daljnjeg procesa transporta. Štoviše, nužno je da određena količina sitnih frakcija nanosa bude propuštena nizvodno u derivacijski kanal, a zatim i u sustav koji se natapa. Razlog je tome dvojak. Prvi leži u činjenici da voda oslobođena nanosa ima veliku erozijsku snagu, što se vrlo negativno može odraziti na stabilnost dna i pokosa kanala za natapanje. Drugi je razlog što u finim frakcijama nanosa ima hranjivih organskih i anorganskih materija, bitnih za razvoj kulturnog bilja.



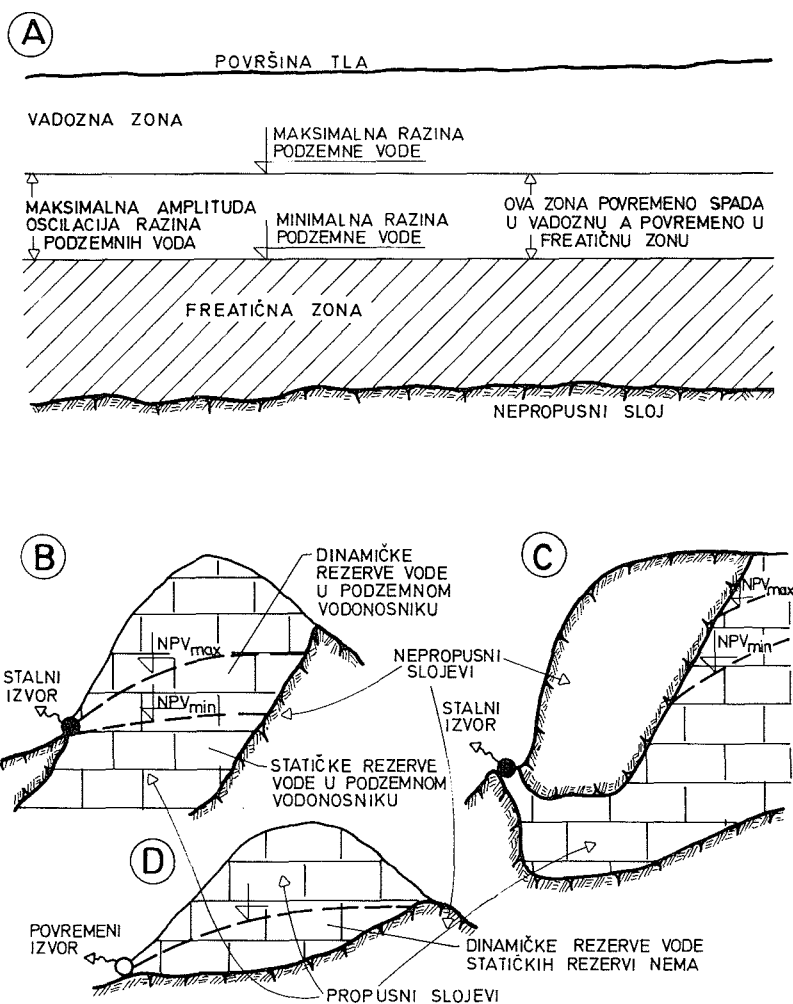
Sl. 32-13 Taložnica s jednom komorom

Taložnice se najčešće konstruiraju tako da se nanos ispire hidraulički, tj. jakim mlazevima vode. Razlikuju se taložnice s periodičkim i stalnim ispiranjem. Ovisno o količini vode koja se upušta u derivacijski kanal, potrebno je projektirati taložnice s većim brojem komora, tzv. mnogostruke taložnice. Uobičajeno je da broj komora nije veći od pet.

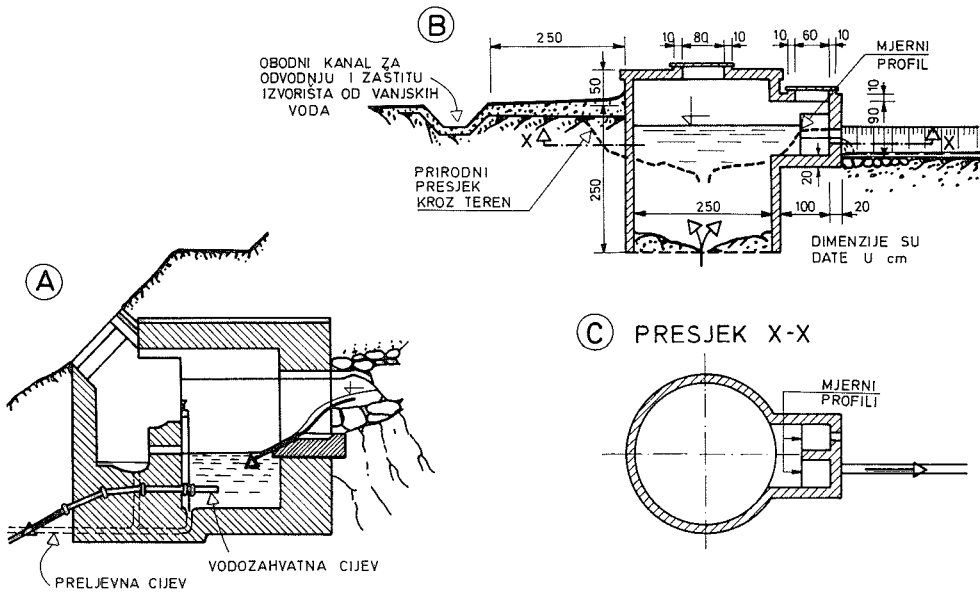
3.2.2.2. Zahvati izvorskih voda

Već je u uvodnom dijelu objašnjena razlika pojmova zahvata izvorskih voda u okviru zahvata površinskih voda u odnosu prema zahvatima izvorskih voda u okviru zahvata podzemnih voda. Na slici 32-14 ta je problematika i grafički ilustrirana. Na slici 32-14A opisani su pojmovi vadozne i freatične zone, dok je na slikama 32-14B, C i D dan odnos između karakteristika izvora (stalni i povremeni) te dinamičkih i statičkih rezervi vode u prirodnome podzemnom vodonosniku. Ako voda izvire na površinu koncentrirano u jednom ili više značajnih tokova, tada ih je

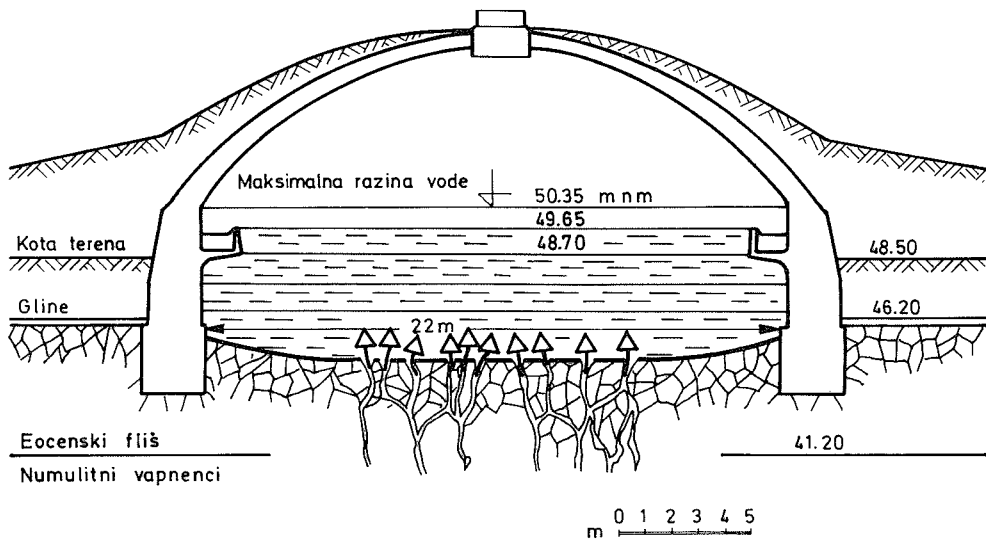
moгуće kaptirati (zahvatiti vodu koja iz njih istječe) u okviru zahvata površinskih voda kako je to prikazano na slikama 32-15A, B i C. Dok slika 32-15A prikazuje jedan opći zahvat izvorskih voda, koji se pojavljuje na površini, slike 32-15B i C odnose se na izvor Leugny u Francuskoj. Na slici 32-16 dana je kaptaža izvora Sv.Ivan u Istri. Radi se o kaptiranju jezerskog tipa kraškog izvora dosta čestog u kršu Hrvatske. U takve izvore moguće je uroniti usisnu košaru i nad izvorom sagraditi crpnu postaju, kako je to na pr. uobičajeno na izvorima Bulaž i Gradole u Istri.



Sl. 32-14 Objašnjenja vezana uz karakteristike izvora i njihovu vezu s podzemnim vodonosnikom



Sl. 32-15 Dva tipa zahvata izvorskih voda u okviru zahvata površinskih voda



Sl. 32-16 Kaptaza izvora Sv. Ivan u Istri

Pri zahvatu voda izvora nužno je dobro izučiti njihove hidrološke karakteristike, koje mogu biti snažan ograničavajući faktor u odnosu prema podobnosti izvora za potrebe natapanja. Jedan je od osnovnih hidroloških parametara koji se za tu svrhu mora izučiti, odnos između maksimalnog i minimalnog protoka. Ako je taj odnos malen (manji od 10), može se općenito reći da je hidrološki režim konstantan te je izvor povoljan za zahvate, razumljivo ako raspolaže s dovoljnom količinom vode nužne za natapanje. Sljedeća je hidrološka karakteristika, koju treba detaljno izučiti, raspored i vjerojatnost pojave količina voda tijekom godine, a osobito u vegetacijskom razdoblju.

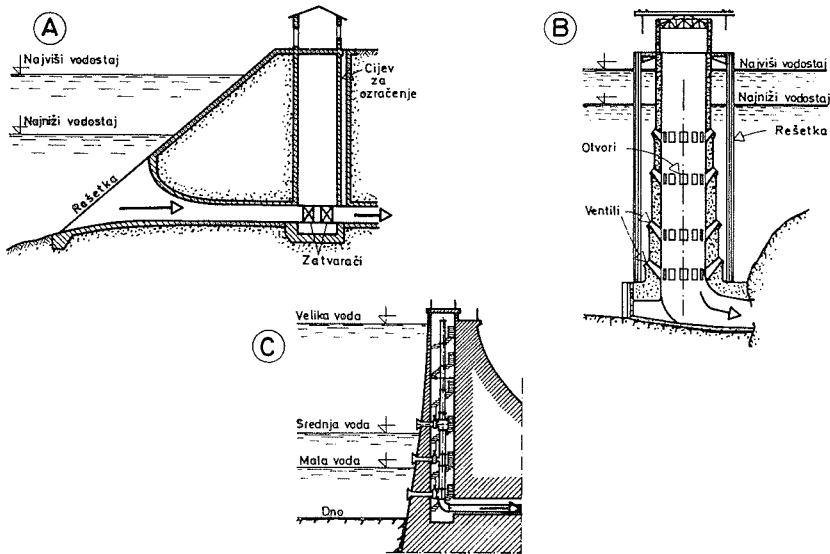
3.2.2.3. Zahvati voda iz prirodnih i umjetnih jezera

Bitnih razlika u zahvatima voda iz prirodnih ili umjetnih jezera u suštini nema. Općenito gledajući, zahvate iz umjetnih jezera moguće je tehnički lakše projektirati i izvesti u fazi dok voda nije potopila dolinu predviđenu za akumulaciju. Moguće je dakle rad u suhome, što je vrlo rijetko ostvarivo pri izvođenju zahvata u prirodnim jezerima.

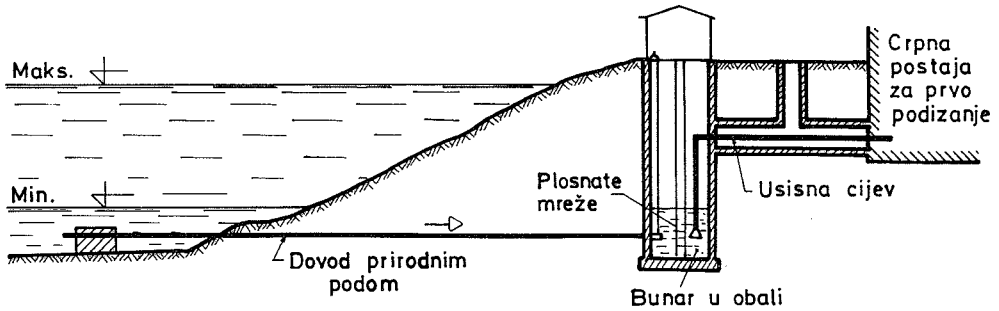
Najveća je specifičnost, a ujedno i najveći problem pri projektiranju zahvata voda u jezerima, amplituda kolebanja vode. Ako je ona mala i ako su dubine jezera nevelike (do reda veličine 5 m), moguće je primijeniti neki od zahvata prethodno opisanih u podpoglavlju 3.2.2.1. Zahvati riječnih voda. Ako su amplitude kolebanja i dubine jezera velike (znatno veće od 10 m), potrebna je izgradnja specifičnih vodozahvata prilagođenih navedenim uvjetima. Otvori na tim zahvatima opskrbljeni su raznim vrstama zatvarača kako bi se voda mogla regulirano upuštati u sustav za natapanje. Smješteni su ili u tijelu brane, kod umjetnih jezera (slika 32-17C), ili na obali, kod prirodnih jezera (32-17A) ili u posebnoj tornju (slika 32-17B). Zahvati moraju omogućiti distribuciju vode u melioracijski sustav iz raznih dubina. Razlog tome nisu samo velika kolebanja razine vode, već i termička stratifikacija slojeva vode u dubokim jezerima. Natapanje s previše hladnom ili previše toplom vodom može izazvati vrlo negativne posljedice na razvoj kulturnog bilja. Zbog toga se za natapanje mora (ako je to moguće) upotrebljavati voda iz onog sloja jezera čija temperatura najviše odgovara etapi razvoja u kojoj se nalazi biljka.

Poslije ulaznih zatvarača glavna dovodna građevina može biti nastavljena kao tunel ili cijev pod tlakom ili sa slobodnim vodnim licem, što ovisi o potrebnim količinama vode u određenoj fazi natapanja.

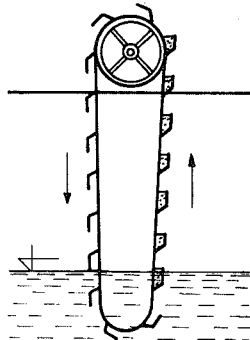
Na slici 32-18 prikazan je gravitacijski tip zahvata vode s crpnom postajom. O samim crpnim postajama neće se u nastavku govoriti jer se smatra da one nisu specifične kada se iznosi problematika zahvata vode. One se, bez dvojbe, uvijek mogu upotrijebiti kada to terenski uvjeti zahtijevaju te kada to financijske i energetske prilike mogu dopustiti.



Sl. 32-17 Zahvati voda u prirodnim i umjetnim jezerima



Sl. 32-18 Zahvat vode s crpnom postajom



Sl. 32-19 Zahvat vode lančanicom

Za potrebe zahvata manjih količina voda iz bilo kojih vrsta izvora (rijeka, jezera ili bunara itd.), često se primjenjuju relativno jednostavni uređaji, kao što je lančanica prikazana na slici 32-19. Osim nje nerijetko se upotrebljavaju vodena kola na životinjski pogon ili dolapi (mlinska kola) na vodeni pogon ili korištenjem nekog energenta.

3.2.3. Zahvati podzemnih voda

S obzirom na položaj i na mogućnost dobavljanja, podzemne vode moguće je podijeliti u sljedeće četiri skupine:

1. Izvori koji nemaju jedan (ili više) koncentriranih izlaza nego se formiraju kao dispergirani tokovi u širem području kao rezultat promjenjive razine podzemne vode u njihovu zaleđu. U kršu ti izvori, iako slični onima u granuliranim sredinama, imaju neke specifičnosti.

2. Vode u aluvijalnim riječnim dolinama akumulirane u riječnom nanosu koje je formirao vodni tok. Smjer kretanja podzemne vode obično je ondje paralelan sa smjerom kretanja vode u rijeci ili je od njeza vrlo blago otklonjen.

3. Klasični vodonosnici podzemnih voda formirani infiltracijom oborina i skupljeni iznad nepropusnog sloja u nekom propusnom sloju. Podzemna voda u njima može biti sa slobodnim vodnim licem, ali i pod tlakom ako se u dijelu vodonosnika nalazi stisnuta s dva nepropusna sloja.

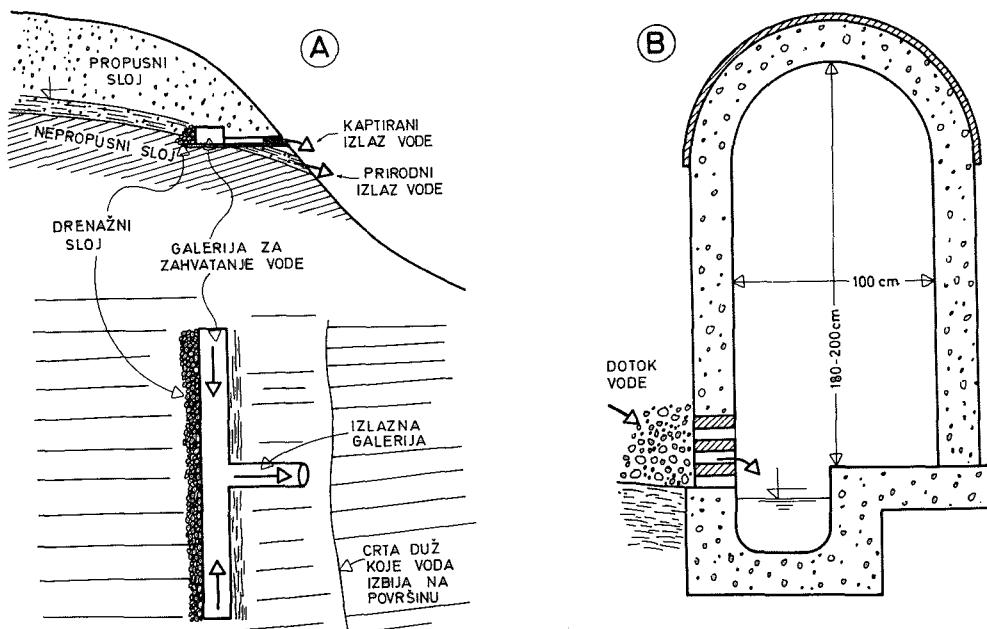
4. Duboke podzemne vode.

3.2.3.1. Zahvati izvorskih voda

Ta vrsta izvora naziva se u stranoj literaturi izranjajućim izvorima, a prihranjuju se iz freatične zone vodonosnika. Da bi se zahvatile značajnije količine vode, potrebno je u brdskom masivu u propusnom sloju na kontaktu s nepropusnim slojem izgraditi relativno duge galerije za zahvat vode. Na slici 32-20 shematski su prikazani zahvat izvora s galerijom i presjek kroz revizijsku galeriju. Iz samog se prikaza vidi da se u biti ne radi o kaptazi izvora, već o zahvatu podzemne vode.

Pojedinim tehničkim zahvatima moguće je povećati obilnost svih, a posebno krških izvora time da se sa zahvatom vode uđe u statičke rezerve podzemnih voda. Tri različita slučaja prikazana su na slici 32-21. Na slici 32-21A prikazano je povećanje obilnosti izvora probojem natege na izvoru Radobolja u Bosni i Hercegovini. Na slici 32-21B prikazana je mogućnost povećanja akumuliranja voda u podzemlju krša. Postavljanjem betonskog čepa u položaj 1 na izvoru Obod stvoreno je klizište i odron kosine iznad izvora. Stoga je bolje postavljati čep u položaj 2 kako bi se izbjegle štete, a bitno se ne smanjuju novo formirane rezerve podzemnih voda. Na slici 32-21C prikazana je još jedna mogućnost povećanja kapaciteta izvora. Ovog puta kaptazom pomoću bunara i crpke. Na taj način kaptiran je izvor Lez kod Montpelliera u Francuskoj. Protok mu je u razdoblju minimalnih voda povećan od 400 l/s, u prirodnom stanju, na maksimalno 1700 l/s uz lociranje crpke 35 m ispod razine prelijevanja izvora. Na slici 32-22A prikazan je zahvat vode iz statičkih rezervi na krškom izvoru Biele Vody u Češkoj. Na slici

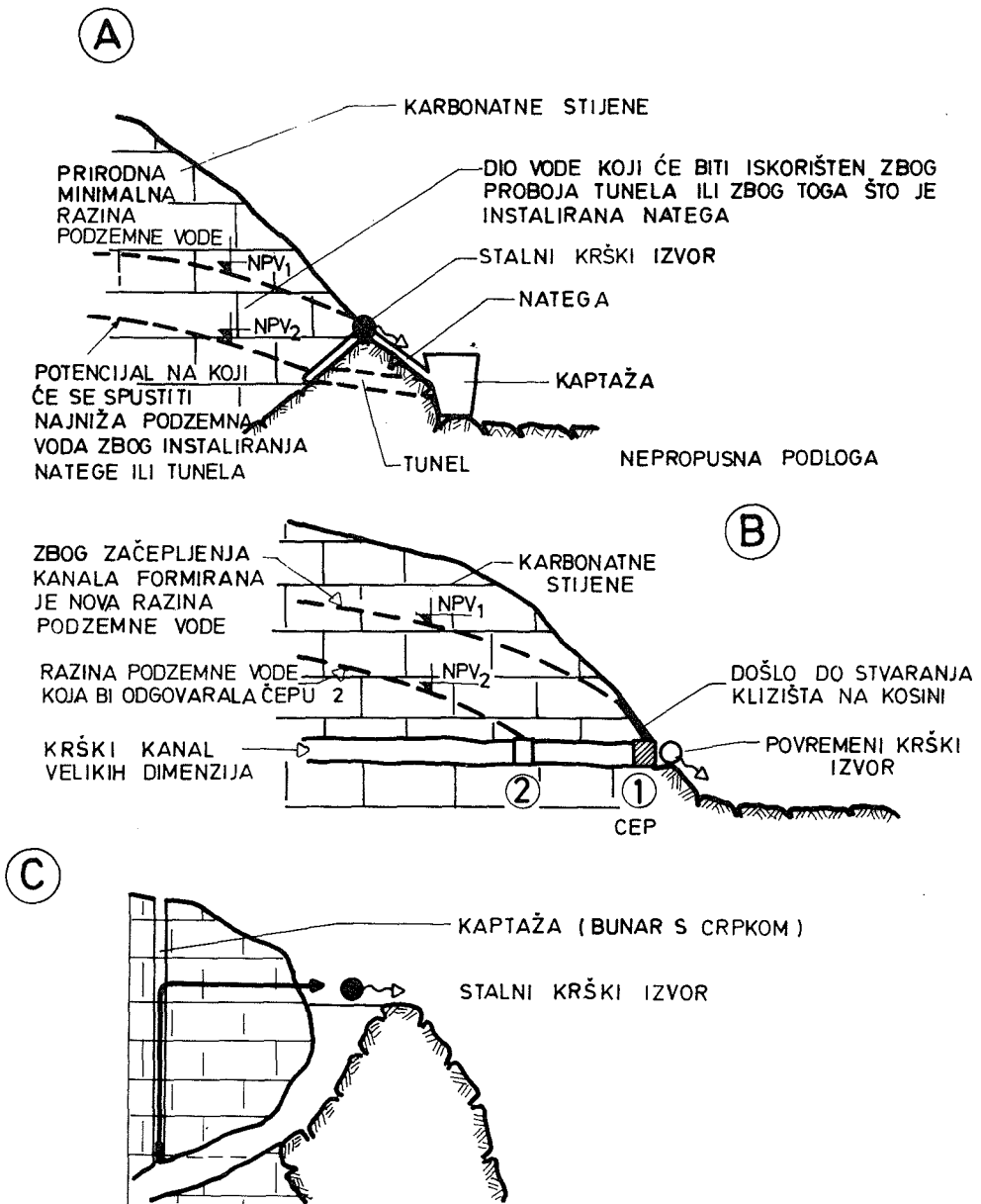
32-22B prikazana je razlika hidrograma prirodnog izvora 1 i novog izvora 2, koja je značajna i iznosi 17 l/s ili čak 40% više od prirodnog stanja. Prethodno navedeni podaci sami za sebe dovoljno govore o dimenzijama statičkih rezervi podzemnih voda u kršu i o mogućnosti i potrebi njihova korištenja budući da su u prirodnom stanju te vode praktično neiskorištene. U vezi s postupcima kaptiranja voda u kršu crpenjem iz bunara treba istaknuti da se bunari tu jedino hrane iz sporo dotječujućih rezervi podzemnih voda jer se tečenje u cijevnom sustavu krša odvija vrlo brzo, pa se voda tu prekratko zadržava da bi se na nju moglo računati prilikom iskorištavanja za dugotrajno, pouzdano i racionalno snabdijevanje.



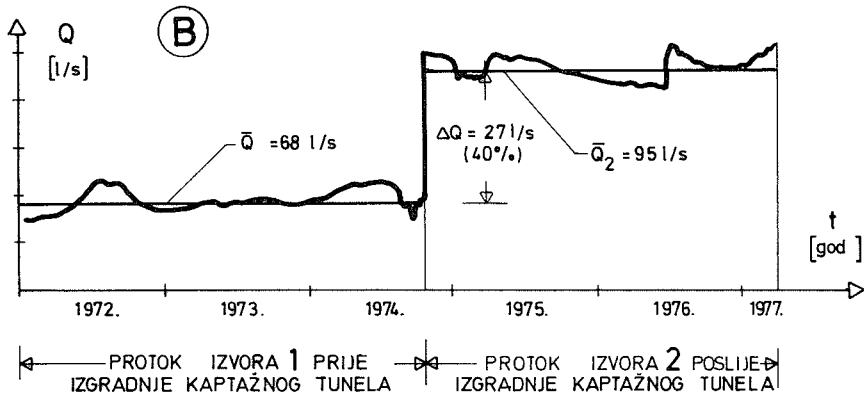
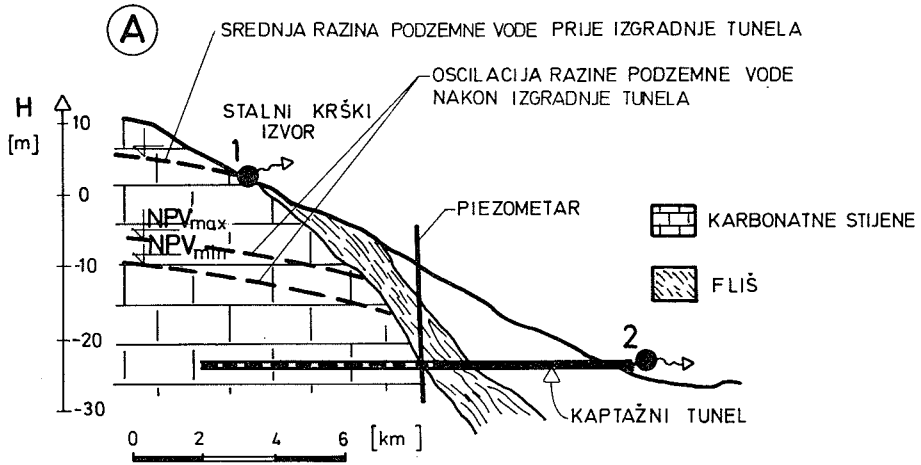
Sl. 32-20 Zahvat izvora s galerijom (A), presjek kroz revizionu galeriju (B)

3.2.3.2. Zahvati aluvijalnih podzemnih voda

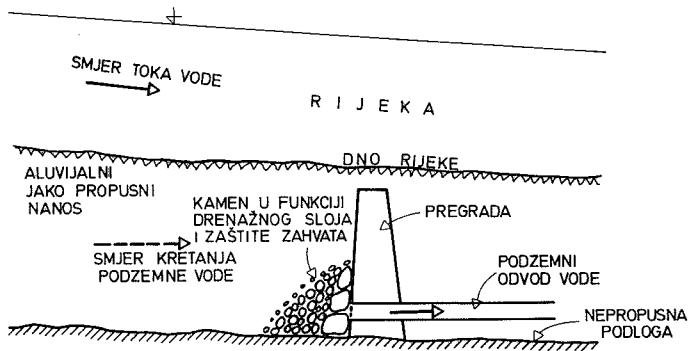
Na slici 32-23 shematski je prikazan zahvat aluvijalnih podzemnih voda. Ispod riječnog dna izradi se pregrada od betona ili izvođenjem glinenih ili nekih drugih zavjesa. Pregrada može biti izgrađena i od različitih tipova žmurja. Njena je uloga zaustavljanje toka podzemne vode, koji je u aluviju nešto brži nego kod klasičnih podzemnih voda. Pred branom se izgradi drenažni sloj od krupna kamena, a na njegovu se kraju, obično u tijelu brane, instalira početak zahvata. Voda se podzemnim cjevovodom vodi do površine, odakle se dalje distribuira u sustav za natapanje.



Sl. 32-21 Prikaz mogućnosti korištenja statičkih rezervi podzemnih voda u kršu



Sl. 32-22 Povećanje izdašnosti kaptiranog izvora ulaskom u statičke rezerve vodonosnika

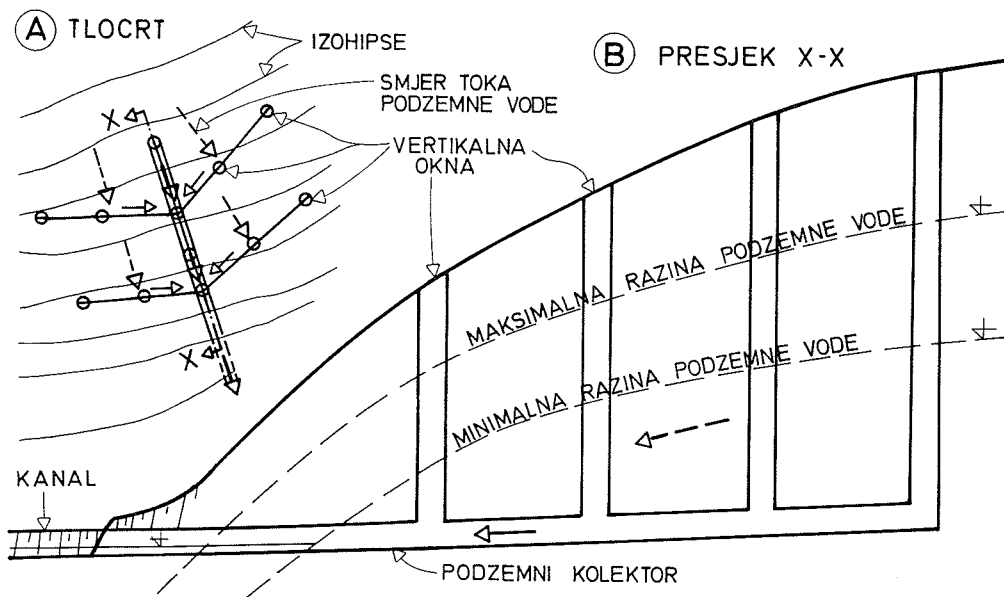


Sl. 32-23 Zahvat aluvijalnih podzemnih voda

3.2.3.3. Zahvati iz klasičnih vodonosnika

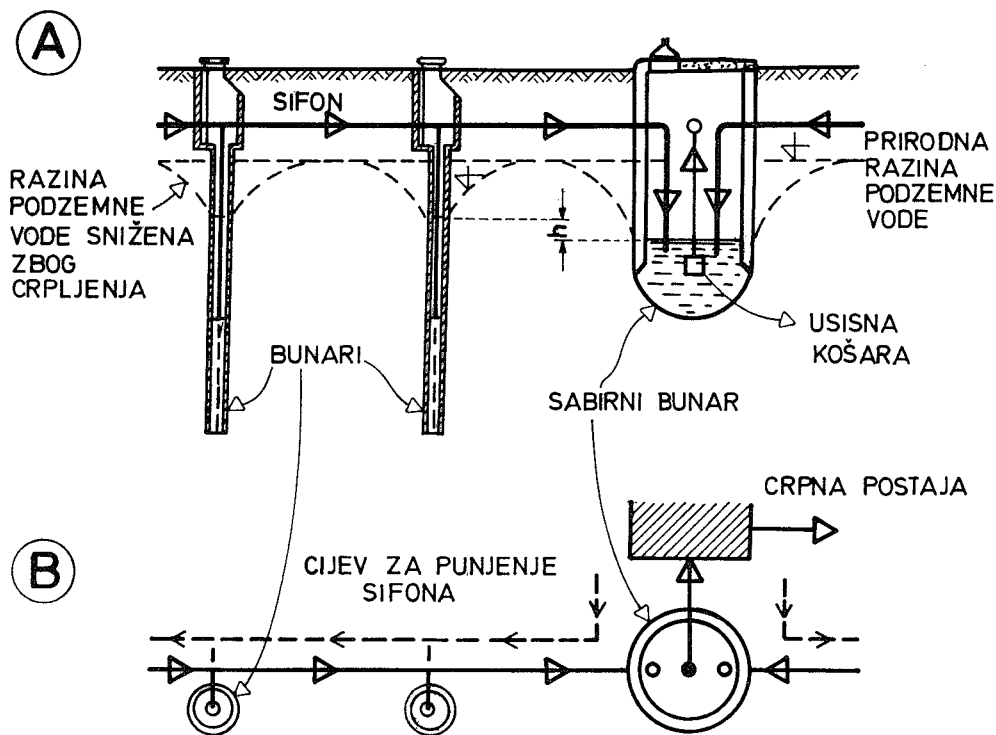
Općenito, skupljanje podzemne vode u cilju njena zahvata može biti horizontalno pomoću drenova (rovova, galerija) i vertikalno pomoću bunara.

Na slici 32-24 prikazan je zahvat podzemnih voda nazvan kanatski. Radi se o jednom od najstarijih načina zahvata podzemnih voda u aridnim područjima. Pretpostavlja se da su prvi takvi sustavi baš za potrebe natapanja bili u upotrebi čak 5000 godina prije nove ere na području današnjeg Irana. Iz nešto kasnijeg doba sačuvani su brojni kanatski sustavi na području Palestine, Afganistana, Cipra, Španjolske, Kine itd. Uočljivo je da se radi o gravitacijskom načinu zahvata podzemne vode. Vertikalna okna predstavljaju mjesta kroz koja su se u podzemni kolektor spuštali radnici i materijal. Podzemni kanatski kolektori bili su obloženi danas nepropusnim materijalima (kamen ili pečena glina), a dio profila bio im je građen kao drenažna cijev koja je omogućivala da podzemna voda slobodno uđe u kolektor. Kanati su se gradili općenito na podnožju planina ili na visoravnima okruženima visokim planinskim lancima. Oborine koje su padale na planinama infiltrirale bi se duž padina u podzemlje formirajući vodonosnike. Podzemni kolektori gradili bi se okomito na smjerove tečenja podzemnih voda. Začuđuje kako su graditelji u to doba mnogo znali o kretanjima i zakonitostima kretanja podzemnih voda. Današnji načini zahvata klasičnih podzemnih voda bitno se ne razlikuju od prethodno opisanih. Izmijenila se samo tehnologija. Gravitacijski sustavi zamijenjeni su uglavnom crpenjem podzemne vode.



Sl. 32-24 Tlocrt (A) i presjek X-X (B) kroz kanatski gravitacijski zahvat voda

Najrašireniji je način zahvata podzemne vode, poznat i u najstarije nama dostupno doba, zahvat vode iz bunara. Prema načinu izrade bunari se dijele na kopane i bušene. Kopani se mogu izraditi spuštanjem prstenova i podzidavanjem. Bušeni se bunari mogu pobijati i bušiti rotacijskom ili udarnom metodom. Tehnologija izrade bunara, naročito onih bušenih, vrlo se brzo razvija tako da su u tom djelokrugu prisutne stalne promjene. Kopani su bunari najčešće promjera 1 do 2,5 m, dok je profil bušenih bunara manji, a zavisi od kapaciteta crpenja i od opreme koja se u njih ugrađuje. Izdašnost bunara moguće je povećati na nekoliko načina. Prvi je ugradnja radijalno položenih drenskih horizontalnih cijevi koje skupljaju vodu s veće površine. Drugi je i češći način izgradnja cijelog sustava bunara. Jedan mali element takva sustava prikazan je na slici 32-25. Voda se crpi iz većeg broja bunara te se obično skuplja u jednome centralnome, iz kojega se dalje otprema u sustav za natapanje. Moguće je i crpenje iz pojedinih bunara te izravno distribuiranje vode u sustav za natapanje.



Sl. 32-25 Shema zahvata podzemne vode sustavom bunara

U posljednjih je desetak godina u cijelom svijetu zapaženo da je na brojnim mjestima došlo do pretjeranog crpenja podzemnih voda, tzv. rudarenja (overpumping). Ta pojava može imati vrlo opasne negativne posljedice s višestrukih stajališta te je stoga potrebno uskladiti količine crpenja podzemnih voda s količinama prirodnog prihranjivanja.

3.2.3.4. Zahvati dubokih podzemnih voda

Ispod gornje freatične zone, u kojoj se formiraju klasični vodonosnici, moguće je u nekim područjima naići i na veći broj dubokih vodonosnika naslaganih jedan iznad drugoga, a pokatkad i potpuno zatvorenih, a k tome još i pod tlakom. I te je vode moguće zahvatiti te upotrijebiti za natapanje. Kod toga treba unaprijed znati da su ti zahvati mnogo osjetljiviji i redovito skuplji od prethodno opisanih zahvata podzemnih voda. Bušotine (dakle bunari) bitno su dublji te započinju od 80 m naviše. U takvim slučajevima moguće je primijeniti jedino bušene bunare. Nerijetko se u takvim slučajevima nailazi i na artešku vodu, a katkad i na termalne vode, što čini još složenijim korištenje te vode za potrebe natapanja, tj. zahtijeva njenu prilagodbu na prohtjeve kulturnog bilja.

3.2.4. Specijalni zahvati

O specijalnim zahvatima za natapanje ovdje će se pripomenuti tek nekoliko osnovnih činjenica. U uvodnom izlaganju dana je podjela na četiri vrste tih zahvata. Treba istaknuti da su mogući i drugačiji pristupi tom problemu.

Zahvati voda od topljenja snijega uobičajeni su u planinskim regijama, gdje u proljeće započinje topljenje snijega i ono praktično traje do kraja jeseni, kada počinje padati novi snijeg. Tijekom tog razdoblja jedino se mijenja snježna granica, tj. pomiče se prema većim visinama kako se dublje ulazi u ljeto. Sa započinjanjem hladnog razdoblja, ona se opet snižava. Prema tome, i zahvate vode od topljenja snijega treba prilagoditi pomicanju te granice.

Zahvati oborinskih voda jesu jedan od najstarijih načina skupljanja voda. Čak 20% SAD i danas se opskrbljuje vodom na taj način. Izgradnja nakapnih ploha i cisterni (rezervoara) za skladištenje vode u današnjem vremenu moderne tehnologije nije izgubila ništa na značenju. Štoviše, može se slobodno reći da će taj način skupljanja i zahvata voda postajati sve aktualniji, posebno u krajevima gdje padaju obilne oborine od 1000 mm i više. Upravo takve oborine javljaju se na nekim našim otocima i u područjima krša, gdje inače nema stalnih vodotoka i izvora niti plitkih podzemnih voda.

Zahvati i ponovno korištenje prije upotrijebljenih voda postaju aktualniji i praktičniji s razvojem tehnologije čišćenja zagađenih voda. U brojnim zemljama radi se vrlo intenzivno na razvoju novih tehnologija vezanih posebno s upotrebom djelomično pročišćenih voda za potrebe natapanja.

Posljednji spomenuti postupak jest prihranjivanje podzemnih vodonosnika. Dva su razloga za primjenu tih postupaka. Prvi se odnosi na ublažavanje posljedica pretjeranog crpenja podzemnih voda. Drugi je povezan sa željom i potrebom da se zagađena površinska voda upusti u podzemlje te se na taj način pročisti. Tako pročišćenu vodu moguće je upotrebljavati za natapanje, ali i za druge svrhe.

LITERATURA

1. Bonacci, O. 1987. Karst Hydrology, Springer Verlag, Heidelberg.
2. French, H.R. 1988. Cisterns for water conservation and flood control. Journal of Water Resources Planning and Management ASCE, Vol. 114. No 5: 565-577.
3. Israelsen, O.W. 1950. Irrigation Principles and Practices (2nd ed.). J. Willez. New York.
4. Kos, Z. 1987. Hidrotehničke melioracije tla - navodnjavanje, Školska knjiga, Zagreb.
5. Ollier, Ch. i Poirce, M. 1981. Irrigation, Eyrolles, Paris.- 1957. Priručnik za melioracije i hidrotehniku, Knjiga III,
6. Navodnjavanje, Građevinska knjiga, Beograd.
7. - 1979. Izvorišta vode i vodozahvati, Navodnjavanje. Tehničar 5 Građevinski priručnik, Građevinska knjiga, Beograd.
8. - 1981. Barrages in India, Publ. No. 148. Central Board of Irrigation and Power, New Delhy.

3. GLAVNE GRAĐEVINE SUSTAVA ZA NATAPANJE

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

3.3. ELEMENTI NATAPNE MREŽE

3.3.1. Kanali

3.3.1.1. Općenito

Planiranje trase glavnoga dovodnoga, kao i kanala nižeg reda, treba polaziti sa stanovišta izbora najpovoljnijeg rješenja, i to kako najkraće dužine trase, tako i mogućih problema koji mogu nastati zbog visoke propusnosti tla (naročito ako se planira neobloženi presjek), nestabilnog terena, odnosno terena koji je sklon klizanju i urušavanju, kemijskog sastava tla koji bi mogao djelovati na betonske elemente te potrebe izvedbe različitih građevina uzduž trase.

Nakon što se odrede mjesta zahvata i potrošnje, a vodeći računa o gore navedenim značajkama, povući će se trasa najkraće dužine. Pri tome treba voditi računa da se zavoji planiraju sa što većim polumjerom (npr. većim od 80 m) te da se različite terenske prepreke svladavaju odgovarajućim građevinama, što će najviše ovisiti o veličini i značaju kanala. Kod manje razvedenog terena i kanala nižeg reda treba voditi računa, gdje god je to moguće, da se izjednače iskopi i nasipi, a kod većih presjeka različite terenske prepreke svladavat će se još i adekvatnim građevinama (akvedukti, sifoni i tuneli). Pri tome treba paziti da buduća razina vode u kanalu dominira natapnim površinama, naročito ako se predviđa gravitacijsko natapanje nekim od površinskih načina.

Dakako, pretpostavka je da, prije negoli započne trasiranje, protok kanala te topografske i geotehničke značajke tla budu poznati pa da se nakon toga započne detaljno projektirati njegove elemente. To su: oblik i veličina poprečnog presjeka, mjere i načini zaštite protiv erozije i procjeđivanja, uzdužni nagib te različite građevine na trasi.

3.3.1.2. Elementi kanala

Osnovni elementi kanala koje treba odrediti u postupku projektiranja jesu: uzdužni pad, oblik poprečnog presjeka te njegova veličina.

Veličina uzdužnog pada bitno utječe na protjecajnu brzinu i propusnu moć. Ovisi o materijalu kroz koji kanal protječe, odnosno o vrsti obloge, dakako uz uvjet da terenske prilike to dopuštaju. Najpovoljnije bi bilo, ako je to moguće, da se pad projektira u skladu sa zahtjevima struke, odnosno ovisno o hidrauličkim zahtjevima, ali terenski uvjeti to često onemogućavaju. U svakom slučaju, ne smiju se pojaviti protupadovi.

a) Dopustive brzine vode

Očigledno je da je osnovno mjerilo za izbor brzina vode osiguranje odgovarajućeg protoka uz uvjet da se u kanalu ne pojavi erozija dna i pokosa. Dopustivu je brzinu dosta teško odrediti jer ovisi o velikom broju čimbenika, naročito o hidrauličkim značajkama i starosti kanala, a posebno o materijalu kroz koji prolazi, odnosno čime je obložen. Najbolji način da se pronađe podeseo rješenje sastoji se u promatranju i analizi postojećih kanala. Za procjenu te vrijednosti do sada je objavljen velik broj izraza te je još uvijek ponegdje u upotrebi i Kennedyjev izraz iz 1895., koji glasi:

$$V_{max} = c h^{1/2} \quad (m/s),$$

gdje je:

c = koeficijent ovisan o vrsti zemljišta, i to:

c = 0,84 za praškasti pijesak

c = 0,92 za fini pijesak

c = 1,01 za pjeskovito-glinoviti prah

c = 1,09 za krupniji prah

h = dubina vode u m.

Fortier i Scoby su 1925. godine objavili tablicu za dopustive maksimalne brzine vode za ravne poteze kanala, koji su duže u pogonu, i za dubinu od 1 m.

Općenito je poznato da će, ako s U označimo srednju brzinu vode u kanalu, s V brzinu na površini, a s W brzinu na dnu, biti:

$$U = 0,80 V, \quad \text{odnosno}$$

$$W = 0,60 V.$$

Prema Ollier-Poirecu najveće su dopustive brzine vode u ovisnosti o vrsti terena kroz koji kanal protječe sljedeće:

*Maksimalne dopustive brzine vode u kanalima bez vegetacije**Tablica 33-1*

Zemljište u kojemu je kanal iskopan	n po Manningu	Brzina vode u m/s		
		bez nanosa	s koloidnim nanosom	s nanosom pi- jeska i šljunka
sitan pijesak, koloidni	0,02	0,450	0,75	0,45
pjeskovita ilovača, bez koloida	0,02	0,53	0,75	0,60
praškasta ilovača, bez koloida	0,02	0,60	0,90	0,60
aluvijalni mulj bez koloida	0,02	0,60	1,05	0,60
normalna čvrsta ilovača	0,02	0,75	1,05	0,60
vulkanski pepeo	0,02	0,75	1,05	0,60
tvrdna glina, jako koloidalna	0,025	1,13	1,50	0,90
aluvijalni mulj, koloidni	0,025	1,13	1,50	0,90
sitan šljunak	0,02	0,75	1,50	1,13
ilovača u obliku oblučja - nekoloidna	0,03	1,13	1,50	0,90
krupan šljunak, bez koloida	0,025	1,20	1,80	1,95
oblučje krupno	0,035	1,80	1,80	1,50

*Najveće dopustive brzine vode u kanalima**Tablica 33-2*

Materijal u komu je kanal iskopan	W Maksimalna brzina na dnu, m/s
sitan pijesak	0,40 do 0,50
kompaktna glina	0,60 do 0,75
sitan šljunak	0,50 do 0,70
krupan šljunak	0,70 do 0,90
krupno oblučje	1,00 do 1,20
meki škriljci	1,50 do 1,80
čvrste stijene	2,00 do 4,00
beton	4,00

U pogonskim uvjetima dolazi do različitih pojava koje uvjetuju značajno odstupanje od nekoga maksimalnog ili optimalnog stanja, što treba uvijek imati na umu pri planiranju i projektiranju tih građevina. Tako je utvrđeno da kod voda koje su opterećene suspendiranim koloidalnim nanosom, dopustive maksimalne brzine mogu se donekle povećati. S druge pak strane, nije preporučljivo znatno odstupanje od tih vrijednosti zbog mogućnosti selektivnog taloženja suspendiranog mulja (ovisno o veličini brzine). Praktična nam rješenja kazuju da se brzine vode u neobloženim glavnim kanalima najčešće kreću između 0,50 i 1,00 m/s iako, s obzirom na uobičajenu konfiguraciju terena, za kanale manjih presjeka (sekundarni i tercijarni) često je nemoguće te vrijednosti održati, pa se moramo zadovoljiti nižim veličinama.

J.D.Zimmerman (1966.) preporučuje sljedeće necerodivne maksimalne brzine za neobložene natapne kanale:

Dopustive najveće necerodivne brzine za neobložene kanale

Tablica 33-3

Zemljište u komu je kanal iskopan	Dopustiva brzina, m/s
sitan nevezan pijesak	0,20-0,30
pjeskovita tla	0,30-0,75
pjeskovita ilovača	0,75-0,90
ilovača - glinovita ilovača	0,85-1,10
zbijena glina	1,10-1,50

I.A.Sharov (1958.) izrazio je dopustive brzine u neobloženim kanalima ne samo u ovisnosti o materijalu u kojemu je kanal iskopan već i o veličini protoka kanala. Rezultati njegovih istraživanja prikazuju se u tablici 33-4.

Najveće dopustive necerodivne brzine za neobložene kanale

Tablica 33-4

Zemljište u kojemu je kanal iskopan	protok, m ³ /s								
	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	10	15	20	30
prah, sitan pijesak, lagana pjesk. ilovača	0,37	0,39	0,41	0,43	0,45	0,47	0,49	0,50	0,52
srednje pjeskovito tlo	0,46	0,49	0,52	0,54	0,56	0,59	0,61	0,63	0,65
laka ilovača	0,53	0,56	0,59	0,61	0,64	0,68	0,70	0,72	0,74
srednja ilovača, osrednji les, grubi pijesak	0,59	0,63	0,67	0,69	0,72	0,75	0,79	0,81	0,84
teška ilovača, laka glina, zbijeni les, jako grub pijesak	0,67	0,71	0,75	0,78	0,81	0,86	0,89	0,90	0,94
sitan šljunak	0,73	0,77	0,82	0,84	0,88	0,93	0,96	0,98	1,02
gusta srednja glina, srednji šljunak	0,82	0,87	0,92	0,95	0,99	1,05	1,09	1,11	1,16
teška glina (tercijar), krupan šljunak (oblučje)	1,26	1,34	1,42	1,47	1,53	1,62	1,68	1,72	1,79

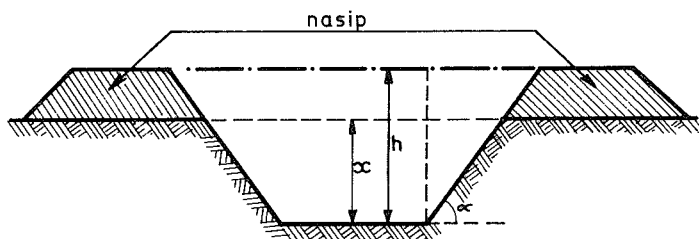
Kod obloženih kanala većih presjeka, uobičajene praktične vrijednosti brzina vode kreću se između 0,75 i 1,50 m/s. Da bi se postigli najprikladniji pogonski uvjeti toka vode u većim dovodnim kanalima, bit će potrebno detaljno i temeljito proučiti uzdužni pad u svezi s položajem trase pa će, u nekim slučajevima, da bi se pronašlo najbolje rješenje, biti nužno na trasi planirati pojedine specifične građevine kao što su tuneli, akvedukti, stepenice, sifoni i sl.

b) Poprečni presjek

U praksi se najčešće bira trapezni poprečni presjek iako bi hidraulički najpovoljniji bio kružni isječak. Presjeci su manjih prefabriciranih

armiranobetonskih kanala vrlo često oblika kružnog ili paraboličnog isječka. Presjeci su većih natapnih kanala za prolazak kroz tunele ili na akveduktima, zbog tehničkih razloga, ili pravokutni ili kružni (cijev).

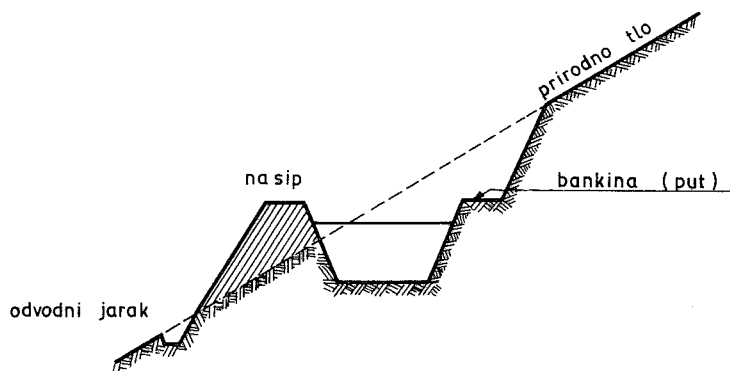
Hoće li kanal biti ukopan, u nasipu, ili djelomično ukopan, a djelomično u nasipu, ovisi o većem broju terenskih značajki, a prvenstveno o: uzdužnom presjeku trase, visinskom odnosu zahvata i natapnog područja, kao i poprečnom presjeku trase. Ako nema terenskih ograničenja, već se može slobodno birati, bit će to djelomično ukopan kanal s izjednačenim masama iskopa i nasipa (vidi sliku).



Sl. 33-1 Tipičan presjek glavnoga natapnog kanala u ravnici

Kada se kanal projektira djelomično ili u cijelosti u nasipu, treba vrlo pažljivo planirati i graditi dio trupa koji je u nasipu. Pored svih mjera opreza koje se u tim slučajevima primjenjuju (izbor materijala, odsustvo svake organske primjese, postupak nabijanja i sl.) prijeko je potrebno predvidjeti i izvjesno nadvišenje nasipa iznad pogonske razine vodostaja. To se nadvišenje kreće, ovisno o veličini kanala, visini nasipa i vrsti materijala, između 0,20 i 1,0 m. Naknadno slegnuće može doseći i 6-8% od visine nasipa.

Ako se kanal gradi po padini brežuljka uz dolinu, primjenit će se presjek kao što je prikazano na sl. 33-2. Bankina služi kao pristupni put za obilazak i nadzor kanala te za potrebne radove popravaka i održavanja.



Sl. 33-2 Tipičan presjek kanala smještenoga na padini

Nagibi pokosa ovise o velikom broju čimbenika kao što su veličina i značaj kanala, dubina vode i sl, ali daleko najveći značaj ima vrsta materijala kroz koji je kanal iskopan. Kod manjih presjeka pokosi se biraju prema iskustvu (vidi tablicu), a kod većih se određuju na temelju geomehničkih laboratorijskih analiza.

A.Trisoldi preporučuje izbor pokosa kanala u ovisnosti o vrsti materijala u kojemu je iskopan prema tablici 33-5.

Uobičajeni nagibi pokosa kanala

Tablica 33-5

Vrsta materijala	Nagib pokosa (visina/osnova)
1. tvrda stijena	10:1
2. obloga od zida ili betona	10:1 - 1:1
3. kompaktna ilovača ili obloga busenjem	1:1 - 1:1,25
4. srednje teška zemljišta	1:1,25 - 1:1,5
5. nevezana zemljišta	1:1,5 - 1:2

U novije se doba za manje dovodne, a posebno za razvodne i natapne kanale, u pravilu primjenjuju kanali građeni od prefabriciranih armiranobetonskih elemenata različita poprečnog presjeka, ali najčešće kao što je prikazano na priloženoj skici. Svi potrebni elementi za takvu mrežu (kanali, postolja, račve, ispusti i sl.) izrađuju se u odgovarajućim tvornicama betonske galanterije te potom, na temelju detaljno snimljene trase i uzdužnog presjeka, samo montiraju na terenu. Dobro uvježbana grupa od 4 do 6 radnika može u jednoj smjeni lako montirati više od jednog kilometra kanala.

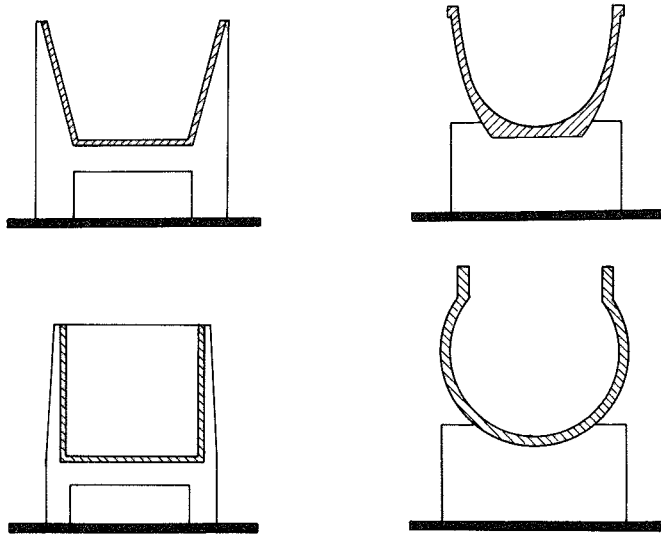
U mnogim se zemljama nerazvijenog svijeta (Srednja Azija, Daleki Istok) još dan-danas i manji presjeci kanala oblažu zidom (oblogom) od kamena ili cigle u cementnom ili vapnenom mortu. Dakako, takav je rad moguć samo ako se raspolože s dovoljno radne snage uz jako nisku cijenu.

c) Dimenzioniranje kanala

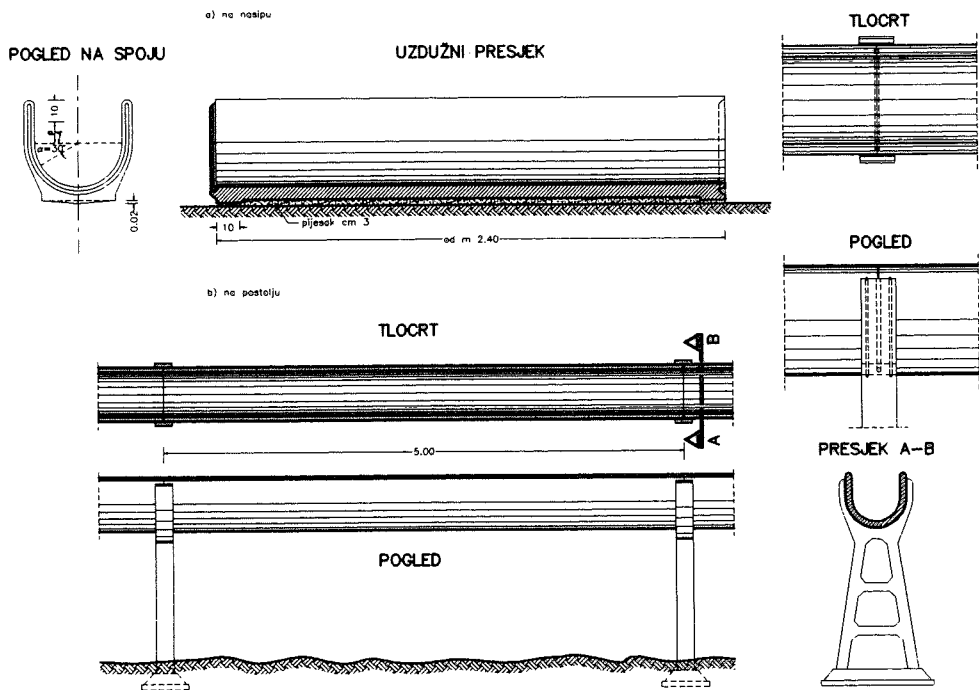
Određivanje dimenzija presjeka natapnih kanala kao što su širina dna, dubina i oblik u svemu je jednako postupku za određivanje tih elemenata za ostale namjene. Natapni se kanali razlikuju od ostalih (npr. za odvodnju) po tome što je ovdje potrebno niveletu držati na određenoj visini radi pokrivanja čitave natapne površine. To ograničenje ponekad iziskuje i izbor presjeka, odnosno pada, koji se po principima hidraulike ne bi smatrao uvijek najboljim, ali uvjeti pogona to nalažu.

Kao što je to već ranije navedeno, uobičajeni je presjek kanala trapezan. Ako to ostali uvjeti i ograničenja dopuštaju, izabrat će se trapezni presjek, kojem je upisana polukružnica s polumjerom jednakim dubini kanala. To će ujedno biti trapezni presjek najpovoljnijih hidrauličkih karakteristika, odnosno s najmanjim otporom.

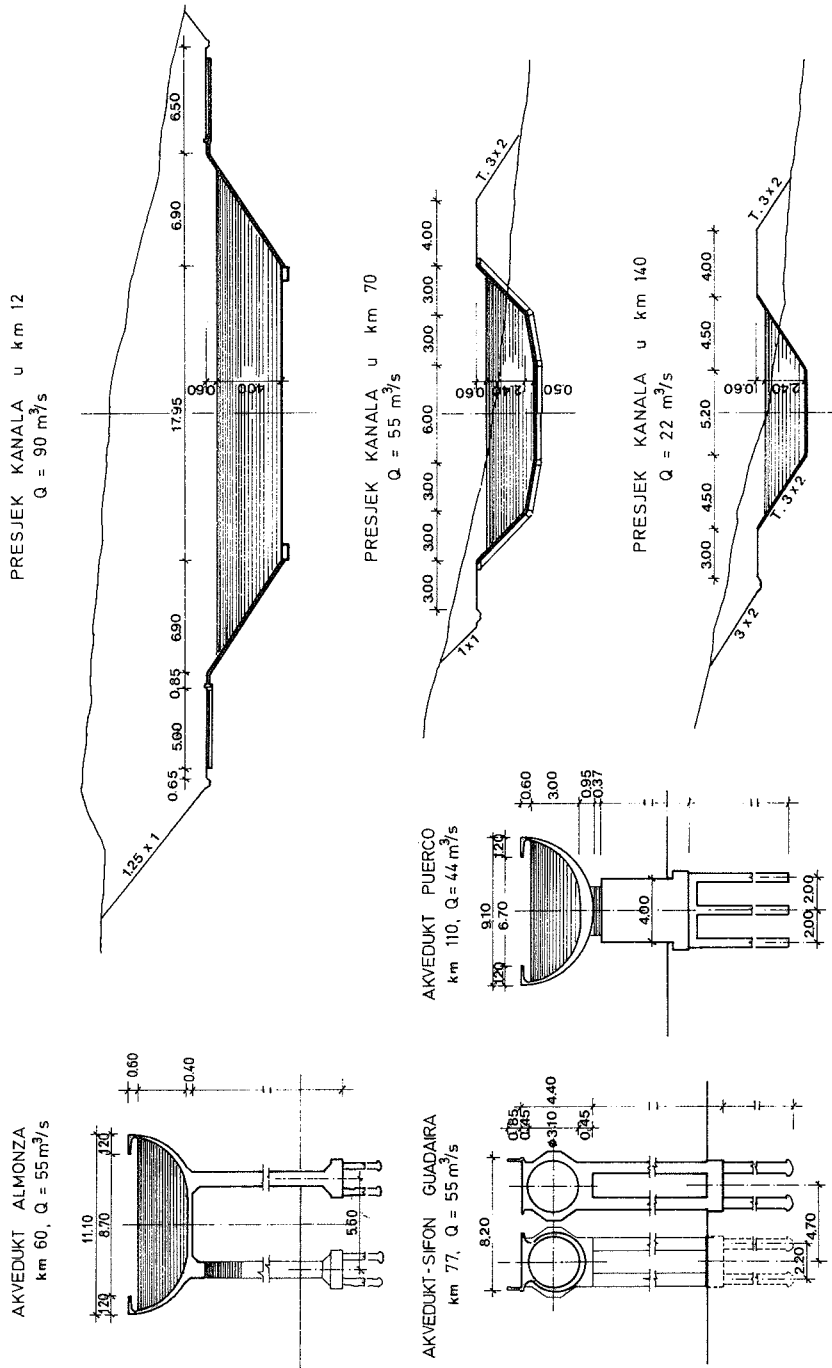
3. GLAVNE GRAĐEVINE SUSTAVA ZA NATAPANJE



DETALJ SPOJA NA POSTOLJU



Sl.33-3 Tipični presjeci prefabriciranih natapnih kanala



Sl. 33-4 Tipični presjeci glavnoga dovodnog kanala natapnog sustava Donji Guadalquivir (Španjolska)

Pri projektiranju kanala pojavljuju se najčešće zadaci sljedećih tipova:

Treba izračunati protok kanala uz uvjet da je poznat uzdužni pad I i omočeni presjek. Da bi se takav tip zadatka mogao riješiti, najprije se pretpostave geometrijske značajke kanala (širina dna, nagib pokosa), a potom se izračuna srednji hidraulički radijus R . Nakon toga izračuna se pomoću Chezyjeve formule (bilo za jednoliki tok, bilo za turbulentni režim) najprije protjecajna brzina, a potom omočeni presjek za odnosnu lamelu te se konačno dobiva traženi protok za taj slučaj pomoću odnosa:

$$Q = A \cdot v$$

- Ako uz zadani protok i presjek te vrste i hrapavosti stijenke treba izračunati pad I , postupa se slično kao i u prethodnom slučaju, imajući u vidu da je:

$$Q = A \cdot c \cdot \sqrt{R \cdot I}$$

pa se lako iz tog odnosa izračuna tražena vrijednost I .

- Uz poznate vrijednosti protoka i uzdužnog pada treba odrediti elemente poprečnog presjeka. Opći oblik jednadžbe za taj slučaj glasi:

$$Q = A \cdot c \cdot \sqrt{R \cdot I}$$

Ako separiramo poznate od nepoznatih veličina dobivamo:

$$\frac{Q}{\sqrt{I}} = A \cdot c \cdot \sqrt{R}$$

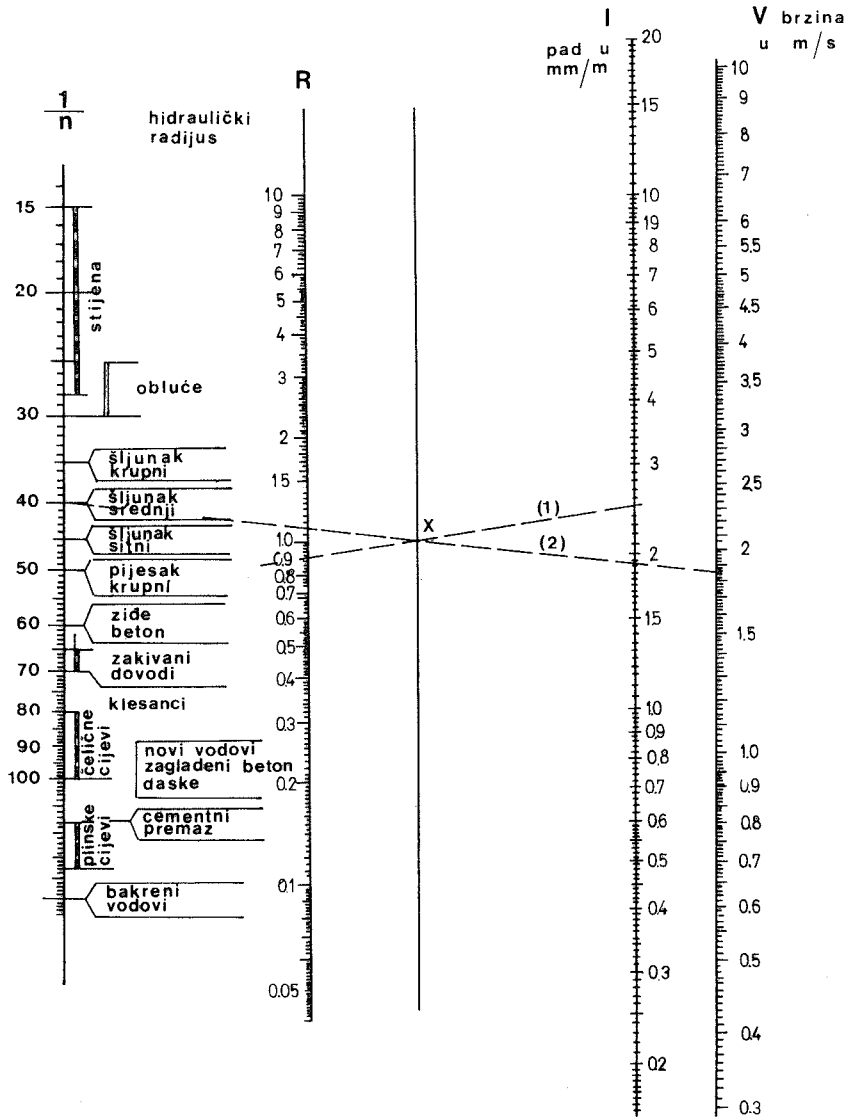
pa zadatak može imati bezbroj rješenja, jer A i c mogu poprimiti neograničeni broj vrijednosti. Problem se najčešće rješava metodom postupnog približavanja. Tom se zadatku može prići i na sljedeći način: najprije se definira, u ovisnosti o vrsti stijenki kanala, dopustiva brzina, a zatim se na temelju toga izračuna protjecajna površina A , pa nam preostaje jedina nepoznanica c , koja se izračuna iz poznatih izraza.

O dopustivim gornjim granicama protjecajnih brzina bilo je govora ranije, međutim, treba spomenuti da i donje, minimalne brzine, ne smiju pasti ispod određenih vrijednosti, pogotovo ako voda sadrži izvjesnu količinu suspendiranog nanosa. U literaturi se obično navodi da je donja granica protjecajne brzine za zamuljene vode oko 0,25 m/s, a za vode koje imaju suspendiran sitan pijesak oko 0,50 m/s.

Za određivanje vrijednosti koeficijenta otpora c stoji nam na raspolaganju veći broj izraza, a oni se više ili manje primjenjuju u pojedinim zemljama.

FORMULA

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$



Sl. 33-5 Nomogram za Manning-Stricklerovu formulu

U Njemačkoj, Velikoj Britaniji i SAD-u najviše se upotrebljava izraz Ganguillet-Kuttera (1869.), koji ima dvije verzije, tzv. veliku i malu formulu. Za manje presjeka kanala mala formula daje sasvim zadovoljavajuće rezultate, a glasi:

$$c = \frac{100 \cdot \sqrt{R}}{m + \sqrt{R}}$$

U Italiji, Francuskoj i nekim drugim zemljama još se uvijek uspješno primjenjuje Bazinova formula, koja glasi:

$$c = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$$

Prema nedavnim ispitivanjima pouzdanosti primjene tog izraza na više od 700 građevina širom svijeta, i to na kanalima različita oblika presjeka, materijala i veličine, proizlazi da daje još uvijek prihvatljive rezultate.

U Velikoj Britaniji, Rusiji, Nizozemskoj, a u novije vrijeme sve više i u drugim zemljama primjenjuje se najčešće Manning-Stricklerova formula, koja glasi:

$$c = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{1}{6}}$$

Koeficijenti hrapavosti za navedene izraze ($m, n, \gamma, \frac{1}{n} = k$), a za otvorena korita s različitim materijalom dani su u priloženoj tablici. Za detaljnije upute glede dimenzioniranja otvorenih vodotoka (kanala), čitalac se upućuje na odnosnu specifičnu literaturu.

3.3.1.3. Utvrđivanje potrebe za oblaganjem kanala

Potreba za masovnim oblaganjem natapnih kanala, više-manje u svim zemljama svijeta, pojavila se iza Drugoga svjetskog rata, odnosno sredinom ovoga stoljeća. Ta potreba koincidira sa spoznajom da je raspoloživo vodno bogatstvo ograničeno te s konstatacijom da je u većem broju zemalja ta sirovina već uglavnom iskorištena. Da bi se povećala raspoloživa količina vode za natapanje, pristupilo se tada različitim mjerama za sprečavanje gubitaka od čega je oblaganje omočenog oboda kanala najznačajnija.

Globalno gledano, potrošnja vode za sve namjene raste još uvijek po eksponencijalnom zakonu i tek predstoji faza kada će se taj trend zaustaviti. Dok je još početkom ovog stoljeća ukupna potrošnja iznosila oko 500 km³/god., ona je 1940. dosegla 1.000 km³/god., a već 1960. 2.000 km³/god., u 80-tim godinama oko 4.000 km³/god., a prognoze za 2.000-tu su oko 5.500 km³/god. Dakle, u jednom stoljeću potrošnja će porasti za više od 10 puta. Kako poljoprivreda (uglavnom natapanje) sudjeluje u ukupnoj potrošnji s oko dvije trećine količina, logično je da

se najveća štednja, odnosno najveće smanjenje potrošnje, očekuje upravo u toj grani gospodarstva.

Koeficijenti hrapavosti za otvorene kanale

Tablica 33-6

Materijal korita (obloge)	Bazin γ	Kutter m	Ganguillet-Kutter n	Manning-Strickler $k = \frac{1}{n}$
drvo glatko	0,06	0,15-0,20	0,010	100
drvo hrapavo	-	0,30-0,35	-	-
ziđe od cigle u cementnom mortu - zaglađeno	0,16	0,25	0,013	80
beton zaglađen	0,11-0,22	0,20-0,25	0,012	90
beton hrapav	0,45	0,65	0,017	60
dobro ziđe od lomljena kamena	0,50	0,65	0,017	60
kanali dobro održavani u tlu bez obloge	1,30	1,75	0,025	40
kanali u tlu s vegetacijom	1,75	2,00-2,50	0,035	30-35
inundacije	3,50	3,50-5,00	0,04-0,05	20-22
inundacije gusto obrasle	-	-	0,09	-

Ukupni gubici vode u kanalima sastoje se od gubitaka na duboko poniranje, na isparavanje te na transpiraciju akvatičnog bilja. Neki autori ocjenjuju da se adekvatnim oblaganjem natapnih kanala može sačuvati 60-80% količine inače izgubljene na procjeđivanje. Podataka o izmjerenim gubicima na procjeđivanja ima jako mnogo te ih je teško podvesti pod neku zakonitost; obično variraju od 5 do 80%, računajući na ukupno dopremljenu vodu, ali se najčešće kreću od 20 do 30%. U manjim, razvodnim i natapnim, kanalima kapaciteta kojih stotinjak l/s, ti su gubici još razmjerno veći i obično dosižu 10-15% po km. Pored navedenoga neobloženi kanali imaju još nekoliko nepoželjnih učinaka na tlo i okoliš, od kojih će se neki u nastavku ukratko opisati.

a) Utjecaj na zabarivanje i podzemnu vodu

Općenito uzevši, teško je kvantificirati učinak procjeđivanja iz kanala na podzemnu vodu i zabarivanje. Voda obično ponire u podzemne nepropusne slojeve i kasnije se pojavljuje na niže ležećim površinama. Pri izradi projekta teško je unaprijed predvidjeti i prognozirati iole kvantificirani učinak procjeđivanja na stanje podzemne vode.

Oblaganjem glavnoga natapnog kanala, ako to nisu istovremeno i razvodni i natapni, problem se samo ublažuje a ne i rješava. Prema tome, ako se hoće radikalno zahvatiti u tu problematiku, treba obložiti čitav osnovni i detaljni natapni sustav. Nadalje, poljodjelce koji provode natapanje treba podučiti da se koriste

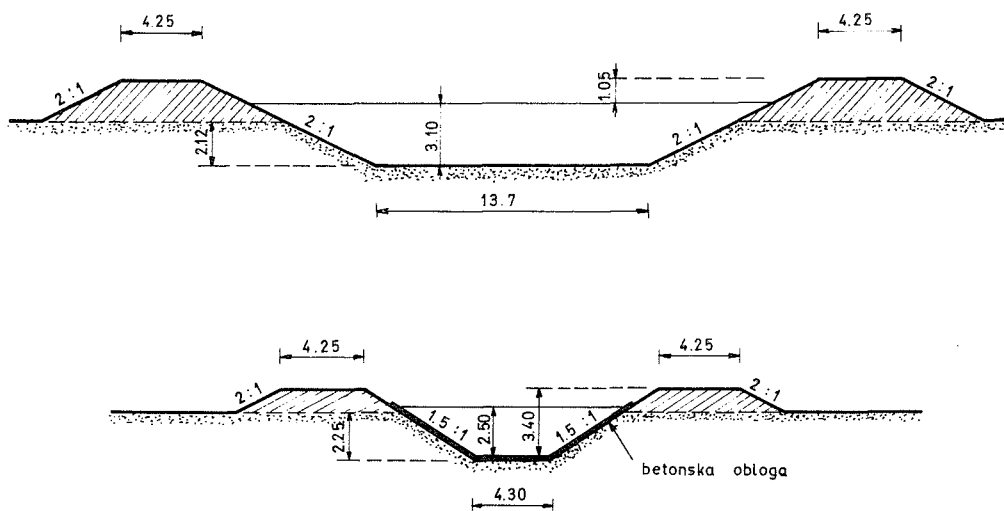
samo onom količinom vode koja je prijeko potrebna te da nepotrebno ne opterećuju odvodnu mrežu. Dakle, prilikom razmatranja potrebe za provedbom oblaganja treba pažljivo razmotriti veći broj mogućih čimbenika kao što su stanje prirodne odvodnje, očekivana učinkovitost natapanja, moguća pojava zaslanjenja te gubitak tla kao i utjecaj na okoliš ako se neke površine nađu u režimu zabarivanja.

U svijetu ima velik broj primjera šteta koje su prouzročene neadekvatnom upotrebom neobloženih natapnih kanala, te količine i kvalitete vode za natapanje. Najviše takvih slučajeva ima u SAD-u, Indiji i na Bliskom Istoku.

b) Smanjenje presjeka kanala

Kao što je već ranije spomenuto, najveće dopuštene brzine vode u neobloženim kanalima - ovisno o vrsti materijala - kreću se između 0,30 i 1,80 m/s. Uobičajene su vrijednosti još niže i obično se kreću između 0,50 i 1,00 m/s.

Oblaganjem površine kanala nekom krutom oblogom (beton, asfaltbeton, kamen, cigla, plastika i sl.) omogućuje se bitno povećanje protjecajnih brzina (obično na 1,5 do 2,5 m/s, ili do 4 m/s), čime se u velikoj mjeri smanji presjek kanala, što utječe na smanjenje zaposjedanja građevinskog tla te troškova iskopa.



Sl. 33-6 Usporedba presjeka neobloženog i obloženog kanala za jednaki kapacitet

Smanjenje presjeka natapnog kanala ne postiže se samo time što mu se povećava protjecajna brzina, već i činjenicom što ne treba dimenzionirati presjek i na onu količinu vode koja se, inače, u neobloženim kanalima izgubi uzduž toka. Nadalje, uštede su i u tome što obloženi kanal dopušta strmije pokose pa zaprema manju površinu, zatim omogućuje veći uzdužni nagib, što isključuje moguću potrebu za stepenicama itd.

*Relativni protok za obložene (beton) i neobložene kanale**Tablica 33-7*

Širina dna	Dubina vode	Protok, m ³ /s	
		obloženi	neobloženi
0,30	0,45	0,40	0,23
0,90	0,60	1,27	0,71
1,20	0,75	2,40	1,33
1,50	0,90	4,00	2,24

Ima još veći broj ušteda i prednosti koje proizlaze iz oblaganja kanala. Spomenut ćemo samo neke: slobodno vođenje trase po bilo kojem terenu (erodibilnom, propusnom i sl.); održavanje većih brzina i, u vodama s nanosom, sprečavanje taloženja mulja, čime se štedi na održavanju; veće brzine, odnosno kapacitet, smanjuju potrebno vrijeme natapanja, što je nova ušteda itd.

c) Smanjenje troškova održavanja i pogona

Općenito uzevši, bilo koja vrsta obloge u značajnoj mjeri smanjuje troškove održavanja kanala, a naročito: čišćenja korita od močvarne vegetacije, odstranjivanja nataloženog nanosa, šteta od životinja koje se nastanjuju u podzemnom dijelu pokosa i drugoga.

Nema nikakve sumnje da je u većini kanala najveći trošak održavanja neobloženih korita čišćenje akvatičnog bilja kao što su trska, šaš, lopoč i sl. te drveća koje raste po rubovima vodnih tokova (vrba). Uobičajene obloge koje se primjenjuju za natapne kanale (kamen, cigla, beton i sl.) u najvećoj će mjeri onemogućiti razvoj spomenute vegetacije i time znatno smanjiti troškove čišćenja.

Kao što je već ranije spomenuto, obloga omogućava postizanje većih brzina u kanalima, što bitno smanjuje količinu nataloženog nanosa, a samim time i troškove održavanja.

Troškovi održavanja kanala bitno ovise o klimatskim prilikama područja, dužini trajanja pogona, raspoloživosti radne snage i mehanizacije, vrsti obloge i sl. To otežava uspoređivanje troškova iz različitih područja, koji mogu međusobno bitno odstupati. Prema tome, pri korištenju podacima iz literature, kojih ima podosta, treba biti oprezan. Najmanje što treba učiniti, ako se već takvi podaci koriste, jest da se poredba provodi samo za projekte koji se nalaze u jednakom klimatskom području.

3.3.1.4. Utvrđivanje gubitaka na procjeđivanju

Kao što je već ranije spomenuto, oblaganje utječe na zaštitu tla od erozije, sniženje troškova održavanja i dr., ali daleko su najznačajniji od svega gubici na procjeđivanju. Zbog toga je nužno, prije negoli se donese odluka o oblaganju i izboru vrste obloge, utvrditi te gubitke. Gubici se mogu utvrditi bilo proračunom po nekoj od poznatih metoda bilo mjerenjem. Metode proračuna zahtijevaju

poznavanje hidrauličkih značajki tla kao i nekih drugih veličina (dubina do podzemne vode, elemenati poprečnog presjeka i dubina vode u kanalu).

Metode mjerenja procjeđivanja na postojećim kanalima jesu:

- mjerenje protoka na dvama različitim presjecima (otjecanje-dotjecanje);
- mjerenje gubitaka na ispunjenoj dionici kanala;
- mjerenje brzine procjeđivanja na dnu ili pokosu kanala.

Uobičajeno je da se za procjeđivanje upotrebljavaju sljedeće jedinice mjere:

- volumen gubitaka po jedinici omočenog oboda kroz 24 sata ($m^3/m^2/24\text{ h}$),
- volumen gubitaka po jedinici dužine kroz 24 sata ($m^3/m/24\text{ h}$),
- postotak gubitaka od ukupnog protoka po kilometru.

Pri uspoređivanju gubitaka obloženog i neobloženog dijela kanala treba uzeti u obzir i smanjenje poprečnog presjeka za obložene kanale (obično oko 30%).

Čimbenici koji bitno utječu na veličinu gubitaka jesu:

- hidrauličke značajke tla kroz koje kanal protječe;
- dubina vode u kanalu, omočeni obod i dubina podzemne vode;
- količina i vrsta nanosa u vodi, brzina toka vode te dužina (vrijeme) kanala u pogonu.

Nema nikakve sumnje da je od svih tih elemenata najvažnija vodopropusnost tla, koja se očituje kroz veličinu pora i poroznost tla (postotak pora). Zbog toga prije donošenja bilo kakve odluke o oblaganju kanala treba po dužini i dubini trase analizirati značajke vodopropusnosti tla. Posebnu pozornost treba posvetiti izmjenjivanju propusnih i nepropusnih slojeva (ako ih ima).

U odnosu prema drugom čimbeniku (dubini vode itd.), Bouwer je dao sljedeće zaključke i preporuke:

- gubici na procjeđivanje rastu s porastom dubine vode u kanalu;
- gubici na procjeđivanje rastu s porastom visinske razlike između kote razine vode u kanalu i kote razine podzemne vode. Gornja granica dostiže se kada je ta razlika pet ili više puta veća od širine vode u kanalu;
- raspodjela gubitaka u poprečnom presjeku kanala ovisi o visini podzemne vode, odnosno položaju propusnih slojeva;
- karakteristična dubina do koje značajke tla bitno utječu na veličinu procjeđivanja iznosi približno pet puta širinu dna kanala.

U svezi s trećom konstatacijom preporučuje se planirati široke i plitke natapne kanale u područjima s visokom podzemnom vodom i obrnuto, duboke i uske u obrnutom slučaju - naravno pod uvjetom da ostale okolnosti to dopuštaju.

Što se tiče pronosa suspendiranog nanosa očito je da muljevite vode pospješuju brtvljenje tla i smanjenje vodopropusnosti, odnosno gubitaka na procjeđivanje. Uz povoljne okolnosti, bitno smanjenje gubitaka u neobloženim kanalima može se postići za relativno kratko vrijeme. Kod većih protjecajnih brzina u kanalima s veoma sitnim koloidnim nanosom, smanjenje protjecajne brzine može povoljno utjecati na povećani učinak brtvljenja.

Ima jako mnogo primjera smanjenja gubitaka vode na procjeđivanje s porastom vremena kanala u eksploataciji, ali ovom prilikom ćemo spomenuti samo 17 km dugi kanal Donzere-Mandragon u dolini Rhone, Francuska. Mjerenjem je utvrđeno

da su na tom kanalu gubici odmah nakon izgradnje iznosili $16 \text{ m}^3/\text{s}$, a nakon 5 godina u pogonu spali su na svega $3 \text{ m}^3/\text{s}$. Dakako, taj znakovit učinak treba prvenstveno zahvaliti muljevitim vodama rijeke Rhone. S druge pak strane kod neobloženih natapnih kanala koji se samo sezonski upotrebljavaju, gubici su najveći na početku te postupno opadaju pri kraju sezone.

a) Određivanje veličine procjeđivanja iz kanala

Prilikom razmatranja problema gubitaka na procjeđivanje za neku vrstu oblaganja ili dokaza da nje ne treba (gospodarsko obrazloženje) mogu se pojaviti različiti pristupi. Ako u jednakom klimatskom području s jednakim značajkama tla i vode imamo već dovoljno iskustva (mjerenja), moguće je ta iskustva neposredno primijeniti. Jedna od češće primjenjivanih metoda za određivanje kvalitativnih vrijednosti procjeđivanja sastoji se u utvrđivanju veličine hidrauličke vodljivosti (vodopropusnosti) odnosno K po Darcyju.

Za kvantitativno određivanje gubitaka na procjeđivanje iz kanala razvijeno je više metoda, od čega se u praksi najviše primjenjuju sljedeće:

- empirijske formule
- analitičke metode
- metoda električne analogije

Empirijskih metoda (formula) ima relativno mnogo i najčešće nemaju opći značaj, već su sastavljene za određene slivove, područja ili podneblja. Spomenut ćemo neke koje su našle širu primjenu u praksi.

Davis i Wilson preporučili su sljedeći odnos za procjenu gubitaka na procjeđivanje iz obloženih kanala:

$$S_L = 0,45 \cdot C \cdot \frac{P_W \cdot L}{4 \cdot 10^6 + 3650 \sqrt{v}} \cdot H_W^{0,33}$$

gdje je:

- S_L - gubici na procjeđivanje u m^3 po dužini kanala i na dan;
- L - dužina kanala u m;
- P_W - omočeni obod u m;
- H_W - dubina vode u kanalu u m;
- v - brzina vode u kanalu u m/s;
- C - konstanta ovisna o vrsti obloge

Vrsta i debljina obloge	Vrijednost C
beton (10 cm)	1
glinena obloga (15 cm)	4
lagani asfalt	5
naboj od gline (7,6 cm)	8
asfalt ili cementni mort	10

U Rusiji se primjenjuje sljedeća formula za proračun gubitaka na procjeđivanje:

$$S = \frac{1,16}{Q} \cdot K \cdot q_r$$

gdje je:

- S - gubitak na procjeđivanje izraženo u postotku protoka kanala po km dužine kanala;
- Q - protok kanala, m³/s;
- K - vodopropusnost saturacije, m/dan;
- q_r - reducirani specifični gubici, tj. odnos brzine procjeđivanja prema saturiranoj vodopropusnosti materijala korita.

Offengenden je predložio slijedeći odnos za proračun gubitaka na procjeđivanje u zemljanim kanalima i rovovima:

$$S = s \cdot \frac{Q \cdot l}{100} \quad (m^3 / s)$$

gdje je:

- S - gubitak po km dužine kanala u postotku;
- Q - protok kanala, m³/s;
- l - dužina kanala, km

Veličina se *s* računa po obrascu:

$$s = A / Q^m$$

A i m su empirijske konstante ovisne o vodopropusnosti tla, a određuju se po tablici 33-8.

Vrijednosti konstante A i m

Tablica 33-8

Vrijednost A i m	Vodopropusnost		
	niska	srednja	visoka
A	0,70	1,90	3,40
m	0,30	0,40	0,50

Analičkih postupaka i teorija za proračun veličine procjeđivanja iz natapnih kanala ima na svijetu mnogo. Spominju se najpoznatiji autori: Dachler, Ernst, Hammad, Pavlovski, Bouwer, Vedernikov, Wesseling i drugi. Zbog ograničenosti

prostora i karaktera ovog rada, o tome se ovdje neće raspravljati, pa se čitalac upućuje na odnosnu literaturu.

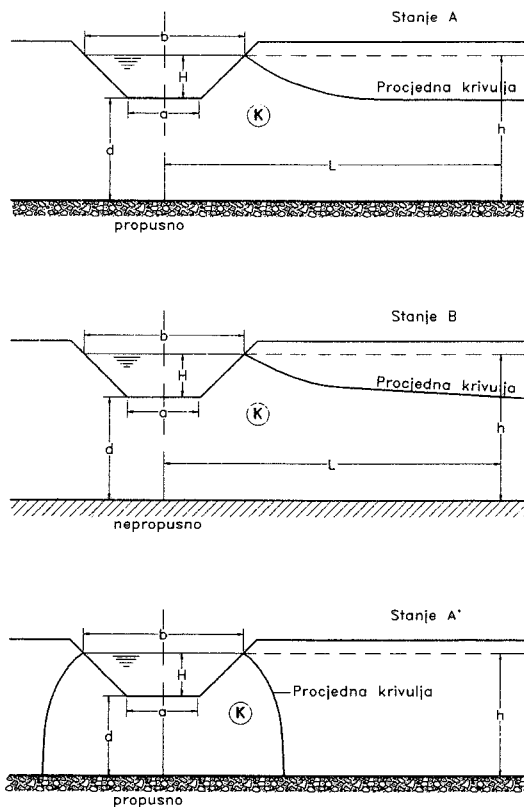
Grafičke je postupke, temeljene na električnoj analogiji, najpotpunije obradio Bouwer, pa će se to u nastavku ukratko izložiti. Osnovne podloge koje se za taj postupak moraju poznavati jesu: hidraulička vodljivost (K) tla, dimenzije kanala i razina podzemne vode. Prema Bouweru, za teorijsko se razmatranje mnogobrojna moguća stanja procjeđivanja vode u tlo reduciraju na tri osnovna, i to:

stanje A: kanal je iskopan u jednoličnom propusnom tlu koje leži na mnogo propusnijem sloju;

stanje B: kanal je iskopan u jednoličnom propusnom tlu koje leži na nepropusnom sloju;

stanje A': omočeni je obod kanala mnogo manje vodopropusnosti od ostalog tla (zemljano korito, polupropusna obloga i sl.).

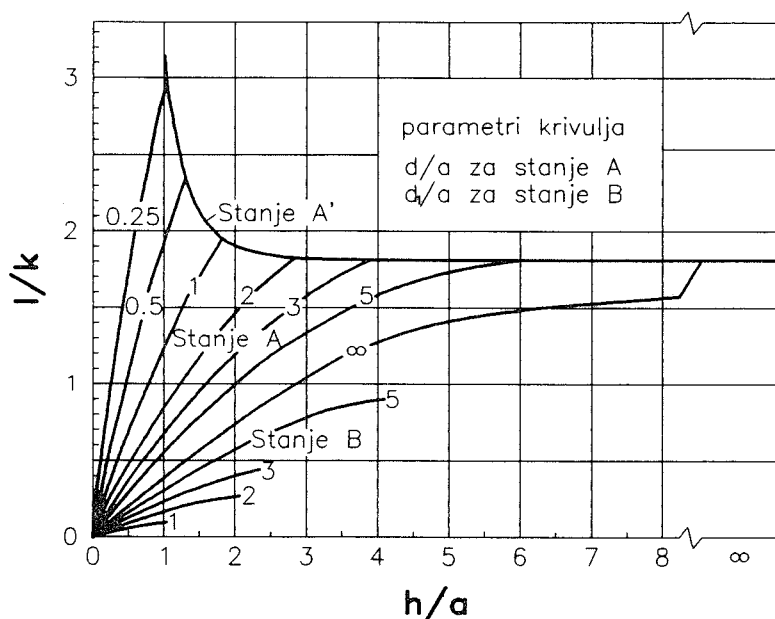
Na sl. 33-7 prikazani su osnovni elementi stanja A, B i A'. Stanje A' je zapravo jedan poseban slučaj stanja A, kod čega je, pored ostaloga, razina podzemne vode na razini ili ispod razine nepropusnog sloja.



Sl. 33-7 Sheme procjeđivanja za stanja A, B i A'

Grafički postupci rješenja procjeđivanja po metodi analogne mreže otpora razrađeni su za stanje A, B i A' i prikazani na sl. 33-8 i 33-9. Obradna su samo dva tipična slučaja, i to za odnos $H/a = 0,75$ i $H/a = 0,50$.

Iz slike se razabire da je h tlak koji utječe na procjeđivanje. Za stanje A i B to odgovara vertikalnoj udaljenosti između razine vode u kanalu i kote podzemne vode. U analognom modelu, vodoravna se razina vode pretpostavlja na udaljenost (L) od deseterostruke širine dna kanala (a), računajući od osi kanala. Za stanje A' efektivna vrijednost h jednaka je $H+d$, iako stvarna dubina podzemne vode može biti veća od $H+d$. Simulacija je bila provedena za trapezni kanal pokosa 1:1 i dvije različite dubine vode u kanalu, odnosno odnosa H/a .



Sl. 33-8 Rezultati simulacije procjeđivanja električnom analogijom za trapezni kanal odnosa $H/a = 0,75$

Za proračun specifičnog procjeđivanja Q upotrebljava se sljedeći izraz:

$$Q = \frac{I}{K} \cdot K \cdot b \quad (m^3 / m \cdot dan)$$

gdje je:

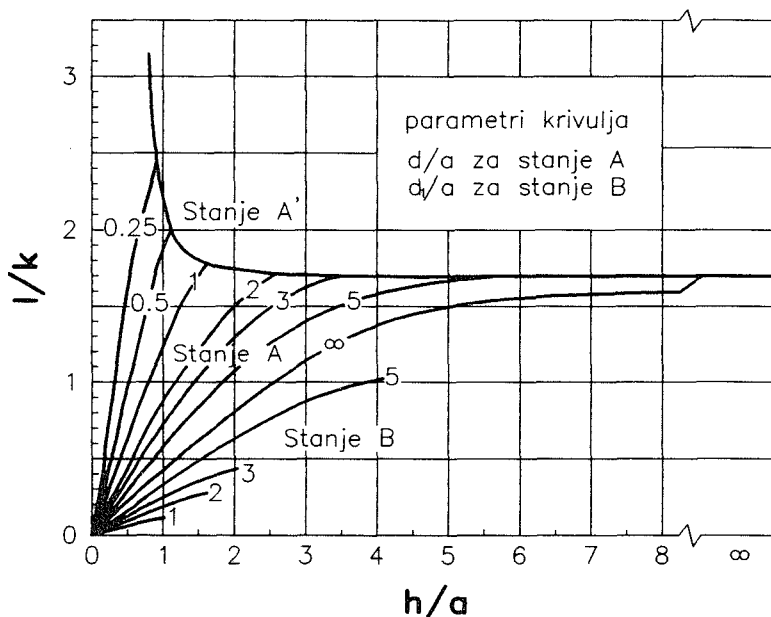
I/K - bezdimenzionalna veličina koja se dobiva iz dijagrama

K - hidraulička vodljivost (po Darcyju)

b - širina vodnog lica u kanalu.

Ako kanal koji se ispituje ima nagib pokosa različit od 1:1 onda se presjek toga kanala mora prilagoditi tako da bude jednak presjeku kanala jednake površine s pokosima 1:1.

U praksi se donji sloj materijala kroz koji protječe kanal smatra "propusnim" ako je njegova K vrijednost 10 puta veća od gornjeg sloja (stanje A). Na jednak se način postupa i u slučaju B.



Sl. 33-9 Rezultati simuliranja procjeđivanja električnom analogijom za trapezni kanal odnosa $H/a = 0,50$

Prema nomogramu, utjecaj propusnog sloja (stanje A) na procjeđivanje postaje dosta malen kada je ta veličina veća od pet puta širine dna. Što je propusni sloj bliži dnu kanala to je i procjeđivanje veće. Procjeđivanje se također povećava s povećanjem dubine podzemne vode.

Kod stanja A', očito je da procjeđivanje ostaje uglavnom konstantno za široku lepezu dubine propusnog sloja. Kad ta dubina postaje manja od tri dubine kanala, vrijednost se procjeđivanja naglo povećava.

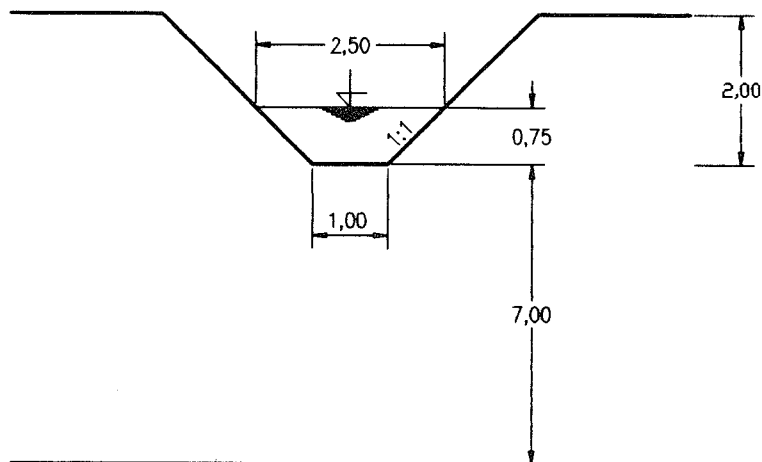
Kod stanja B nepropusni sloj ima bitnu ulogu na procjeđivanje samo ako mu je razmak dna kanala manji od pet puta širine dna kanala.

Računski primjer

Zadano: Kanal je iskopan u pjeskovitoj ilovači s $K = 0,30$ m/dan. Donji nepropusni sloj ima K barem 10 puta manji. Slijedi, imamo slučaj A

$H = 0,75$ m

$a = 1,00 \text{ m}$
 $b = 2,50 \text{ m}$
 pokosi 1:1
 $h = 2,00 \text{ m}$
 $d = 7,00 \text{ m}$



Sl. 33-10 Skica računskog primjera

Iz gornjega imamo:

$$\frac{d}{a} = 7:1 = 7$$

$$\frac{h}{a} = 2:1 = 2$$

$$\frac{H}{b} = 0,75:1 = 0,75$$

Iz slike 33-10 imamo da je $I/K = 0,58$

Iz toga slijedi da je:

$$Q = \frac{I}{K} \cdot K \cdot b = 0,58 \cdot 0,30 \cdot 2,50 = 0,43 \text{ m}^3 / \text{m} / \text{dan}$$

b) Određivanje hidrauličke vodljivosti

Iz izloženoga je gradiva u prethodnim poglavljima jasno da se proračun (procjena) veličina procjeđivanja ne može provesti bez poznavanja osnovnih podataka o kanalu i tlu, pri čemu je, bez sumnje, najznačajnija veličina vrijednost hidrauličke provodljivosti (vodopropusnosti) tla (K po Darcyju). Ta veličina varira u

veoma širokim granicama tako da npr. razlika za K između gline i krupnog šljunka iznosi oko milijardu puta. Metoda za mjerenje K ima više, ali sve se mogu grupirati u dvije skupine, i to: metode koje mjere K ispod razine podzemne vode i obratno, odnosno metode koje K mjere iznad razine podzemne vode.

Prosječna hidraulička vodljivost može se dobiti primjenom pokusnog crpljenja. Brže i jeftinije može se to izvesti pomoću auger metode, zatim metode pijezometra i više-bunarske metode.

Za procjenu gubitaka iz natapnih kanala posebno su zanimljive metode koje mjere hidrauličku vodljivost iznad razine podzemne vode. Te se metode mogu podijeliti u dvije skupine, i to jednodimenzionalne (vertikalni tok) i simetrične u odnosu na vertikalnu os (horizontalni tok).

Najznačajniji je predstavnik metode vertikalnog toka infiltrometar, odnosno metoda dvaju cilindara, dok se za slučaj toka simetričnog na vertikalnu os uglavnom primjenjuje bunarski permeametar i metoda dvostruke cijevi. Detaljniji opis uređaja i postupaka pri mjerenju treba potražiti u odnosnoj literaturi.

Laboratorijsko određivanje hidrauličke vodljivosti može se provesti na neporemećenim i poremećenim uzorcima. Rezultati su mjerenja u laboratoriju obično manje pouzdani od onih na terenu. Od metoda mjerenja na neporemećenim uzorcima, najpoznatija je ona od Kopeckoga, koja se i najviše upotrebljava.

c) Mjerenje vodopropusnosti na postojećim kanalima

Postojeće, standardne metode za mjerenje gubitaka vode na procjeđivanje jesu: otjecanje-dotjecanje, metoda punjenja (akumulacije) i metoda pomoću mjerača procjeđivanja. Dakako, postoje i druge, "suvremenije" metode kao što su metode pomoću obilježivača, pomoću analogije (električnog otpora), pijezometara i druge, ali se one još uvijek malo i rijetko primjenjuju. Svaka od tih metoda ima svoje prednosti i mane, neke mogu poslužiti za kvalitativne zaključke, druge su prikladne za kvantitativne prognoze, pa ih prije primjene treba detaljno proučiti. Vjerojatno bi za naše prilike najbolje odgovarala metoda punjenja, koja se i inače mnogo upotrebljava.

Razlozi da se pristupi mjerenju procjeđivanja kod postojećih kanala mogu biti sljedeći:

- da se utvrde potezi kanala koji najviše gube vodu na procjeđivanje kako bi se pristupilo njihovoj sanaciji, odnosno oblaganju;

- da se ispituju gubici na dovršenim dijelovima (neobložena) kanala kako bi se prognoziralo procjeđivanje na neizgrađenim dionicama te izmijenilo rješenje u smislu projektiranja obloge, odnosno promjene tipa obloge, ako se to pokaže potrebnim;

- da se utvrde gubici bilo na obloženim ili neobloženim kanalima kako bi se to iskustvo moglo upotrijebiti za planiranje drugih projekata; ili

- da se sazna tačna količina vode koju razmatrani kanalski sustav doprema na natapno područje.

Metoda otjecanje-dotjecanje sastoji se u tome da se za određenu dionicu kanala (recimo za nekoliko km) točno izmjeri količina koja utječe (ulazi) u tu dionicu i

količina koja istječe na kraju dionice. Razlika između tih dvaju mjerenja pripisuje se gubicima na procjeđivanje. Ako su gubici jako mali, treba uzeti u obzir isparavanje i oborine za vrijeme testa; ako su značajni to se može i zanemariti, jer predstavljaju zanemarivi dio veličine poniranja. Dakako, moguće dotoke, potrošnju, koncentrirano istjecanje treba svakako uzeti u obzir. Načini su mjerenja dotoka, odnosno odtoka standardni: mogu se upotrijebiti hidrometrijsko krilo (veći kanali), preljevi, razni vodomjeri i sl., što zavisi od lokalnih prilika. Metoda punjenja sastoji se u mjerenju sniženja razine vode nekog poteza kanala nakon što je bio prethodno ispunjen vodom. U praksi se to realizira tako da se nekoliko stotina metara ili nekoliko km (dužina ovisi o veličini kanala i padu) potpuno izolira (ustavama, nasipima i sl.), zatim napuni vodom - recimo oko 7 dana - da se zasiti tlo i potom potpuno zatvori. Razina vode mjeri se (na više mjesta) svaka 24 sata, a ako postupak duže traje uzima se u obzir i isparavanje i moguće oborine. Jedna je varijanta te metode da se kanal puni onim intenzitetom kako se iz njega gubi voda tako da je razina konstantna. Na kraju se veličina procjeđivanja odredi po formuli:

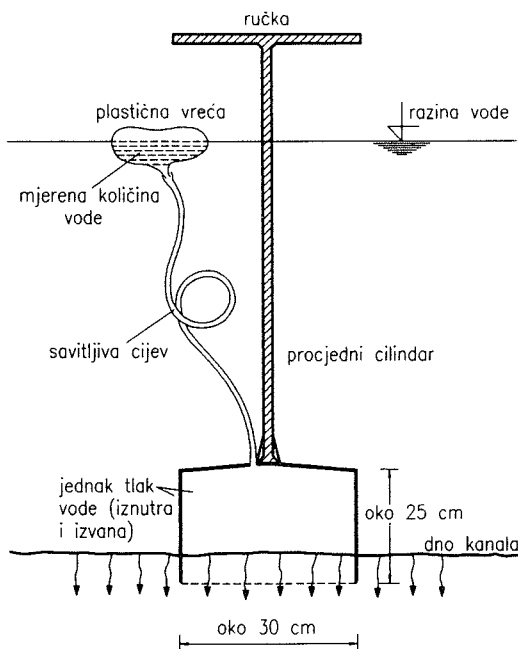
$$I = \frac{b \cdot (d_1 - d_2) \cdot L}{O \cdot L} \quad (m^3 / m^2 / 24 h)$$

gdje je:

- I - prosječno procjeđivanje u $m^3/m^2/24 h$ na potezu L
- b - prosječna širina vodnog lica u m
- d_1 - dubina vode na početku
- d_2 - dubina vode nakon 24 sata
- O - prosječan omočeni obod
- L - duljina poteza kanala

Metoda pomoću mjerača procjeđivanja (vrsta permeametra) koji je posebno prilagođen za podvodno mjerenje. Tih mjerača ima više tipova, ali će se ovdje opisati samo tip s potopljenom najlonskom vrećom napunjenom vodom. To je vjerojatno najjednostavniji i najjeftiniji tip ovakva uređaja. Sastoji se od procjednog cilindra spojenoga s fleksibilnom cijevi za najlonsku vreću ispunjenu vodom koja pliva na površini (vidi sl. 33-11).

Voda teče iz vreće u podvodni cilindar, a odatle se procjeđuje (infiltrira) u tlo, odnosno dno kanala. Potopljenom se vrećicom osigurava da se zapremnina vreće smanjuje u skladu sa smanjenjem njena sadržaja tako da je u vreći i oko nje tlak konstantan. Vrijednost procjeđivanja utvrdi se na osnovi mase izgubljene vode u znanom vremenskom razdoblju na površini pokrivenoj cilindrom. Sam uređaj, a i postupak mjerenja, jako je jednostavan. Cilindar se samo malo utakne u tlo da se ne poremeti površinska struktura. Za to se vrijeme nešto iznad površine drži gornji kraj cijevi (nespojene s vrećom), potom se cijev spoji s najlon vrećicom vodeći računa da je uspostavljena ravnoteža tlaka (nema zraka u cijevi!). Točnost mjerenja u mnogome ovisi o ravnoteži tlaka u potopljenom cilindru i izvan njega.



Sl. 33-11 Mjerač procjeđivanja s potopljenom najlonskom vrećicom

3.3.1.5. Oblaganje kanala

3.3.1.5.1. Krute obloge

U tu kategoriju spadaju sve vrste obloga iz betona, armiranog betona, kompaktiranog tla, asfaltnih materijala kao i obloge iz kamena u cementnom mortu te cigle.

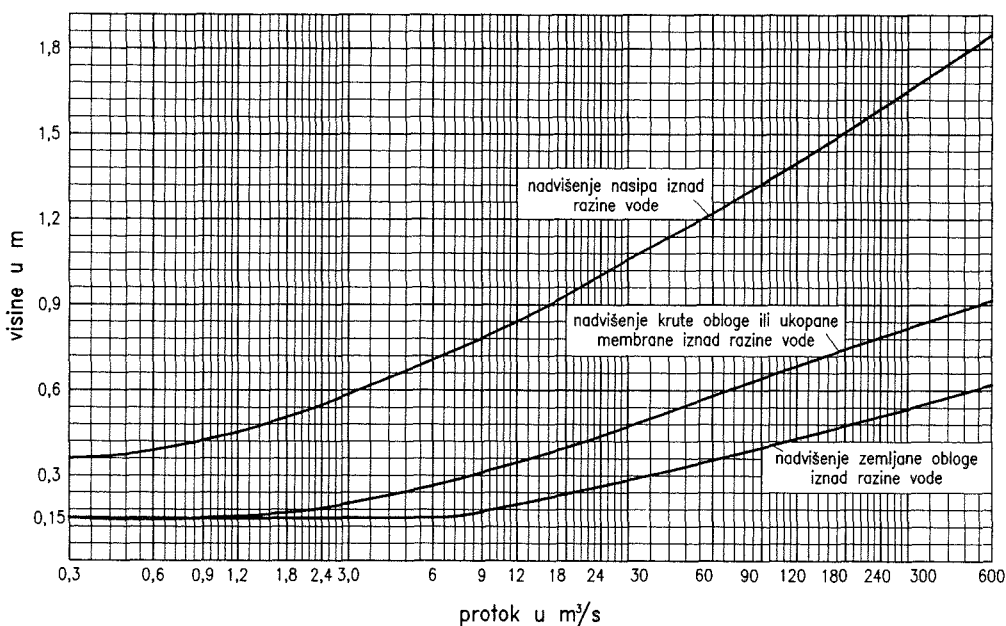
a) Opće napomene

Poprečni presjek

Kako su obloge te skupine sve redom jako skupe, pri izboru poprečnog presjeka treba birati takva rješenja koja za određenu površinu presjeka imaju najmanju dužinu oboda. Nema sumnje da u tu kategoriju spadaju polukružni presjeci, ali s obzirom na neke poteškoće pri gradnji i održavanju, za veće se kanale nerado biraju. U tom slučaju najbliži oblik tom kriteriju je trapez, pa se on uglavnom i upotrebljava. Obloženi trapezni presjeci imaju najčešće nagib pokosa od 1:1,5 do 1:1. Strmiji se pokosi teško realiziraju zbog stabilneta tla i klizanja obloge.

Ti se kanali obično planiraju uz odnos širine dna kanala prema dubini vode od 1 do 2. Manji presjeci imaju najčešće taj odnos od 1, dok se kod velikih kanala to obično planira s 2 ili više.

Nadvišenje iznad razine vode treba osigurati iznenadno povećanje protoka iznad normale. Ono ovisi o veličini kanala, režimu toka, dotoku površinskih voda, utjecaju valova i vjetra, nataloženog nanosa, promjenama koeficijenta hrapavosti, slijedu oštih zavoja na trasi i drugome. Za tu kategoriju ono varira od min. 15 cm za najmanje presjeka do preko 60 cm za veoma velike. Na priloženom grafikonu 33-12 dane su upute US Bureau of Reclamation za izbor nadvišenja ruba kanala iznad krutih obloga, ukopanih membrana i stabiliziranog tla.



Sl. 33-12 Nadvišenje nasipa i različitih tipova obloga iznad razine vode (prema USBR)

Podloga

Trajnost i postojanost obloga u najvećoj mjeri ovisi o kvaliteti podloge. Prirodna, neporemećena tla, obično zadovoljavaju postavljenim uvjetima bez dopunske obrade. Tla niske gustoće moraju se prije postavljanja obloge ili nabiti ili

zamijeniti povoljnijima. Zbog promjene zapremnine u ovisnosti o sadržaju vlage, gline su nepodobne kao podloga oblogama, pa ih treba izbjegavati, odnosno zamijeniti (npr. šljunkom). Kod glinenih su tala moguća i druga, različita rješenja da se izbjegnu naknadne neugodnosti zbog bubrenja. Pored zamjene tla (obično na dubinu od 60 cm) ponegdje je moguće problem riješiti izmjenom trase. Ako ni to ne dolazi u obzir onda treba pribjeći drugim rješenjima kao što je npr. tretiranje tla kemijskim sredstvima (npr. vapno) ili pak proračun armirano-betonskih elemenata na predvidiva naprezanja zbog bubrenja ili stezanja.

Kod dionica kanala koje su građene u nasipu, problemi su mnogo složeniji, pa je u takvim slučajevima najbolje, pogotovo ako je nasip znatnije visine, kanal zamijeniti armirano-betonskim akveduktom.

Kod nekih tipova obloga, kao što su kompaktirana zemlja, ukopana membrana, pa i asfaltni pokrov, naknadne štete u pogonu mogu se pojaviti i zbog korova (obično močvarne vegetacije) koje je na tom tlu raslo i koje i kasnije vegetira i prodire kroz stijenke obloge, a nakon što ugine na tome mjestu, ostaju šupljine kroz koje prodire voda. Taj se problem može riješiti na taj način da se neposredno prije polaganja obloge tlo sterilizira nekim jeftinim i pouzdanim sredstvom (npr. 5% otopinom natrijeva klorida ili bornom kiselinom).

Nasip i drenaža

Kod svih vrsta krutih obloga dio kanala koji je u nasipu treba adekvatno nabiti i to najmanje do visine obloge. Širina krune kompaktiranog dijela nasipa ovisi o veličini i lokaciji kanala, kao i o vrsti obloge, ali općenito iznosi od 0,60 do 1,20 m za male kanale (do 3 m³/s), a od 2,0 do 2,5 m za velike.

Prije negoli započne nasipanje, površinu treba temeljito očistiti od humusa, odnosno do dubine prodiranja žilja, potom tako očišćenu podlogu treba izorati na dubinu od najmanje 15 cm, zasiti je vodom do najpogodnije vlažnosti i nabiti. Nabijanje se provodi u slojevima od 10 cm (nabijene podloge) tako da gustoća zbijenog dijela nasipa ne smije biti manja od 95% laboratorijskog maksimuma prema metodi Proctora.

Ako se kanal gradi u području gdje se razina podzemne vode povremeno ili trajno diže iznad dna obloge, takve dionice treba opskrbiti drenažom kako bi se uklonio hidrostatički tlak, koji bi mogao oštetiti oblogu kada je kanal prazan. Vrste drenova kao i sustavi koji se pri tome planiraju, variraju od slučaja do slučaja, a slični su kao i kod ostalih građevina.

Brzine i koeficijenti hrapavosti

Kanali s betonskim oblogama mogu podnijeti relativno velike brzine toka a da se pri tome obloga ne ošteti. Prema uputama USBR za nearmirane betonske obloge nije preporučljivo planirati brzine veće od 2,5 m/s da se spriječi moguća pojava efekta dizanja. U svakom slučaju treba izbjegavati mogućnost pojave kritične dubine odnosno dubine bliske toj vrijednosti.

Minimalne brzine treba definirati ovisno o količini i vrsti suspendiranog mulja (pretpostavlja se da je vučeni nanos uklonjen) u natapnoj vodi, rasta močvarnog bilja i širenja nekih bolesti. Da bi se spriječilo taloženje suspendiranog nanosa, brzina vode u kanalu ne smije pasti ispod kritične brzine za tu veličinu promjera čestica. Ona ovisi, međutim, i o dubini vode u kanalu, pa je to veća što je i dubina veća. Rast močvarnog bilja može bitno smanjiti kapacitet kanala. Tome se može doskočiti na dva načina: povremenim čišćenjem ili održavanjem brzine toka na min. nekih 0,7 m/s kada se taj rast bitno smanjuje. Širenje nekih bolesti (malariae, bilharzije) može se bitno smanjiti ako se brzina toka drži na min. 0,4 m/s.

Uobičajeni koeficijenti hrapavosti (n) prema Manningovoj formuli koji su testirani u praksi, kako za obložene, tako i za neobložene natapne kanale, dani su u tablici 33-9.

b) Betonske obloge

Najraširenije su i vjerojatno najpodobnije kanalske obloge betonske. Ako su dobro planirane, građene i održavane moraju trajati najmanje 40 godina. Danas ima u pogonu veći broj ovih kanalskih obloga starih već više od 80 godina bez vidnih znakova oštećenja. Ako se može izbjeći, odnosno sanirati nepovoljan utjecaj soli i slegnuća (pucanja), praktički je njihova trajnost vječna. One su podobne za najmanje i najveće presjeka te za male i velike brzine. Mana im je što su podložne pucanju zbog promjene podloge, ali to se može sanirati s asfaltnim preparatima.

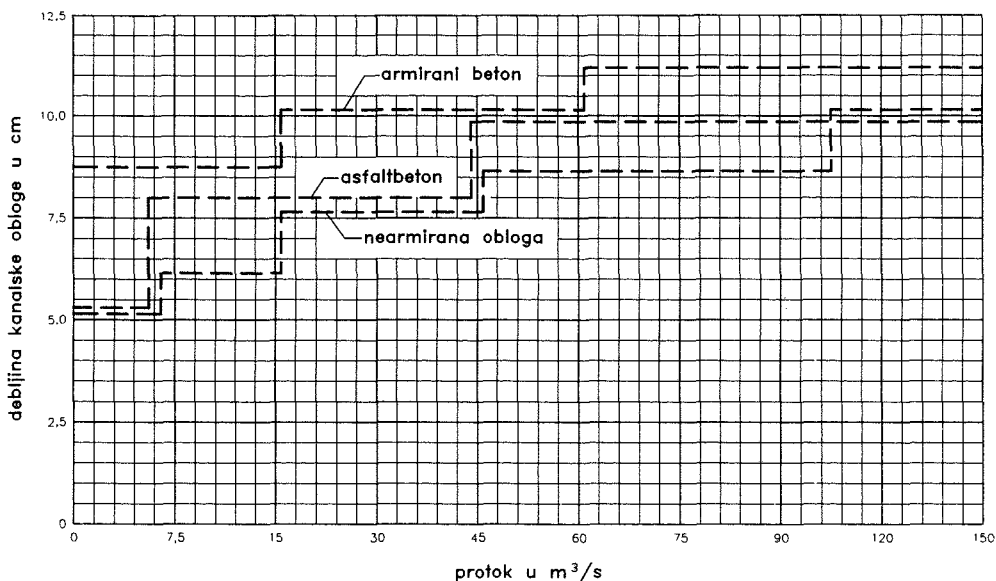
Projektiranje betonskih obloga

Što se tiče debljine obloge, ne postoji određeno pravilo ili standard koji bi trebalo slijediti. Tako npr. za male kanale u područjima bez jačih mrazeva, nearmirana obloga od 4 cm može se smatrati sasvim zadovoljavajućom. U mnogim se zemljama umjerenog klimatskog pojasa primjenjuju debljine obloga od 5 do 8 cm za male do srednje presjeka te 8 do 10 cm za srednje do velike presjeka. U područjima s nepovoljnim prilikama (loša podloga, česte promjene razine vode i sl.) debljina obloge za velike presjeka može doseći i 15 i više cm.

U ranijim godinama izvedbe (prije 50 i više godina) običavalo se armirati betonske obloge. Međutim, iskustvo je pokazalo da to nije nužno, jer armatura bitno ne poboljšava kvalitetu i trajnost, ali zato povećava troškove. Zato se zadnjih 30-ak godina obloge izvode uglavnom bez armature. Dokazano je, naime, da armatura uglavnom koristi utoliko što smanjuje širinu pukotina i onemogućava razdvajanje polomljenih dijelova. Ako je ipak potrebno armirati oblogu, onda je uobičajena količina čelika: za uzdužnu armaturu od 0,10 do 0,40% od presjeka betona, a za poprečnu od 0,10 do 0,20%.

Koeficijenti hrapavosti (n) po Manningu za neobložene i obložene kanale
Tablica 33-9

Vrsta površine - obloge	Vrijednost n	Reference
A. Neobloženi kanali		
1. Glatki zemljani kanali bez vegetacije	0,02	SAD, USBR
2. Mali kanali u dobrom stanju	0,025	SAD, USBR
3. Zemljani kanali znatno obrasli	0,030-0,035	SAD, USBR
4. Zemljani kanali gusto obrasli	0,040-0,050	SAD, USBR
5. Kanali u stijeni		
- glavni	0,030-0,035	Francuska
- mali	0,035-0,040	Francuska
- glatki i pravilni	0,025-0,040	
- hrapavi i nepravilni	0,035-0,050	
B. Obloženi kanali		
I. Betonske obloge		
1. Izuzetno kvalitetna obrada	0,011	Indija
2. Jako dobra obrada	0,013	SSSR i drugi
3. Dobra obrada za ravne potezce	0,013	Francuska
4. Općenito primjenjeno za dobre obrade	0,014	USBR, ICID i drugi ICID i drugi
5. Općenito primjenjeno za prosječne obrade	0,015	
6. Općenito primjenjeno za loše obrade i krivudave poteze	0,017	ICID i drugi Indija, Pakistan
7. Loše građeni i loše održavani kanali	0,018	
II. Asfaltbeton		SAD
1. Strojna izvedba	0,014	Japan, SSSR
2. Glatki	0,014	Japan, SSSR
3. Hrapavi	0,017	
III. Zemlja-cement		ICID
1. Dobra izvedba	0,015	ICID
2. Hrapavo	0,016	
IV. Cementni mort (ručna obrada)		Pakistan
1. Normalno	0,013	Pakistan
2. Maksimalno	0,015	Japan
V. Prefabricirane betonske ploče	0,015-0,017	Japan
VI. Prefabricirani betonski kanali	0,012-0,016	
VII. Obloga od cigle		Indija
1. Cigla u cementnom mortu	0,013-0,017	Indija
2. Obloga od cigle (projektirano)	0,0146	Indija
3. Ogloba od cigle (mjerne vrijednosti)	0,018	Indija
VIII. Kamene obloge (zide)	0,018-0,0225	Japan
IX. Suhozide u kamenu	0,023-0,035	SAD
X. Prefabricirani asfaltni materijali	0,015	
XI. Ukopane membrane i konsolidirane zemljane obloge		
1. Mali presjeci		SAD, Japan
2. Veliki presjeci	0,025	SAD
	0,020-0,0225	

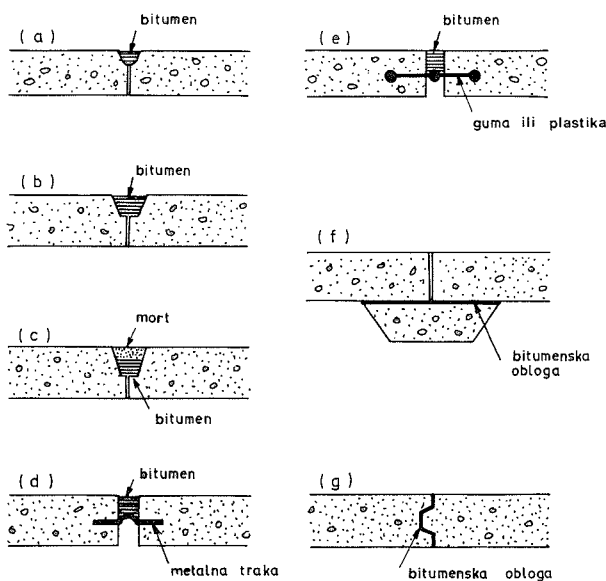


Sl. 33-13 Određivanje debljine krutih obloga ovisno o kapacitetu kanala (prema USBR)

Kod kanalskih se obloga pojavljuju četiri vrste spojeva (dilatacija): konstrukcijski, poprečni, uzdužni i ekspanzijski. Konstrukcijski se spoj pojavljuje na svakome onome mjestu gdje se prekida postupak betoniranja, a taj u pravilu postaje jedan od ostala tri spomenuta. Poprečni spojevi služe za kontrolu poprečnih pukotina koje nastaju zbog skupljanja betona (vlaga i temperatura). U.S. Bureau of Reclamation preporučuje sljedeći razmak spojeva u nearmiranim oblogama:

Debljina obloge	Približan razmak spojeva
5,0 do 6,5 cm	3 m
7,5 do 10,0 cm	3,5 do 4,5 m

Prosječni razmak spojnica iznosi oko 50 puta debljine ploče. Uzdužni se spojevi upotrebljavaju za sprečavanje uzdužnih pukotina, a primjenjuju se kod dužine pokosa od 9 m ili više i obično su na razmaku od 2,5 do 4,5 m. Ekspanzijski se spojevi obično ne upotrebljavaju, već tu funkciju obavljaju ostale vrste spomenutih spojeva (utora).



Sl. 33-14 Dilatacijski spojevi koji se najčešće primjenjuju pri oblaganju kanala

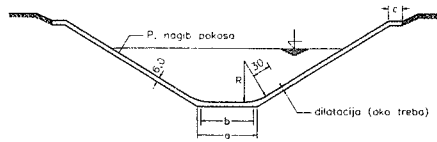
U mnogim su zemljama s dugom tradicijom u gradnji obloženih natapnih kanala doneseni standardi i propisane tipске dimenzije kanala, uglavnom zato da bi se omogućila proizvodnja adekvatnih finišera, platforma i pokretnih oplata za njihovu realizaciju. Tako je ASAE (American Society of Agricultural Engineers) propisala tipске dimenzije obloženih presjeka natapnih kanala, čiji su elementi prikazani u tablici 33-10, a oblik poprečnog presjeka na sl. 33-15. Kao što se vidi, kanali su od dviju vrsta nagiba pokosa: 1:1 (manji) i 1:1,5 (veći), a ukupno ima sedam tipova.

Dimenzije standardnih trapezoidnih kanala

Tablica 33-10

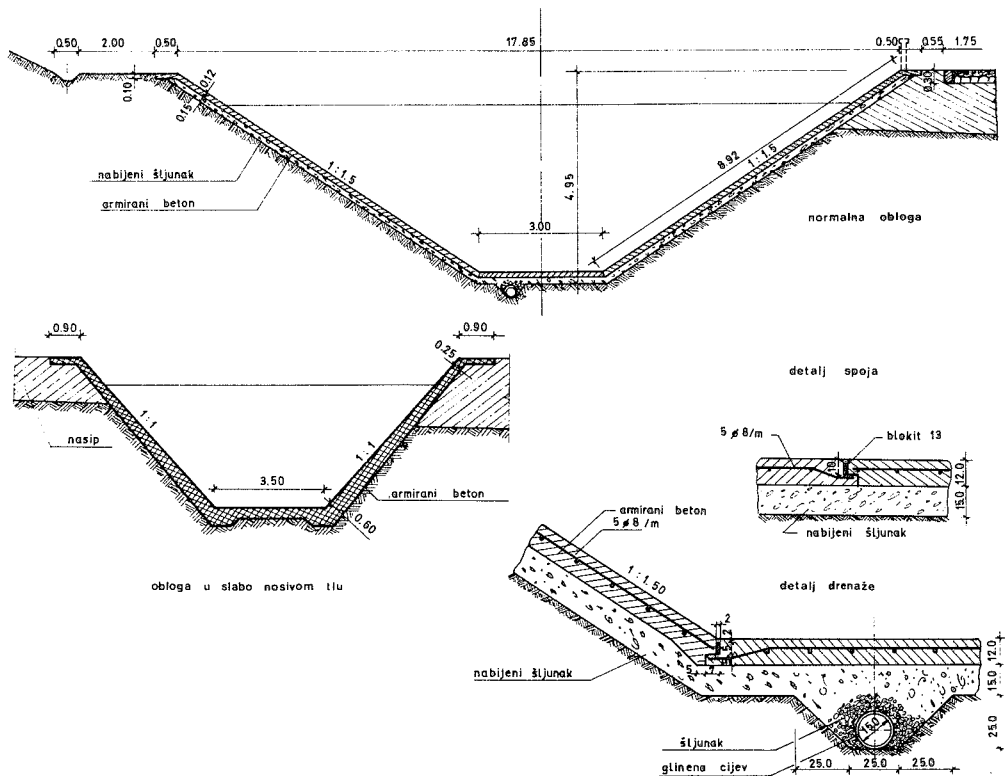
Tip	P	a	b	c	R
A-1	1:1	35,7	30,5	10,0	22,9
A-2	1:1	66,2	61,0	10,0	45,8
B-2	1:1,5	64,8	61,0	15,2	45,8
B-3	1:1,5	95,3	91,4	15,2	45,8
B-4	1:1,5	125,7	121,9	15,2	45,8
B-5	1:1,5	156,2	152,4	15,2	45,8
B-6	1:1,5	186,7	182,9	15,2	45,8

Gradenje se kanalskih betonskih obloga provodi na velik broj načina ovisno o veličini presjeka, terenskim uvjetima, stupnju razvoja zemlje, opsegu posla i drugim kriterijima, ali se općenito može podijeliti u dvije osnovne skupine: ručno i strojno.



Sl. 33-15 Standardni trapezni kanalski presjek za betonsku oblogu (prema ASAE)

Ručno se oblaganje primjenjuje pri malim količinama radova za male presjeka, u područjima s jeftinom radnom snagom i kada se iz bilo kojih razloga ne može primijeniti mehanizacija. Ručno se oblaganje malih presjeka (polukružni, trapezni ili pravokutni) obavezno realizira pomoću šablona od drva ili plastike po kojima klize ravnjače koje služe za nabijanje i ravnanje betonske mase te osiguranje odgovarajuće hrapavosti. U nekim se slučajevima betoniranje kanalskog presjeka realizira i u drvenoj ili metalnoj oplati.



Sl. 33-16 Tipični presjeci obloge glavnoga natapnog kanala sustava Mihajlovgrad (Bugarska)

Veći se kanalski presjeci danas oblažu gotovo jedino pomoću posebnih strojeva prilagođenih za te radove. Tu spadaju različite konstrukcije kliznih oplata i kliznih platforma bilo za oblaganja pojedinih elemenata presjeka bilo cijelog profila odjednom. Mnogi su strojevi građeni tako da se mogu prilagoditi različitim tipovima presjeka, a mnoge su zemlje, pak, standardizirale presjke i opremu tako da se ti poslovi mogu jeftinije i kvalitetnije obaviti. Ovdje treba naglasiti da su mehanizirane sve operacije oko građenja i oblaganja kanala, počev od iskopa, planiranja, vlaženja, betoniranja, izrada dilatacijskih spojnica, njege betona itd. Danas postoje posebni samohodni finišeri za građenje obloga i najvećih kanalskih presjeka. To, dakako, vrijedi ne samo za betonske, već i za sve ostale obloge.

c) Torkretiranje

To je postupak nanošenja obloge pod tlakom pri čemu se koristi mješavina cementa, pijeska i vode i možda nekih aditiva. Postupak se provodi pomoću komprimiranog zraka. Debljina obloge varira od 2,5 do 7,5 cm uz moguću armaturu.

Prednosti su tog postupka sljedeće:

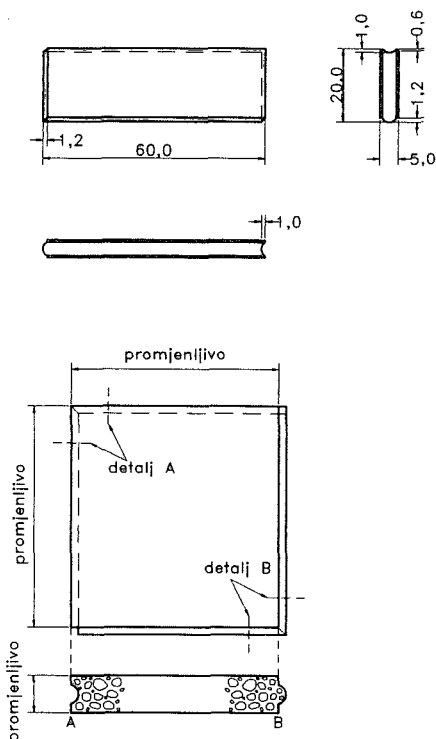
- oprema je mala i lako pokretljiva;
- nisu potrebne veće pripreme kao kod klasičnog načina.

Ta metoda nije pogodna za veći opseg radova, već više za popravke, krpanja, krivudave dionice i sl., jer je redovito skuplja nego ostali postupci.

d) Prefabricirani betonski elementi

Prefabricirani betonski elementi (bloketa i ploče) primjenjuju se za oblaganje natapnih kanala širom svijeta. Te su ploče najčešće debljine od 5 do 7 cm, a veličina im je takva da ih može ugrađivati jedan ili najviše dva radnika. Rubovi mogu biti ravni ili na utor i pero, a nakon završetka polaganja spojnice, brtve se cementnim mortom ili bituminoznom kitom. Ako se spojnice brtve cementnim mortom, onda treba svakih 4-5 m predvidjeti dilatacijske reške. Izvjesnu prednost ima brtva od elastičnog (bituminoznog) materijala jer dopušta manja pomicanja pri slegnuću ili bubrenju tla, stoga se češće i primjenjuje. Taj tip obloge nije pogodan za oštre zavoje, pa se na tim mjestima obloga obično realizira betoniranjem in situ. U izvjesnim se slučajevima dno također betonira in situ, a pokosi pomoću prefabriciranih ploča.

Za veće zahvate i veće presjke kanala, ako se raspolože odgovarajućom opremom i mehanizacijom, izradu ploča treba organizirati u odgovarajućim pogonima (tvornice prefabriciranih elemenata). U tom slučaju dobro je projektirati ploče znatno većih dimenzija, koje će se ugrađivati odgovarajućom mehanizacijom.



Sl. 33-17 Neka moguća rješenja prefabriciranih ploča za oblaganje natapnih kanala

e) Zemno-cementne obloge

Zemno-cementne obloge (konsolidirano tlo) sastoje se od mješavine pjeskovita tla, portland cementa i vode. Kod toga se primjenjuju dvije osnovne metode, i to suho miješanje i vlažno miješanje.

Metoda suhog miješanja sastoji se u tome što se na dobro pripremljenu podlogu najprije rasipa cement, i to jednoliko po površini i u planiranoj količini. Potom se površinski sloj zemlje s cementom dobro izmiješa odgovarajućim strojem uz povremeno dodavanje vode. Kada je ta operacija gotova pristupa se nabijanju mješavine pomoću pneumatskih ili drugih prikladnih valjaka do dubine od oko 10 cm. Nabijanje smjese mora se dovršiti približno za jedan sat nakon što je mješavina pripremljena. Kvaliteta obloge u najvećoj mjeri ovisi o vrsti i finoći zemnog materijala koji se upotrebljava. Ako prirodno tlo nema odgovarajuće značajke, tlo treba zamijeniti ili odustati od primjene te metode. Dakako, važnu ulogu igra i odgovarajuća zbijenost što treba kontrolirati svakodnevnim mjerenjem gustoće. Odmah nakon završetka nabijanja treba započeti njegu smjese adekvatnim vlaženjem kao i kod betonskih konstrukcija. Ako je izvedivo, poželjno je kanal što prije napuniti vodom. Kod te vrste obloga nisu potrebni dilatacijski spojevi.

Kod metode vlažnog miješanja upotrebljava se više cementa i vode po jedinici zapremnine, jer je mješavina slična betonskoj. Sastoji se u tome što se tlo i cement miješaju u odgovarajućoj mješalici koja putuje uzduž trase ili se pak smjesa priprema u odgovarajućem pogonu. Mješavina se potom, kao i kod betona, lijeva i nanosi na planirane površine bilo ručno bilo odgovarajućom mehanizacijom. Debljina tih obloga varira od 7 do 15 cm. Preporučuje se postaviti dilatacijske reške i spojnice kao i kod betonskih obloga.

Utrošak cementa za obje metode osjetno varira ovisno o vrsti i granulometrijskom sastavu tla. Tako npr. dobro granulirana smjesa od šljunka, grubog i finog pijeska s manjim postotkom plastične gline ili praha trebat će svega oko 5% cementa po težini, dok najnepovoljnije smjese zahtijevaju čak 15%. Pijesak približno jednozrnate granulacije (plaže, pustinje) troši oko 9% cementa, mjereno po težini.

Što se tiče cijene ove vrste obloge, o tome nema mnogo informacija. Neki autori navode da to iznosi oko polovine cijene za standardne betonske obloge.

f) Asfaltbetonske obloge

Asfalt, derivat sirove nafte, kada se pomiješa s pijeskom i vodom tvori materijal sličan betonu. Ipak, vijek mu je trajanja 10 do 20 godina, a najveće su dopustive brzine do 1,5 m/s. Traži sterilizaciju podloge prije polaganja da se spriječi moguće probijanje korova. Ima i nekih prednosti, među kojima mogućnost polaganja i s temperaturama ispod nule, bolje prilagođivanje promjenama podloge te mogućnost primjene manje kvalitetnog agregata. Pojavljuje se u dva oblika: vruća i hladna smjesa.

Vruća smjesa sastoji se iz brižljivo odabranih komponenata asfalta, mineralnog punila i granuliranog agregata, koja se miješa, nanosi i valja pri visokoj temperaturi. Veoma je slična smjesi za asfaltne kolnike, s razlikom što ima nešto viši postotak punila i asfalta. Vodonepropusnost ovisi o kvaliteti nabijanja, što se provodi s glatkim valjcima, vibrirajućim valjcima ili sličnom opremom. Mehanizacija i oprema koja se primjenjuje slična je onoj u cestogradnji.

Slično kao kod vrućeg postupka, moguće je asfaltnu oblogu realizirati i hladnim postupkom. Kako su troškovi polaganja takve obloge više-manje jednaki vrućem postupku, a nedostaci osjetno veći, nije se pokazala prikladna za tu namjenu.

g) Obloge od cigle

U ranijim su se razdobljima ti tipovi obloga gradili više-manje svugdje, dok se u novije doba njihova gradnja još zadržala samo u Indiji i Pakistanu. Naime, ciglene obloge mogu se uspješno realizirati samo u zemljama gdje je:

- raspoloživa velika količina jeftine radne snage;
- materijal za proizvodnju cigli u blizini gradilišta;
- mogućnost primjene ostalih tipova obloge i mehanizacije otežan ili nemoguć.

Ima veći broj isprobanih tipova i rješenja ciglenih obloga, ali s obzirom na to da se kod nas vjerojatno nikada neće graditi, u te se detalje nećemo upuštati.

h) Kamene obloge

Kamene obloge imaju u našoj zemlji dugu tradiciju: u ranijim su se razdobljima realizirale kao suhozid, a u novije u cementnom mortu. Nažalost, oblagali su se uglavnom kanali u bujičarstvu i odvodnji, a malo ili nikako za potrebe natapanja. S tim u vezi i svrha obloge nije bila vodopropusnost radi štednje vode, već zaštita kanala od erozije ili odrona.

S obzirom na to da taj tip obloge traži veliku količinu radne snage, vjerojatno se više neće primjenjivati u većoj mjeri, pogotovo za natapne kanale. Ipak, moguća je sporadična primjena na osamljenim i izdvojenim mjestima za radove manjeg opsega. Za taj slučaj treba naglasiti da dolazi u obzir samo obloga u cementnom mortu s pomno fugiranim reškama i eventualno nepropusnom folijom na podlozi.

3.3.1.5.2. Izložene membrane

U tu kategoriju spadaju membrane (folije) od asfalta, plastike i sintetičke gume. Ti isti materijali primjenjuju se i kod ukopanih (zaštićenih) membrana. Razlikuju se od svih krutih tipova po tome što osiguravaju samo vodonepropusnost, a nemaju nikakve funkcije nosivosti.

Ispitivanja provedena u SAD-u pokazuju da plastični nezaštićeni materijali, zbog djelovanja sunca, padalina i drugih čimbenika brzo stare i oštećuju se te da je slijedom toga njihova trajnost svega 2-4 godine. Pored toga izložene su bušenju od rastućeg korova, oštećenjima od stoke i mehanizacije, glodavaca, a ponegdje i krađi.

Zbog svih se navedenih razloga taj tip obloge nije jače raširio u natapnim sustavima i vrlo se malo primjenjuje. Ipak, moguće je tim tipom izvesti hitne intervencije na oštećenim dijelovima kanala i primijeniti ga u posebnim uvjetima.

Ugradnja je tih membrana vrlo jednostavna. Na pripremljenu podlogu, koja mora biti ravna, bez krupnog i oštrog kamenja ili drugih predmeta koji bi mogli probušiti foliju, jednostavno se razvuče folija. Uzduž gornjeg ruba kanala iskopa se rov 30x30 m, u koji se usidri s obje strane kanala i posao je praktički gotov. Može se primijeniti, praktički, kod bilo kojeg nagiba pokosa. Za hidraulički proračun preporučuje se primjena Manningova koeficijenta $n = 0,012$.

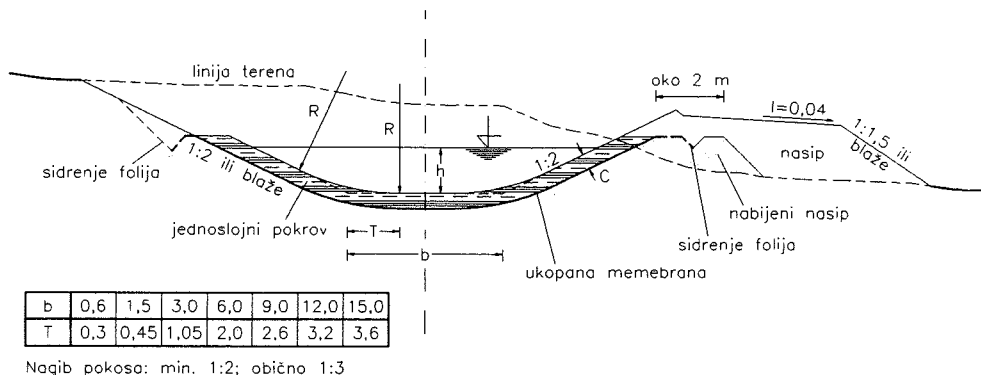
3.3.1.5.3. Ukopane (zaštićene) membrane

a) Općenito

U tu kategoriju spada veći broj tipova kao što su npr. in situ špricane asfaltne obloge, prefabricirani asfaltni elementi, plastika, umjetna guma, glina i bentonit i neke druge. Mnogo se primjenjuju za rekonstrukciju postojećih natapnih kanala, a radovi se realiziraju izvan sezone natapanja.

Prije polaganja membrane, presjek kanala treba iskopati i za dubinu koju će zauzimati obloga. Površinu dobro poravnati i nabiti te eventualno sterilizirati.

Nabijanje nije nužno kao kod krutih obloga jer je taj tip fleksibilan i ima mogućnosti adaptacije. Nagib pokosa ovisi o pokrovnom materijalu i u pravilu je blaži negoli kod krutih obloga. Neki autori preporučuju min. 1:2, dok drugi 1:3.



Sl. 33-18 Tipičan presjek obloge s ukopanom membranom

Za zaštitni se sloj u najvećem broju slučajeva upotrebljava materijal iz iskopa. Debljina sloja ovisi o brojnim lokalnim značajkama kao što su vrsta materijala, način održavanja, promet stoke i drugo, ali se, općenito, kao minimalna uzima između 15 i 30 cm. US Bureau of Reclamation preporučuje sljedeći izraz za određivanje debljine sloja:

$$C = 25 + \frac{h}{12} \quad (cm),$$

gdje je:

h = dubina vode u kanalu.

Stabilnost je pokrovnog sloja na klizanje posebno osjetljiva kod naglog sniženja vode u kanalu. Ako se takve pojave očekuju, onda treba provesti odgovarajuća ispitivanja i utvrditi moguću veličinu jediničnog sniženja. Pri tome treba naglasiti da su posebno osjetljivi nevezani materijali, kojih po potrebi treba miješati kako bi se dobila kompaktna masa, koja može izdržati planirano naglo sniženje vodostaja. Slični se problemi pojavljuju i u slučaju moguće pojave valova.

Pri planiranju primjene zaštićenih membrana treba imati na umu da je dopustiva brzina toka vode u kanalu ona koju podnosi pokrovni materijal. Prema preporukama ASAE ta brzina ne bi smjela biti veća od 0,9 m/s. Nanošenje pokriva treba započeti čim je polaganje membrane dovršeno, a započinje se od nožice pokosa prema gore. Nabijanje valjcima nije potrebno, ali pokos treba izravnati.

b) In situ prskana asfaltna membrana

Membrane te vrste u ranijim razdobljima građenja predstavljale su daleko najraširenije tipove membrana koje su se tada realizirale. Za sada nema podataka o oštećenju membrana zbog starosti, već samo zbog prodora korova, loše izvedbe (pretanka membrana) i slabe zaštite. Za tu namjenu upotrebljavaju se samo asfalti s visokom točkom omekšanja.

Asfaltne se membrane obično polažu u debljini od 5 do 8 mm, uz prosječan utrošak smjese od 7 l/m². Temperatura smjese pri nanošenju mora iznositi 175-210°C uz tlak od oko 3,5 bara. Obično se dno dovrši u jednom prolazu, dok su za pokose potrebna dva do tri prolaza. Dobro uvježbana grupa s kvalitetnom opremom može za 8-satno vrijeme nanijeti oko 40.000 l smjese.

Hladni asfaltni preparati (emulzije) nisu prikladni za kanalske membrane.

c) Prefabricirane asfaltne membrane

U tu skupinu spadaju sve vrste asfaltom obloženih vlaknastih materijala (pust), slično onima koji se upotrebljavaju za pokrivače. Kao armatura služe juta, fiberglas i azbest. Debljina im iznosi od 3 do 6 mm, a proizvode se u rolama standardnih dimenzija.

Postupak je izrade sličan kao kod toplih membrana. Spojevi se preklapaju s 5 cm i lijepe vrućim asfaltnim ili hladnim ljepilom.

Upotrebljavaju se uglavnom tamo gdje nije moguće primijeniti vrući postupak: kod malih kanala gdje nije ekonomično ili moguće primijeniti opremu za vrući postupak; kod većih kanala za kratke dionice i nepristupačne poteze i sl.

d) Membrane od plastike i sintetičke gume

Membrane od plastike upotrebljavaju se sve više za oblaganje kanala tako da posljednjih godina nadmašuju sve ostale. Proizvodi koji se najčešće upotrebljavaju jesu polivinil klorid (PVC), polietilen (PE) i guma. PE je još uvijek najotporniji na utjecaj sunca i drugih agenasa te se smatra najpodobnijim za tu namjenu. U prometu ima folija više debljina tako da se može izabrati najpodobniji tip.

Materijal se dostavlja u rolama različitih dimenzija i polaže se na pripremljenu podlogu. Spojevi se preklapaju 5-10 cm i lijepe odgovarajućim ljepilom.

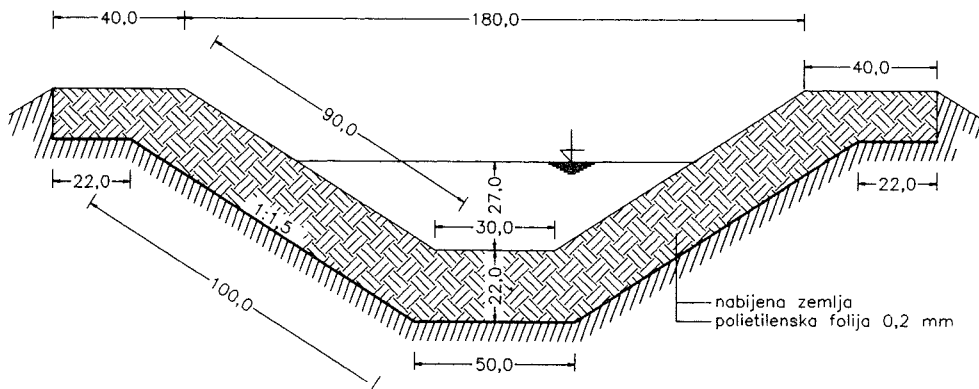
Izvedba obloge obično počinje od nizvodnog dijela prema uzvodnome. Položenu membranu treba što prije pokriti zaštitnim slojem da se izbjegne nepovoljan učinak sunca i drugih čimbenika. Kod visokih temperatura, da se izbjegne promjena dimenzija, preporučuje se radove izvesti noću.

e) Membrane od bentonita

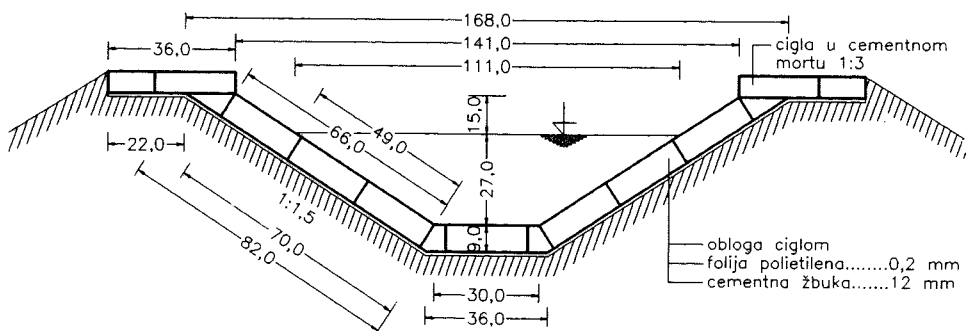
Bentonit je vrsta prirodne gline vulkanskog podrijetla čija je glavna sastojina mineral montmorcijonit. Bitna je značajka bentonita u tome što uz dodavanje vode višestruko povećava volumen - kod visokokoexpandirajućih tipova čak i do 15 puta.

Zbog takvih svojstava uvelike se primjenjuju za različite postupke brtvljenja, a posebno kod injektiranja tla.

a) zemljana zaštita



b) obloga ciglom



a) zemljana zaštita

b) obloga ciglom

Sl. 33-19 Primjeri polaganja PE folija

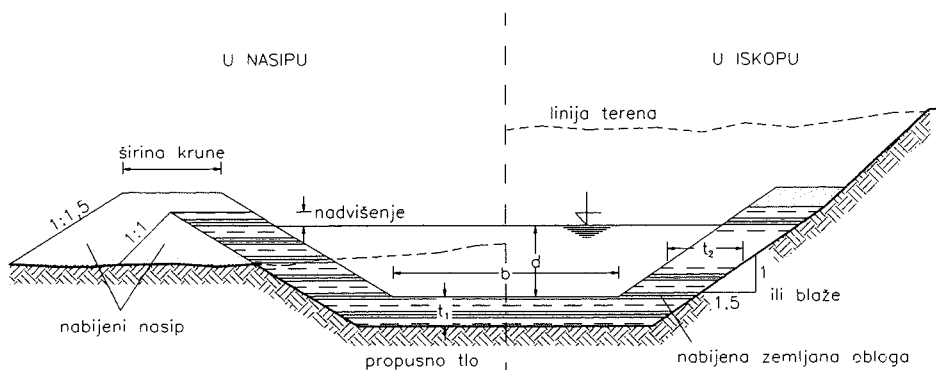
U vodogradnjama se bentonit najčešće upotrebljava za brtvljenje nanosa u kanalima i akumulacijama radi smanjenja gubitaka na procjeđivanje. Može se upotrebljavati i za ukopanu membranu. U tom se slučaju, ovisno o kvaliteti, na pripremljenu podlogu nanese sloj od 2,5 do 5,0 cm debljine i sve to potom pokrije zaštitnim slojem od 15 do 30 cm kvalitetne zemlje ili šljunka. Za sada nema još pouzdanih podataka o učinkovitosti i ekonomičnosti tih rješenja, pogotovo što se u nekim slučajevima kvaliteta pogoršala za samo nekoliko godina. Napominje se da glina koja se upotrebljava u ciglarskoj i keramičkoj industriji nije podobna za brtvljenje kanala.

3.3.1.5.4. Zemljanc obloge

S obzirom na značajan razvoj i napredak kako u području mehanike tla tako i u proizvodnji najraznovrsnijih i visokoučinkovitih strojeva za zemljane radove, zemljane se obloge u mnogim zemljama jako mnogo primjenjuju tako da u mnogim slučajevima njihova primjena dolazi odmah iza betonskih. U tu kategoriju spadaju i razni oblici stabilizacije tla. Membrane se dijele u dvije osnovne skupine: debele i tanke.

a) Općenito

Za ovu svrhu pokosi kanala moraju imati nagib od 1:1,5 ili blaži (ovisi o tipu tla). Ako kanal prolazi kroz propusne i nepropusne dionice - nepropusne dijelove ne treba oblagati. Mraz i naizmjenično sušenje i vlaženje predstavljaju najveće opasnosti za trajnost obloge jer smanjuju gustoću tla i povećavaju vodopropusnost. Ovisno o primijenjenome materijalu, moguće će biti potrebno i zaštititi presjek od erozije ili adekvatno smanjiti brzinu vode. U takvim će slučajevima trebati izraditi ekonomsku analizu o mogućoj prednosti neke druge vrste obloge koja dopušta veće brzine, a k tome i potrebu manjega poprečnog presjeka.



Dubina (d)	Debljina na dnu (t_1)	Debljina na pokosu (t_2)	Odnos b/d	Nagib pokosa (S)
60 cm	30 cm	90 cm	2	1:1,5
120 cm	45 cm	120 cm	3	1:1,5 ili 1:1,75
250 cm	60 cm	180 cm	3,5	1:2
250 cm	60 cm	250 cm	4-7	1:2

Sl. 33-20 Tipičan presjek kanala sa zemljanom oblogom s osnovnim značajkama.

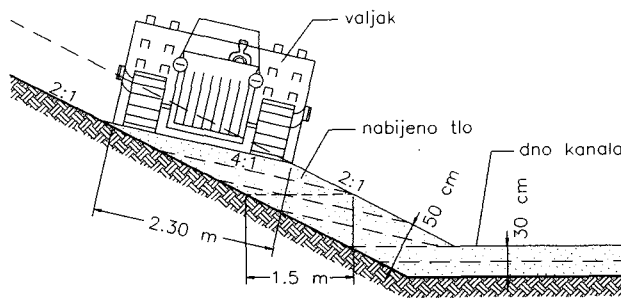
Taj tip obloge zahtijeva veoma strogu kontrolu ugradnje materijala, odnosno kvalitete izvedbe. Kontrole primjene optimalne vlažnosti i postizanja adekvatne zbijenosti moraju biti neprekidne. Obično se traži gustoća po Proctoru od 95 do 98% od laboratorijskog maksimuma. Ujedno treba, već na početku radova, provesti na uzorku membrane laboratorijski test o vodopropusnosti te nekoliko mjerenja procjeđivanja in situ po jednoj od metoda opisanih ranije.

b) Debele zemljane obloge

Na lokacijama gdje u neposrednoj blizini stoji na raspolaganju dovoljno kvalitetna zemljana materijala, taj bi tip mogao imati prednost pred mnogim drugima, pogotovo što najčešće nije potrebno graditi neke dopunske elemente (drenažu, npr.).

Građenje obloge provodi se u horizontalnim slojevima koji se pomno nabijaju do zahtijevane gustoće, a debljina ugrađenog sloja ne smije biti veća od 15 cm. Debljine pokosa i tla raznih tipova obloga vide se na priloženoj slici.

Izbor materijala za građenje obloge treba provesti na temelju postojećih propisa i standarda za tu namjenu. U tu svrhu trebati će dobro proučiti potencijalna nalazišta i na uzorcima provesti veći broj laboratorijskih ispitivanja, posebno što se tiče granulacije, plasticiteta, permeabiliteta, zbijenosti i sl. Kako glavna značajka obloge mora biti vodonepropusnost, to tom pokazatelju treba posvetiti najveću pozornost. Kao mjera podobnosti, odnosno kvalitete može se uzeti granica od 30 l/m²/dan. Naime, gotova obloga ne bi smjela propuštati više od toliko. Inače, sve što je zbijenost obloge veća, to je veća i otpornost na mraz i eroziju, a i stabilnost. Da bi se dobio materijal koji će zadovoljiti sve te zahtjeve, najčešće će trebati sastaviti smjesu iz odgovarajućih komponenti, slično kao što se radi za betonske agregate.



Sl. 33-21 Postupak nabijanja na kanalu pokosa 1:4

Isplativost takvih zahvata u najvećoj mjeri ovisi o raspoloživoj specifičnoj mehanizaciji za tu vrstu zemljanih radova. Kod kanala velike širine dna i velikog presjeka s blagim pokosima to uglavnom nije problem: problem se pojavljuje kod malih kanala s malom širinom dna. Kod takvih se slučajeva često primjenjuje ugradba materijala veće debljine i u dijelu slobodnog presjeka kanala ili pak

kompaktiranje cijeloga poprečnog presjeka te se nakon dovršetka te operacije potreban presjek iskopa u tako kompaktnom trupu, a dobiveni materijal primijeni za oblogu idućih dionica kanala.

c) Tanke zemljane obloge

U pravilu se tanke zemljane obloge grade na jednak način - s jednakim materijalom i mehanizacijom kao i debele. Mehanizacija posebno kod malih presjeka mora biti prilagođena za građenje zemljane obloge debljine od svega 15 do 30 cm. Taj se tip obloge planira ako su ispunjeni sljedeći uvjeti:

- na raspolaganju je visokokvalitetan zemljani materijal koji osigurava postizanje adekvatne vododrživosti sa slojem od svega 15-30 cm obloge;
- raspoloživi materijal nalazi se na većoj udaljenosti od gradilišta tako da ga treba upotrebljavati u najmanjoj mogućoj mjeri;
- pogonski je sustav kanala takav da češća punjenja i pražnjenja nisu potrebna, i
- protočne su brzine vode u kanalu relativno niske tako da ne postoji opasnost od erozije pokosa.

U svakom slučaju, prije negoli se odluči za izbor tog tipa zaštite treba provesti detaljna ispitivanja na pokusnom uzorku.

d) Ostalo

U svijetu se još primjenjuje, nešto u većoj, a nešto u manjoj mjeri, još nekoliko metoda i načina zaštita od pretjeranih gubitaka vode na procjeđivanje. Jedna od takvih mjera, koja se dosta primjenjivala u bivšem SSSR-u sastoji se u nabijanju pokosa i dna gotovog kanala. Dadajev navodi primjer natapnog kanala protoka 50 m³/s na kojemu su tim načinom smanjeni gubici na procjeđivanje za 96%. S druge strane Šarov navodi da je to najjednostavniji i najjeftiniji način za smanjenje procjeđivanja. Kao primjer spominje da se smanjenjem poroziteta za 10%, u glinenim tlima smanjuje permeabilitet za 5 do 7 puta. Kod pjeskovitih tala za jednaku vrijednost to iznosi 3 do 4 puta.

Daljnji se mogući način smanjenja procjeđivanja kako u kanalima tako i u bazenima sastoji u dodavanju vodi prirodnih ili umjetnih brtvila. To je zapravo oponašanje prirodnih procesa, jer je poznato da u vodama koje nose suspendirani mulj, ako teku u neobloženom kanalu velike propusnosti s vremenom čestice mulja brtve šupljine u tlu, pa se njegova vodopropusnost kroz nekoliko godina bitno smanji. Upotrebljeni materijali za tu namjenu najčešće su sljedeći: prah, gline, bentonit, emulzije na bazi nafte, natrijev klorid, natrijev karbonat i drugi.

3.3.2. Cjevovodi

3.3.2.1. Općenito

U zadnjih 20-ak godina naglo se raširila primjena različitih tipova cijevi za dovođenje i razvođenje vode u natapnim mrežama. Posebno se to odnosi na male i

srednje sustave te za dopremu vode tlu kod lokalizirana natapanja i natapanja kišenjem. Kako se te mreže, u osnovi, ni po čemu ne razlikuju od sličnih mreža koje se grade za opskrbu vodom gradova i industrijskih postrojenja, to se detaljnije neće opisivati, već se čitalac upućuje na odnosnu literaturu koja je bogata i lako pristupačna. Dakako, u nastavku će se dati kratak, sažeti prikaz primjene, posebno pojedinih specifičnih značajki koje su bitne za natapanje.

Prednosti su primjene cijevnih vodova u natapanju sljedeće:

- vrlo malen gubitak obradiva tla s obzirom na to da su cijevi ukopane; kanali često zauzimaju i do 5% obradivih površina;
- smanjenje potrebe za radnom snagom i za pogon i za održavanje;
- sposobnost prilagođivanja svakoj topografiji, zbog čega su ponekad takve mreže bitno kraće od mreža otvorenih kanala;
- jednostavnost i točnost mjerenja količine vode prilikom raspodjele;
- smanjenje gubitaka na procjeđivanje i isparavanje na minimum;
- mogućnosti su razvoja nekih bolesti i širenje korova (sjemena) vodom zapravo isključene.

Dakako, takva mreža ima i nekih mana, a najveća je svakako visoka cijena izrade. Nadalje, ponekad se pojavljuju teškoće kod utvrđivanja i saniranja oštećenja, odnosno gubitaka vode na procjeđivanje.

Primjena cijevnih mreža preporučuje se:

- u gradskim ili gušće naseljenim područjima s razvijenom poljoprivredom visokovrijednih usjeva;
- u predjelima s veoma skupim tlom i gdje se nastoji iskoristiti svaku stopu obradiva tla;
- gdje postoji nestašica vode, odnosno gdje je cijena vode jako visoka zbog visokih troškova dovoda.

3.3.2.2. Vrste cijevi

Vrste cijevi, odnosno materijali iz kojih su izrađene, zapravo su jednaki kao kod vodovodnih mreža. Prema tome, primjenjuju se cijevi od lijevana željeza i duktil lijeva, čelika, azbest-cementa, betona (armiranoga, prednapregnutoga), plastike i još nekih drugih materijala.

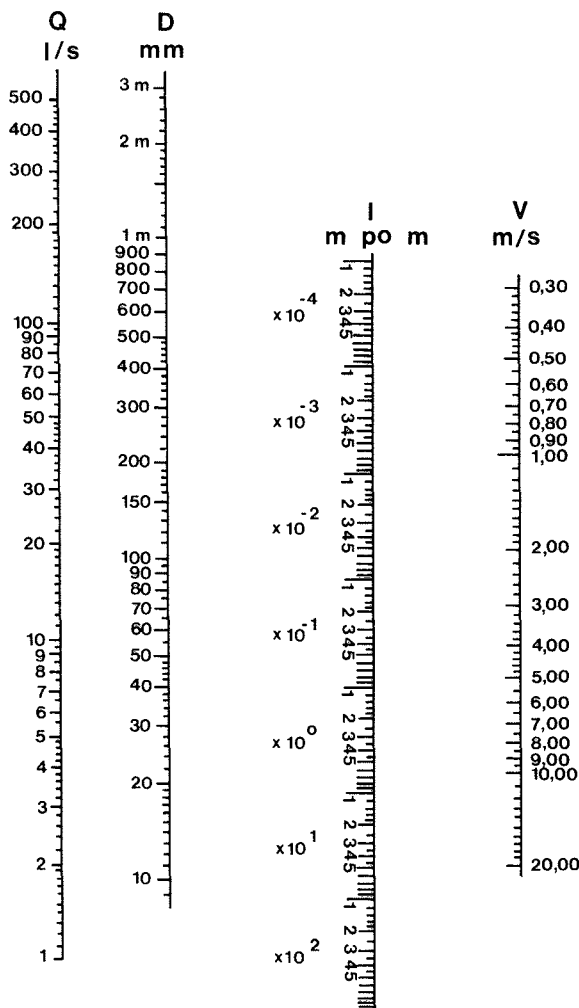
Izbor cijevi prema materijalu ovisi o mnogo čimbenika, od kojih navodimo najznačajnije:

- promjer cijevi;
- veličina radnog tlaka u mreži;
- vrsta tla u koje se ugrađuju;
- raspoloživost tih tipova na tržištu;
- odnos cijena na tržištu.

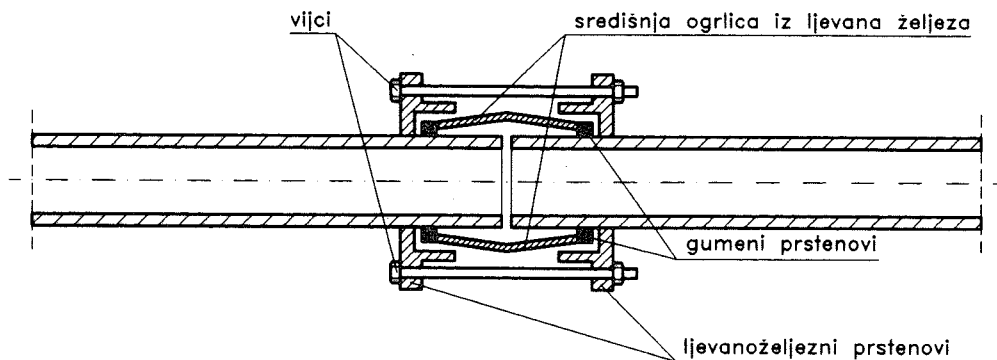
Općenito vrijedi pravilo da će se za najveće promjere birati cijevi od armiranog betona, za najmanje od plastike, a sve ostale u međuvrijednostima.

a) Cijevi su od lijevana željeza relativno skupe, ali se zbog svojih specifičnih svojstava, posebno pojavom duktil lijeva, još uvijek jako često upotrebljavaju. Prednost im je što jako dugo traju, otporne su na naprezanja, imaju niske

hidrauličke gubitke i lako se ugrađuju. Ovdje treba naglasiti da imaju nisku hrapavost (iako ne najnižu - u odnosu prema ostalima materijalima) dok su nove, ali se s vremenom na stijenjkama nakupljaju okorine, najčešće kalcijeva karbonata, koje mogu bitno povećati hrapavost, a i smanjiti raspoloživu površinu presjeka, čime se smanjuje kapacitet. Danas ima više metoda i postupaka za kemijsko i mehaničko odstranjivanje svih taložina. Spojevi su standardizirani, a najviše se primjenjuje kolčak (brtvljenje olovom i kudjeljom), prirubnica i Gibault.



Sl. 33-22 Nomogram za dimenzioniranje cijevi od lijevana željeza, čelika i azbest-cementa



Sl. 33-23 Spojnica tipa Gibault

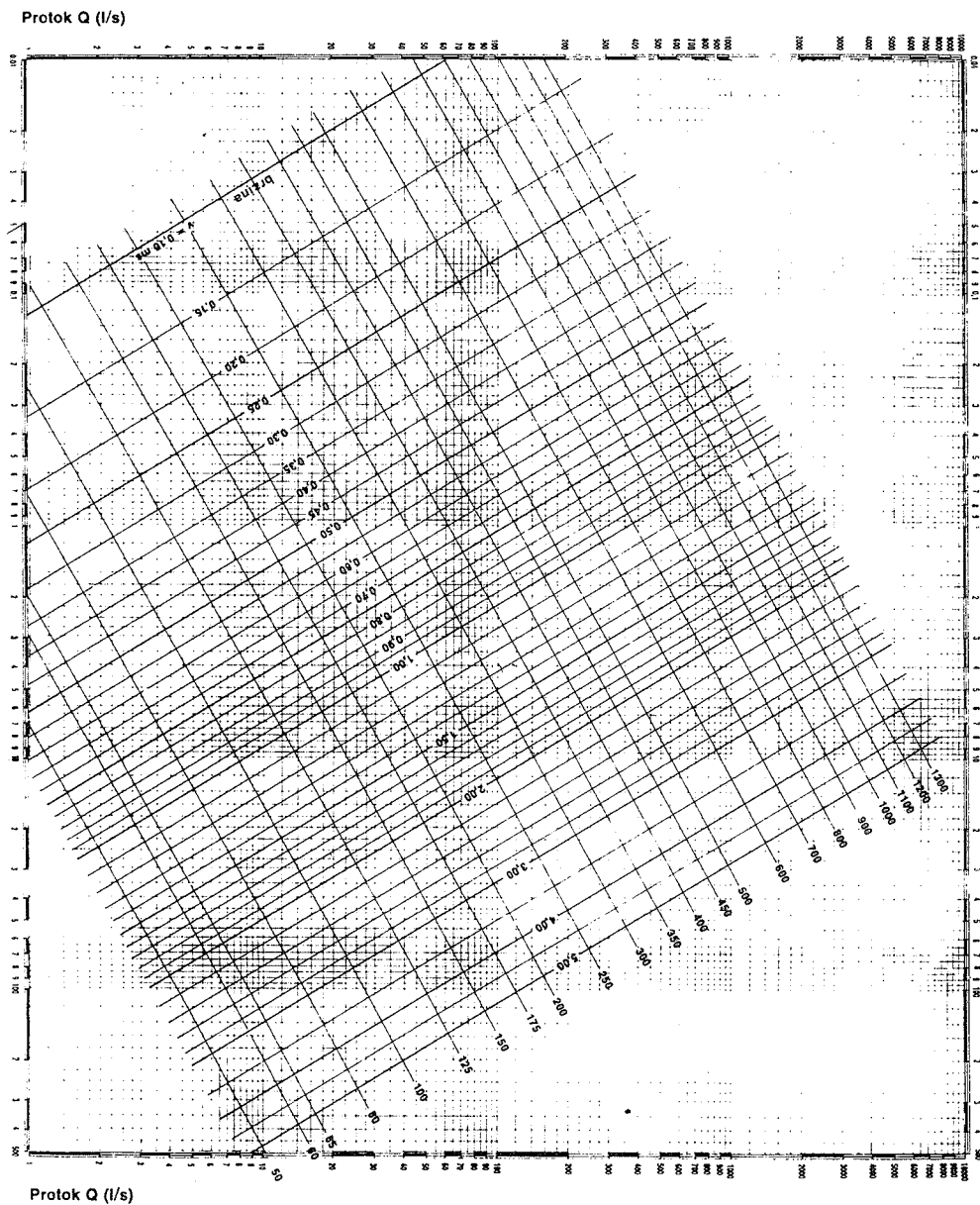
b) Čelične su cijevi, u bešavnoj izvedbi ili spiralno varene, veoma otporne na sve vrste naprezanja i primjenjuju se za najveće tlakove. Odlikuju se visokom čvrstoćom, dobrim hidrauličkim značajkama, elastičnošću i otpornošću na savijanje. Za razliku od ostalih cijevi, vrlo su osjetljive na koroziju, i to kemijsku, biokemijsku i elektrokemijsku, prouzročenu tzv. lutajućim strujama. Zaštita se sastoji u izradi unutarnjih i vanjskih obloga od primjerenih materijala, a često se naziva i katodnom zaštitom. Te izolacijske obloge omogućuju stvaranje negativnoga električnog naboja u metalu u odnosu prema naponu u tlu. Zračni (nadzemni) cjevovodi zaštite se kvalitetnije i jače i najčešće dobivaju plašt ličen minijem.

c) Cijevi od azbest-cementa koje često dolaze na tržište pod različitim komercijalnim nazivima, npr. Eternit, koji se u nas često naziva i salonit, prema nazivu proizvođača iz Kaštel-Sućurca (Solin), izrađene su od portland cementa i azbestnih vlakana koje služe kao agregat i armatura. Raspoložive su u svim komercijalnim promjerima, ali se najčešće primjenjuju za promjere od 300 do 1000 mm. Razvrstane su, ovisno o veličini radnog tlaka, u četiri kategorije: A-do 2,5 bara, B-do 5 bara, C-do 10 bara i D-do 15 bara. Veliki se promjeri za visoke tlakove uglavnom ne proizvode jer zahtijevaju debele stijenke, što im bitno povećava težinu i cijenu. Imaju vrlo glatke stijenke, odnosno niske hidrauličke gubitke, koji se s vremenom u pogonu malo mijenjaju, i relativno dobru mehaničku čvrstoću. Osjetljive su na udare, koji mogu nastati prilikom manipulacije oko prijevoza i ugradbe, a tek naknadno se na takvim mjestima pojavljuju pukotine i gubici vode, pa stoga pri takvim operacijama treba oprezno postupati.

Spajaju se spojnica "Gibault" i "Simplex", koje, ovisno o proizvođaču, mogu imati više varijanti. U nas je poznata spojnica "Dalma". Spojnice i fazonski komadi izrađeni su najčešće od lijevana željeza. Vrlo su otporne na koroziju bilo koje vrste i nisu podložne utjecaju "lutajućih struja".

d) Od betonskih se cijevi u najvećoj mjeri upotrebljavaju betonske tlačne cijevi koje se, ovisno o konstrukciji i postupku izvedbe, mogu svrstati u sljedeće tri grupe:

- običan armirani beton
- prednapregnuti armirani beton
- čelične varene cijevi obložene iznutra i izvana betonom - poznate pod nazivom "Bonna"



Sl. 33-24 Nomogram za dimenzioniranje azbest-cementnih cijevi po Colebrook-Whiteu (prema Vodogradbenoj Laboratoriji, Ljubljana)

Sve su se u praksi pokazale vrlo dobrima: imaju nizak koeficijent hidrauličkog otpora, koji se malo mijenja starenjem, ne traže gotovo nikakvo održavanje, ali ponekad traže zaštitu od lutajućih struja. Kod velikih presjeka ponekad se iz praktičnih razloga pribjegava betoniranju cjevovoda na licu mjesta. Za visoke unutarnje tlakove, bez obzira na način izvedbe, preporučuje se ugradba dviju vrsta armatura: uzdužne i spiralne.

e) Plastične cijevi, nakon pojave na tržištu krajem 60-ih godina, sve se više i više upotrebljavaju iz godine u godinu te potiskuju cijevi od ostalih materijala. Vjerojatno će se taj trend nastaviti i u buduće, jer je razvoj tih materijala u jeku. Prikladne su za sve vrste mreža, a naročito površinskih prijenosnih, jer su jako lagane i neosjetljive na udarac. Proizvode se od dvaju osnovnih materijala: polivinilklorida (PVC) i polietilena (PE). Cijevi od PE nisu se jače raširile i primjenjuju se uglavnom za male presjeka jer ne podnose visoke tlakove. Naprotiv, PVC cijevi su pokazale sve odlike dobrih cijevnih vodova. Do temperature od 60°C imaju dobra svojstva na kemijske i električne utjecaje, hidraulički su znatno povoljnije od svih ostalih vrsta cijevi, tako da za isti kapacitet imaju 35% do 40% manji presjek. Imaju termoplastična svojstva te se kod temperature od 120°C do 145°C mogu oblikovati, a na oko 200°C zavarivati. Fazonski se komadi izrađuju od plastike, lijevana željeza, miješi i dr.

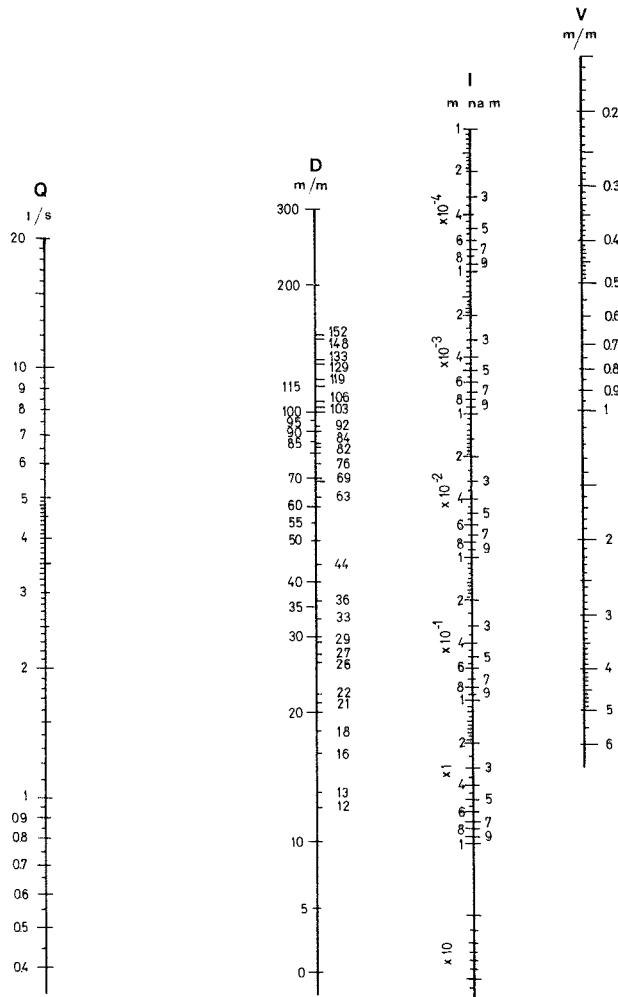
Cjevovodi se natapnih mreža po pravilu ugrađuju u odgovarajuće rovove i pokrivaju slojem zemlje tako da se s površine ne mogu oštetiti. Obično je dubina polaganja oko 0,70 m, dakle manja nego kod sustava opskrbe vodom za stanovništvo, jer tu nije bitna termalna zaštita. Katkada se (i u nekim zemljama) mreža polaže na površinu terena u betonska postolja koja su za to pripremljena. Dakako, neke se od tih vrsta cijevi moraju adekvatno zaštititi od utjecaja padalina i drugih učinaka. Nadzemno polaganje ima i nekih prednosti (osim što otpada iskop rova i zatrpavanje) među kojima je najznačajnija veoma lagan i učinkovit nadzor mogućih oštećenja odnosno gubitaka vode, što se može brzo i jeftino otkloniti.

3.3.2.3. Hidraulički proračun cjevovoda

Hidraulički je proračun i cijevi (linijski i lokalni otpori) i svih pratećih građevina u mreži istovjetan s jednakim takvim proračunom u sustavima za opskrbu vodom naselja. Kako su literatura i ostala pomagala za te proračune dosta raširena i dostupna svakom projektantu, neće se na ovome mjestu detaljnije to obrađivati. Ipak, radi potpunosti informacija i da pojedinac možda, makar i približno, odredi dimenzije pojedinih elemenata, priloženi su odgovarajući nomogrami za dimenzioniranje cjevovoda za sve vrste materijala koji se ovdje razmatraju. U Vodogradbenoj laboratoriji Građevinskog fakulteta u Ljubljani provedeno je 1960.godine ispitivanje hidrauličkih karakteristika salonitnih cijevi profila 150 mm, a zatim su na temelju Colebrook-Whiteova izraza za koeficijent otpora:

$$\frac{l}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \frac{2,5l}{R_e \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3,71d}$$

izradene tablice i nomogram za dimenzioniranje. Pri tome je koeficijent apsolutne hrapavosti ε za nove cijevi uzet 0,012, a za upotrebljavane 0,025.



Sl. 33-25 Nomogram za dimenzioniranje cijevi iz plastičnih masa

3.3.3. Crpne postaje

3.3.3.1. Općenito

Potreba za dizanjem vode na veću visinu pojavila se istovremeno s pojavom potrebe za natapanjem. Prve naprave koje su omogućavale podizanje vode iz kanala ili podzemlja bile su jednostavne, malog kapaciteta i male visine dizanja, najčešće na ljudski ili pak životinjski pogon. Dakako, kroz proteklih nekoliko milenija, ta se tehnika mijenjala i usavršavala, poprimivši najrazličitije oblike u pojedinim krajevima, posebno na Bliskom istoku i u pojedinim zemljama Azije. Danas se te naprave, barem u razvijenim zemljama, više ne grade niti upotrebljavaju. Međutim, ima još područja na svijetu gdje su pojedini antički strojevi, zapravo bez bitnih izmjena, u pogonu već nekoliko tisućljeća.

U osnovi, crpne postaje za natapanje ne razlikuju se bitno od jednakih takvih postaja u drugim područjima hidrotehnike (odvodnja, opskrba vodom pučanstva i dr.), pa se ovdje ta materija neće opširnije razmatrati, već se čitalac upućuje na odnosnu specifičnu literaturu. U nastavku će se dati pregled osnovnih elemenata te prikaz nekih specifičnosti koje se susreću u natapanju.

Kod natapanja se uglavnom pojavljuju dva tipa crpnih postaja: niskotlačne i visokotlačne, i to za čistu vodu. Niskotlačne postaje pojavljuju se uglavnom na zahvatu, i to za dizanje vode iz rijeke (ako nije gravitacijsko) i podzemlja ili jezera u glavni natapni kanal ili pak, ako se dio površine ne može gravitacijski natapati, za dizanje dijela vode za tu površinu u kanal na višoj razini. Visokotlačne crpne postaje nastale su kao rezultat razvoja i primjene novih načina natapanja, posebno kišenja, koje je uslijedilo u 20. stoljeću. Naime, za pogon tih uređaja potreban je tlak u mreži, ovisno tipu, od 3 do 10, pa i više bara, što prirodno ležeća izvorišta mogu vrlo rijetko osigurati (izuzetak čine neke akumulacije ili izvori, koji leže za tu vrijednost iznad natapnih površina).

3.3.3.2. Elementi crpne postaje

Ne ulazeći u opisivanje kojekakvih sprava i naprava koje spadaju u povijest i u muzej, ovdje ćemo se samo kratko osvrnuti na osnovne elemente modernih crpnih postaja, kakve postoje u našoj zemlji i kakve će se sasvim sigurno uskoro u velikom broju graditi. Zapravo, ako izuzmemo zgradu i pomoćnu opremu, crpna postaja ima samo dva osnovna elementa, a to su motor i crpka.

a) Motor

Za pogon crpnih postrojenja upotrebljavali su se ili se još uvijek upotrebljavaju različiti tipovi motora: parni, diesel, benzinski, električni i neki drugi. Parni su motori odigrali svoju ulogu u drugoj polovici XIX. i početkom XX. stoljeća i, zbog nekih svojih nedostataka, uglavnom nisu više podesni za tu namjenu. Od motora s unutarnjim sagorijevanjem, benzinski se malo upotrebljavaju, uglavnom za manje pogone i povremenu upotrebu. Diesel motori imaju tu prednost što su jeftiniji u

pogonu (koriste se jeftinijim gorivom), imaju bolji termički učinak i ne zauzimaju puno prostora. Elektromotori su svakako najbolji i danas se, u novim postrojenjima gotovo jedino upotrebljavaju.

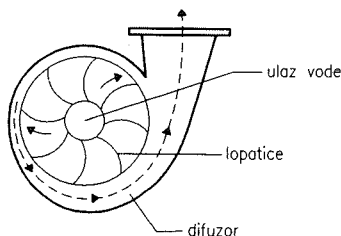
Elektromotori su vrlo jednostavni, jeftini, lako se ugrađuju, zauzimaju vrlo malo prostora, lako se održavaju, imaju visoki učinak i trenutno se uključuju u pogon. Neposredno se spajaju na osovinu crpke, čime se postiže visoki učinak. Imaju jednu jedinu manu, a to je da je za takvu postaju potrebno dovesti električnu struju. Zapravo, njihova primjena ovisi samo o cijeni električne energije.

b) Crpke

Kao što je već ranije rečeno od svih mogućih uređaja za tu namjenu koji su prohujali kroz povijest, jedino su danas u primjeni crpke i to klipne, centrifugalne i propeler.

Klipne crpke imaju jako visok učinak, ali zbog osjetljivosti u pogonu, skupa održavanja i relativno malog kapaciteta, danas se vrlo malo primjenjuju.

Centrifugalne su crpke našle najrašireniju primjenu u natapanju jer, ovisno o broju rotora (stupnjeva), mogu proizvesti bilo koji tlak u mreži. Te su crpke jednostavne, nemaju dijelova koji se lako kvare, ugradnja je jednostavna, cijena relativno niska. Mogu se upotrebljavati i za male i za najveće protoke, podnose promjene opterećenja, a održavanje je minimalno.



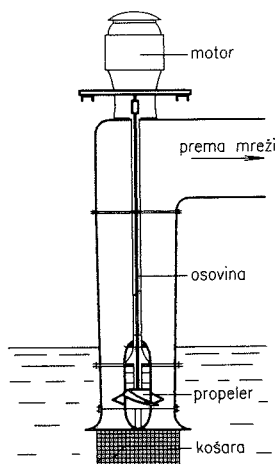
Sl. 33-26 Skica centrifugalne crpke

Propeler crpka predstavlja zapravo poseban tip centrifugalne crpke i primjenjuje se za male visine dizanja i velike količine - slučaj koji se pojavljuje kod zahvata voda iz rijeka i jezera te dizanja i prebacivanja u glavni natapni kanal.

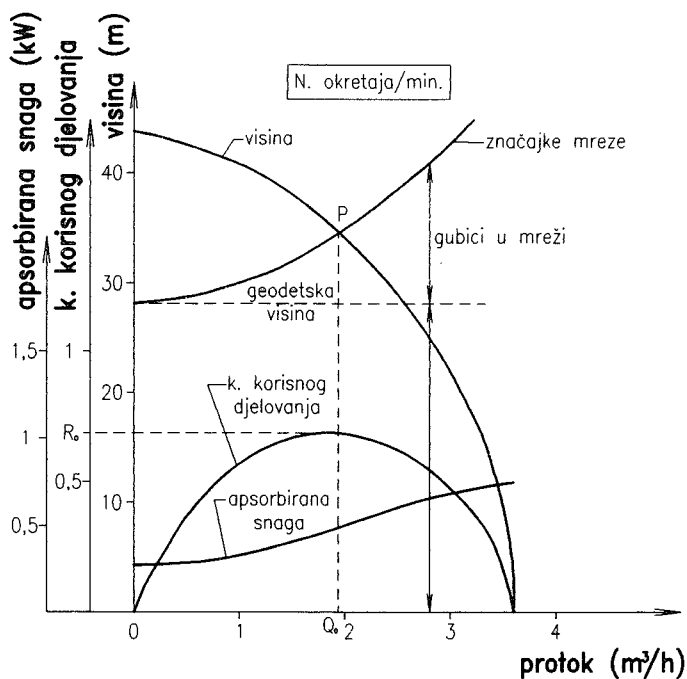
Koeficijent je korisnog djelovanja motora obično oko 0,9, a za crpku, ovisno o konstrukciji i veličini, varira između 0,6 i 0,8 tako da se ukupni korisni učinak obično kreće između 0,6 i 0,75.

Tip i veličinu crpke treba brižljivo izabrati i to detaljnim proučavanjem njenih značajki na temelju tvorničkih podataka. Svaki je proizvođač dužan za svaki proizvedeni tip crpke dati korisniku na raspolaganje grafikon radnih značajki crpke (vidi sliku). Podaci na grafikonu odnose se na odabranu (propisanu) brzinu okretanja rotora crpke, npr. 2900 o/m. Na temelju krivulja radnih značajki crpke može se odrediti:

- protok u ovisnosti o ukupnoj visini dizanja;
- korisni koeficijent djelovanja ovisno o protoku;
- apsorbirana snaga za svaki slučaj.



Sl. 33-27 Skica propeler crpke



Sl. 33-28 Karakteristične krivulje centrifugalne crpke

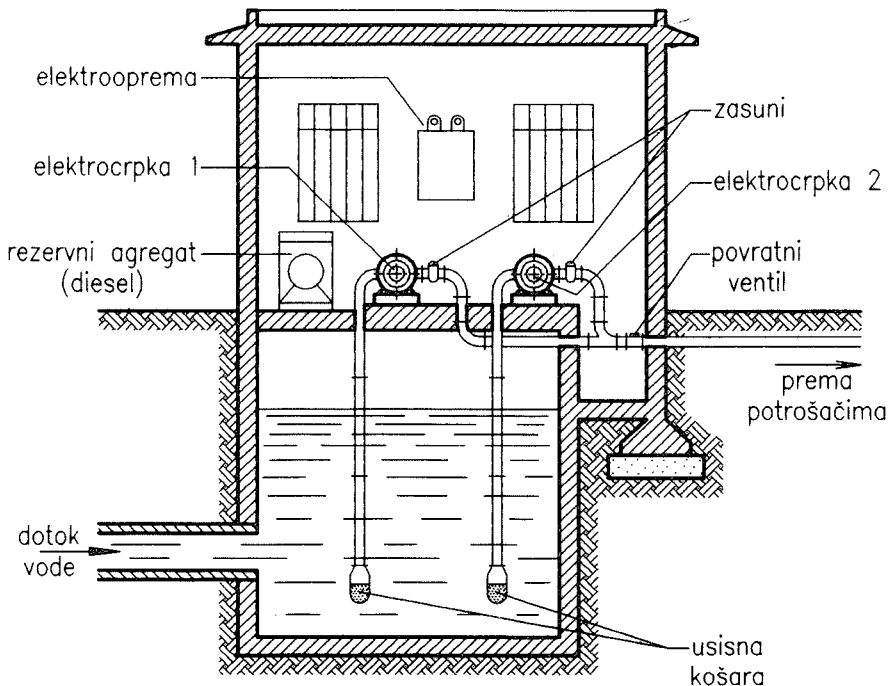
Treba svakako, izabrati tip crpke koja u određenima pogonskim uvjetima ima najbolji koeficijent korisnog djelovanja.

Na priloženom grafikonu radnih značajki crpke prikazan je i jedan konkretan primjer izbora odgovarajuće crpke. Kao što se vidi, na geodetsku visinu područja dodani su i hidraulički gubici u mreži koji rastu s povećanjem protoka u sustavu. Za zadani radni tlak u mreži dobije se sjecište te krivulje i krivulje crpke "visina-protok" (točka P), čime su ujedno definirani i ostali elementi proračuna. Na taj način dobiva se i odgovarajući protok Q_C te veličina koeficijenta korisnog djelovanja R_O . Opći zaključak: tip je crpke dobro odabran.

3.3.3.3. Pogon crpne postaje

Pri planiranju i projektiranju neke crpne postaje, najvažnije je, već na početku, definirati uvjete pogona. To su:

- kapacitet postaje i promjene protoka po vremenu,
- tlačna visina (geodetska i manometarska),
- radno vrijeme po danu,
- uvjeti sigurnosti pogona (mogući prekidi),
- fizičko-kemijske značajke vode.



Sl. 33-29 Presjek crpne postaje s centrifugalnim crpkama

Pošto se ti podaci prikupe, odnosno izračunaju, moguće je započeti rad na detaljnom planiranju i projektiranju, u prvom redu crpnih postrojenja, a potom i građevine u kojoj će se to smjestiti. Što se postrojenja tiče, trebat će izabrati tip crpke, broj jedinica, uređaje za kontrolu i automatiku pogona, zaštitne mjere i uređaje te elektroenergetska postrojenja.

Na priloženoj slici prikazana je manja crpna postaja koja služi za dizanje vode iz obližnje rijeke na natapno područje. U donjem dijelu građevine, koja je izgrađena od armiranog betona, nalazi se crpni bazen u koji voda dotječe iz rijeke spojnim cjevovodom koji je smješten tako da hvata i najmanje vode u vodotoku. U tom su slučaju izabrane dvije crpke u paralelnom spoju tako da mogu raditi i odvojeno, jedna po jedna. Ako se jedan agregat pokvari, drugi radi pojačanim ritmom, odnosno povećani broj sati dnevno kako bi koliko-toliko nadoknadio taj manjak. U tom primjeru ugrađen je rezervni diesel agregat koji se upotrebljava ako nestane električne energije. Treba napomenuti da to danas nije svugdje uobičajeno, i to iz dvaju razloga: prvo što su elektromreže više-manje sigurne u pogonu i prekid napajanja može trajati samo nekoliko sati, što nije bitno za natapanje, i drugo što u svim područjima aktivnosti postoje određeni rizici i moguće štete, pa nije ništa čudno i neobično da se to i ovdje dogodi. Uostalom, uobičajeno je da se postotak osiguranja količine vode za natapanje planira sa samo 75-80%, što vjerojatno čini veći mogući gubitak od nekoga manjeg kvara na crpnim uređajima.

Treba svakako preporučiti da se ne planira samo jedan agregat već barem dva ili više, po mogućnosti jednakih, kako bi se moglo, makar i s manjim količinama, područje natapati bez prekida i ako je neki od njih u kvaru.

Što se radnog vremena tiče, preporučuje se, da se za maksimalne dnevne potrebe na evapotranspiraciji, koje obično traju dva do tri tjedna godišnje, planira i najduže moguće radno vrijeme u danu, recimo 20 do 22 sata. Uostalom, u našim uvjetima natapanje traje, i to povremeno, 3-4 mjeseca, i to ne svake godine, pa bi bilo neracionalno instalirati velike kapacitete koji su jako malo, odnosno kratko iskorišteni.

LITERATURA

1. C.Constantinidis: Bonifica ed Irrigazione, Edagricole, Bologna, 1970.
2. M.E.Jensen: Design and Operation of Farm Irrigation Systems, ASAE, 1981.
3. Z.Kos: Hidrotehničke melioracije tla. Navodnjavanje. Školska knjiga, Zagreb, 1987.
4. D.B.Kruatz: Irrigation Canal Lining, FAO, Rome, 1977.
5. Ch.Ollier-M.Poirce: Irrigation, Eyrolles, 5.Edition, Paris, 1981.

3. GLAVNE GRAĐEVINE SUSTAVA ZA NATAPANJE

Dr. Dragutin Gerč
Javno vodoprivredno poduzeće
"Hrvatska vodoprivreda", Zagreb

3.4. GRAĐEVINE NA RAZVODNOJ MREŽI

3.4.1. Prijelazi

Za prijelaz natapnog kanala iznad ili ispod drugog vodotoka, ceste ili željeznice grade se objekti za premošćivanje prepreke. Ti su objekti propusti, akvadukti i (obnuti) sifoni.

3.4.1.1. Hidraulika objkata za prijelaz

U objektima za prijelaz prepreka, tečenje je vode subkritično. Radi smanjenja troškova građenja, brzina je tečenja vode kroz objekte veća od brzine vode u kanalu. Froudov broj ograničen je na $F_r < 0,5$ da bi se spriječili valovi na vodnom licu i da se izbjegne kritično strujanje zbog smanjenja hrapavosti kanala:

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{gA/B}} < 0,5 \quad (1)$$

gdje je:

- F_r = Froudov broj
- A = poprečni presjek, u m^2
- B = širina vodnog lica, u m
- g = gravitacijska konstanta, $g = 9,8 \text{ m/s}^2$
- v = brzina tečenja, u m/s

Srednja brzina tečenja v može se računati Strickler-Manningovom formulom. Vrijednost B za sifon jest nula pa Froudov broj nije definiran. Dopuštena je brzina tečenja u cijevima rezultat ekonomske optimalizacije - materijal, troškovi izgradnje i raspoloživi tlak. Obično se brzina drži ispod 2 m/s . U propustima se računa $v = 1,5 \text{ m/s}$. Veća je brzina poželjna u sifonu da bi se spriječilo taloženje nanosa, ali

veća brzina uzrokuje veći gubitak tlaka. Brzina je obično dvostruko veća od brzine u kanalu, ali ne manja od 1,0 m/s i ne veća od 3,0 m/s.

Gubitak tlaka zbog trenja može se računati Strickler-Manningovom formulom $v = kR^{2/3}i^{1/2}$ ili pomoću izraza:

$$\Delta H = \frac{2 g L}{k^2 R^{4/3}} \frac{v^2}{2 g} \quad (2)$$

gdje je:

- ΔH = gubitak tlaka na objektu, u m
- L = dužina objekta, u m
- i = hidraulički gradijent preko objekta, $i = \Delta H/L$
- v = brzina tečenja u objektu, u m/s
- R = hidraulički polumjer, u m
- k = koeficijent hrapavosti (Strickler), u $m^{1/3}/s$

Vrijednost koeficijenta k kreće se od 50 $m^{1/3}/s$ za kameni zid do 70 $m^{1/3}/s$ za beton.

Gubitak tlaka na ulazu i izlazu iz objekta računa se pomoću izraza:

$$\Delta H_u = cu \frac{[v(a) - v(i)]^2}{2 g} \quad i \quad \Delta H_i = ci \frac{[v(a) - v(o)]^2}{2 g} \quad (3)$$

Pojednostavljeni izraz glasi:

$$\Delta H_u = cu \frac{v(a)^2}{2 g} \quad i \quad \Delta H_i = \frac{v(a)^2}{2 g} \quad (4)$$

gdje je:

- $\Delta H_u, \Delta H_i$ = gubitak tlaka na ulazu i izlazu iz objekta, u m
- cu i ci = koeficijent ulaza i izlaza
- $v(a)$ = brzina kod objekta, u m/s
- $v(i)$ = brzina u uzvodnom dijelu kanala; u m/s
- $v(o)$ = brzina u nizvodnom dijelu kanala, u m/s

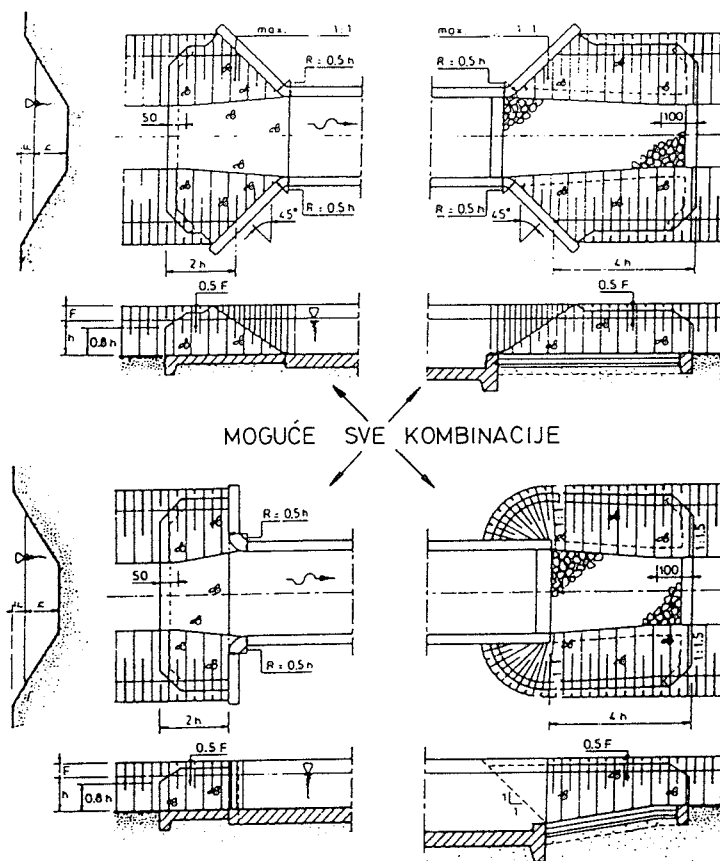
Koeficijent c ovisi o hidrauličkom obliku prijelaznog oblika, a neke su vrijednosti prikazane u tablici 34-1.

Vrijednost koeficijenta *c*

Tablica 34-1

Oblik prijelaza	<i>c</i> ulaza	<i>c</i> izlaza
Zaobljeni ili nagnuti	0,10	0,20
Ravna crta	0,20	0,40
Okomiti oblik	0,50	1,00

Preporučuje se upotreba ulaznih i izlaznih detalja zidova prema slici 34-1.



Sl. 34-1 Standardni ulazni i izlazni oblici za objekte

Gubici tlaka zbog promjena smjera toka i ulaza/izlaza kod sifona ili cjevovoda računaju se iz izraza:

$$\Delta H = c(k) \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

Vrijednost koeficijenta $c(b)$ daje se u tablici 34-2.

Vrijednosti koeficijenta $c(b)$

Tablica 34-2

Kut	10°	30°	45°	60°	90°
Koljeno					
kružni oblik	0,03	0,11	0,24	0,50	1,10
pravokutni oblik	0,04	0,14	0,30	0,60	1,40
Ulaz					
R = D	0,05	0,10	0,20	0,20	0,30
R = 2D	0,03	0,08	0,10	0,10	0,20
R = 3D	0,02	0,05	0,07	0,08	0,10

3.4.1.2. Propusti

Propusti su objekti koji provode natapni kanal ispod drugih vodotoka, ceste ili željeznice. Propusti imaju poprečni presjek manji od protjecajnog presjeka kanala uzvodno ili nizvodno od objekta. Tečenje u propustu može biti i sa slobodnim vodnim licem.

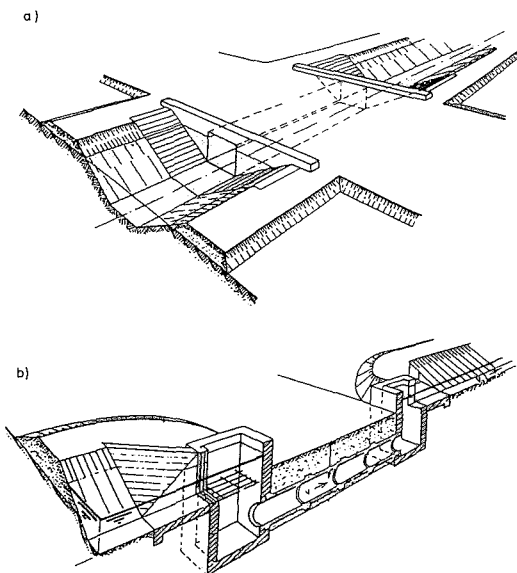
Hidraulički je proračun opisan ranije, a posebnu pozornost treba obratiti izlaznom dijelu objekta. Projektna brzina tečenja kreće se od 0,5 do 2,0 m/s. Izbor jednoga ili više protjecajnih profila ovisi o dimenzijama kanala, raspoloživoj visini između nivelete prometnice i kote dna kanala i raspoloživom tlaku.

Konstruktivni detalji vide se na slikama 34-2 do 34-4.

3.4.1.3. Akvadukti

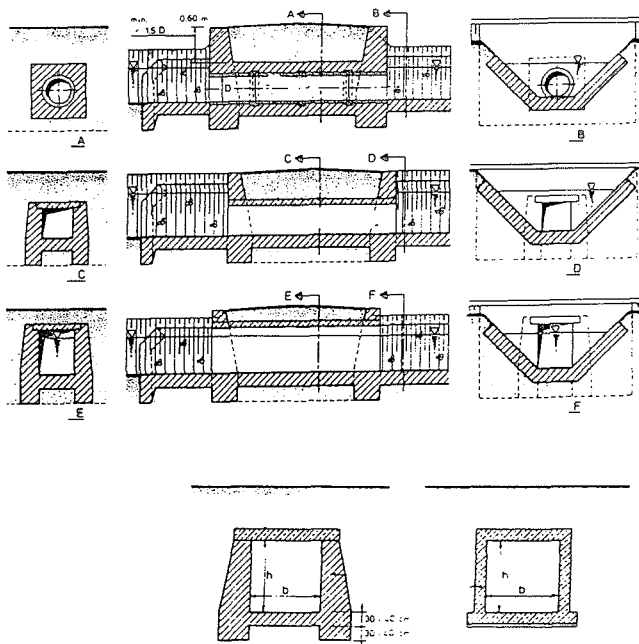
Akvadukti su objekti koji prevode natapni kanal preko većih vodotoka-rijeka. Odluka o tome da li prijeći rijeku akvaduktom ili (obrutim) sifonom ovisi o više faktora, a najvažniji su širina i tip rijeke. Prednost akvadukta može biti u pokrivanju protjecajnog kanala te korištenje iste konstrukcije za most.

Na slikama 34-5 i 34-6 prikazana su dva tipa akvadukta od cijevi, položenih na metalnu konstrukciju i armirano-betonski kutijasti profil kao nosiva konstrukcija i protjecajni profil.

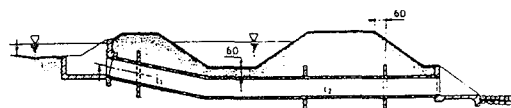
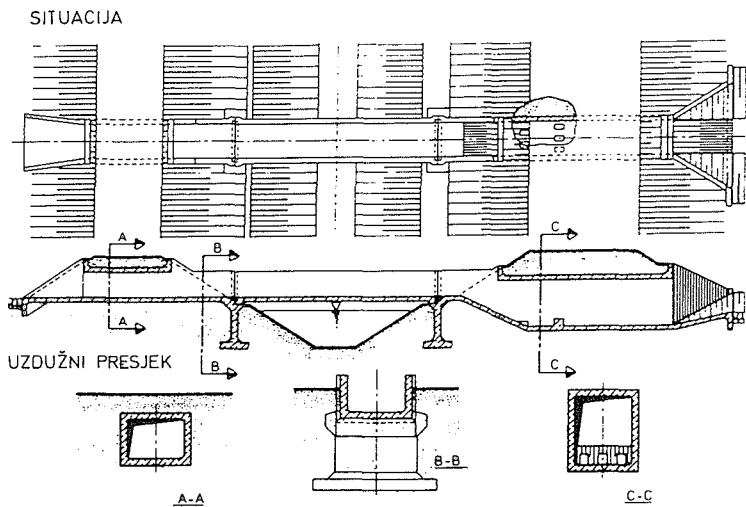


a) slobodno vodno lice
b) potopljeni propust

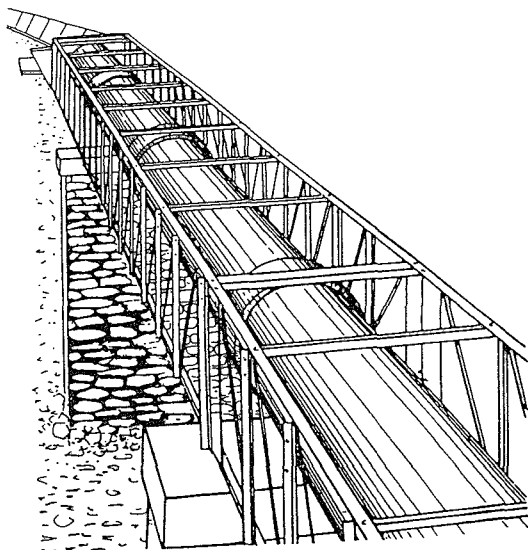
Sl. 34-2 Propusti na natapnom kanalu



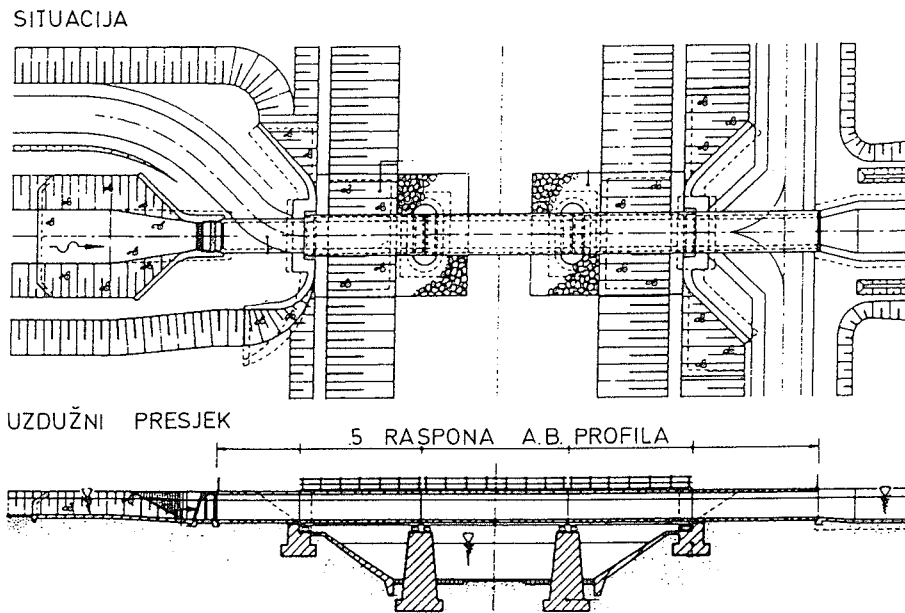
Sl. 34-3 Nacrti propusta



Sl. 34-4 Akvadukt i propust



Sl. 34-5 Cijevni akvadukt preko rijeke



Sl. 34-6 Armiranobetonski akvadukt

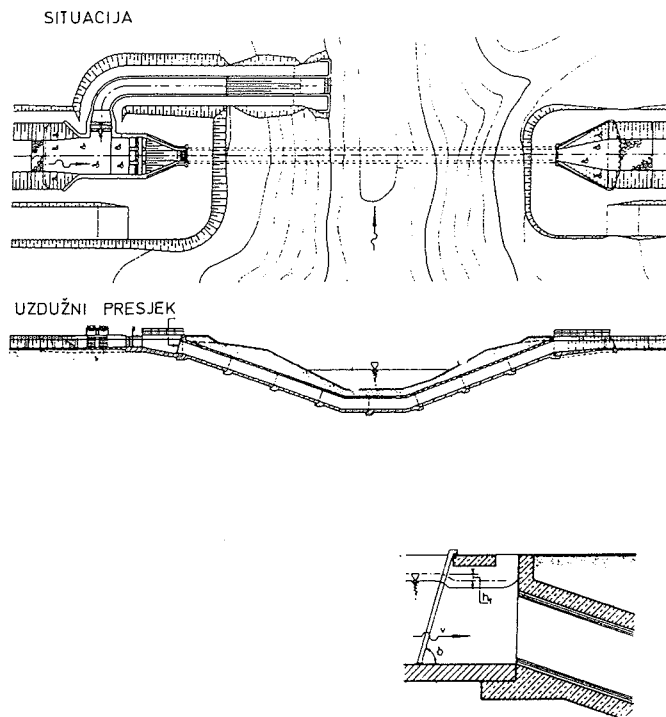
3.4.2. Obrnuti sifoni

Obrnuti se sifoni upotrebljavaju za prijelaz rijeke kada je izgradnja akvadukta nemoguća. Ako su uvjeti za izbor jednog ili drugog tipa prijelaza podjednaki, tada akvadukt ima prednost. Pri izvedbi obrnutih sifona postoji veliki rizik začepjenja i poteškoće u čišćenju profila. Pored toga, potrebno je izgraditi poseban most u blizini sifona za potrebe inspeksijske ceste.

Da bi se spriječio taloženje nanosa, izabire se što veća brzina tečenja kroz sifon. Međutim velike brzine izazivaju veliki gubitak tlaka. Brzina je uobičajeno dvaput veća od normalne brzine tečenja u kanalu, ali ne manja od 1,5 m/s. Maksimalna brzina ne bi trebala prijeći 3,0 m/s. Ako postoji opasnost većeg taloženja nanosa, mogu se predvidjeti posebni uređaji za ispiranje profila, taložni bazen i slično.

Gornji se dio ulaza u sifon postavlja ispod normalne razine vode. To sprečava ulaz zraka u sifon i time smanjenje protjecajnog profila. Veličina potapljanja ulaza ovisi o nagibu i profilu i uzima se 1,5 puta ulazni gubici, minimalno 0,15 m.

Obavezno se ugrađuje rešetka na ulazu u sifon da se spriječi ulaz osoba, životinja i smeća u sifon. Rešetku je potrebno redovno održavati. Obrnuti sifon radi pod tlakom te se zbog toga mora obratiti pozornost na spojeve cijevnih elemenata. Bolje je ne izvoditi spojeve cijevi, već betonirati profil na licu mjesta.



Sl. 34-7 Obrnuti sifon

3.4.3. Objekti za raspodjelu vode

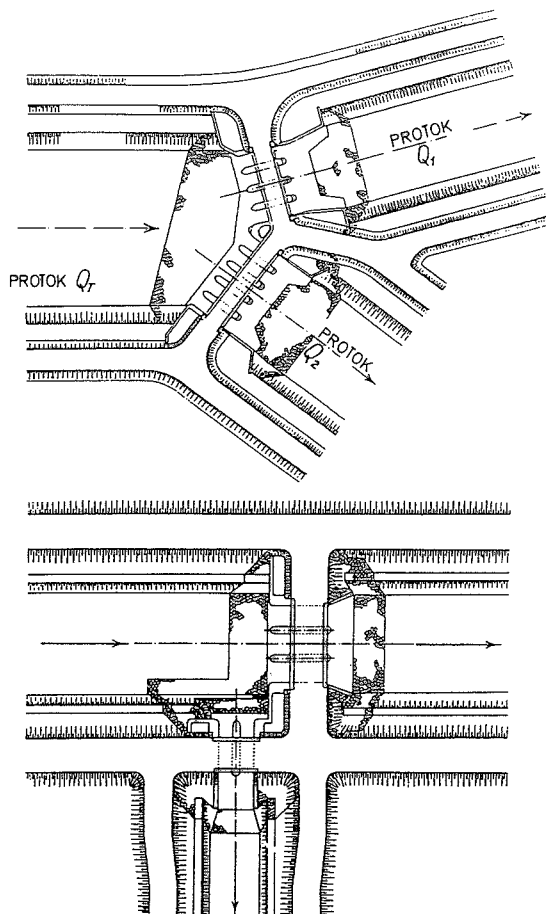
3.4.3.1. Uvod

Građevine ili objekti za raspodjelu vode jesu objekti za regulaciju protoka iz jednog kanala u drugi. Ti objekti mogu biti smješteni na raznim mjestima u natapnom sustavu:

- na glavnom vodozahvatu sustava
- na vodozahvatu sekundarnog ili kanala nižeg reda
- na vodozahvatu tercijarne jedinice

Kontrolni sustav ima obično regulatore razine vode na dolaznom kanalu (višeg reda), a objekte za raspodjelu vode na kanalu nižeg reda. Neki od raspodjelnih objekata mogu se upotrijebiti za druge funkcije, tj. kao regulatori razine vode ili vodomjerni objekti. Moduli će se obraditi u točki 3.4.4. ove glave. Objekti za raspodjelu vode mogu se podijeliti u dvije glavne grupe:

- a) objekti bez mogućnosti mjerenja protoka, kao na pr. zapornice, proporcionalni distributori i moduli;
- b) objekti s mogućnošću mjerenja protoka



Sl. 34-8 Objekt za raspodjelu vode

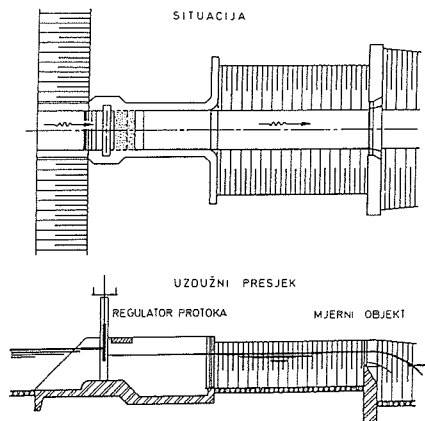
S pogonskog aspekta razlikuju se sljedeće vrste objekata za raspodjelu vode:

1. Stupnjevano podešavanje protoka za bilo koju vrijednost od 0 do maksimalnog protoka. Protok se regulira bilo otvaranjem zapornice (ploče) bilo pokretnom zapornicom.
2. Otvoreni/zatvoreni položaj zaporne ploče.
3. Proporcionalni distributor, kod kojega protok ovisi o postavljenom razdjelniku i uzvodnoj razini vode.
4. Konstantni protok, koji je konstantan i neovisan o uzvodnoj razini vode. Primjer su moduli i automatske ustave Avis/Avio u seriji s raspodjelnim objektom.

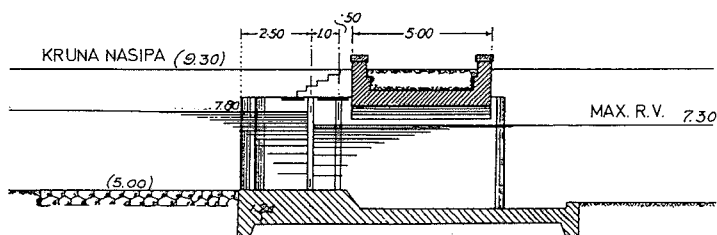
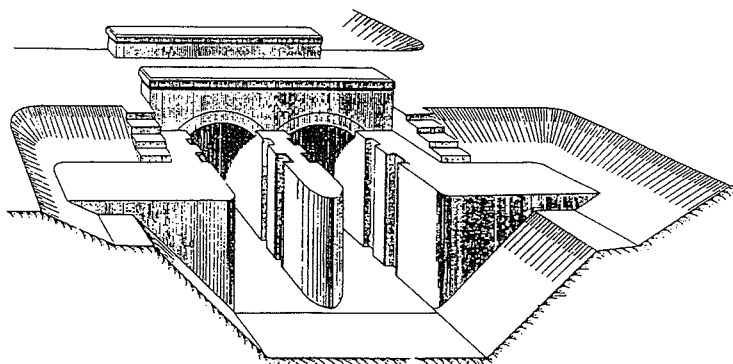
3.4.3.2. Pločaste zapornice

Pločasta je zapornica jednostavan i učinkovit objekt za raspodjelu vode, ali i za kontrolu uzvodne razine vode u natapnom kanalu. Postoji više vrsta zapornica koje zadovoljavaju pogonske zahtjeve. Smještaju se na početku distribucijskog kanala.

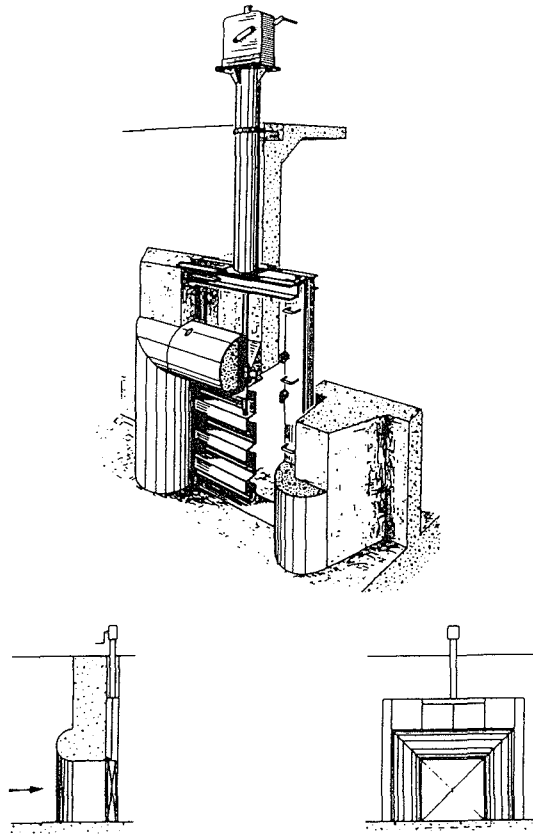
Upotrebljavaju se za manje otvore u objektu - visine ploče do 3,0 m i širine do 3,0 m. Za veće je otvore otpor podizanja ploče velik pa se primjenjuju druge vrste zapornica - ploče oslonjene na kotače ili radijalne (segmentne) zapornice.



Sl. 34-9 Objekt za raspodjelu s vodomjerom u seriji



Sl. 34-10 Pločasta zapornica - konstrukcija objekta



Sl. 34-11 Pločasta zapornica

Zapornice se primjenjuju često u mnogim sustavima. Objekt je jednostavan u izvedbi uz niske investicijske troškove. U pogonu natapnog sustava sreće se to više problema u vezi s upravljanjem sustavom što se više zapornica regulira ručno na licu mjesta. Sa zapornicama se dosta teško održava konstantna razina vode pri čestim promjenama protoka.

1. Zapornice sa slobodnim istjecanjem

Izraz za količinu istjecanja u pojednostavljenom obliku glasi:

$$Q = c \sqrt{2 g b w \sqrt{H - \alpha w}} \quad (6)$$

ili

$$Q = 2,7 b w \sqrt{[H - 0,61w]} \quad (7)$$

gdje je:

Q = protok, u m^3/s

b = širina ploče - otvora zapornice, u m

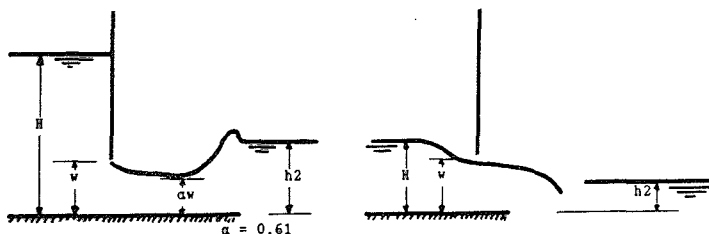
w = vertikalni otvor ploče, u m

H = uzvodna dubina vode (energija), u m

c = koeficijent protoka, $c = \pm 0,61$ i $c \sqrt{2g} = 2,7$

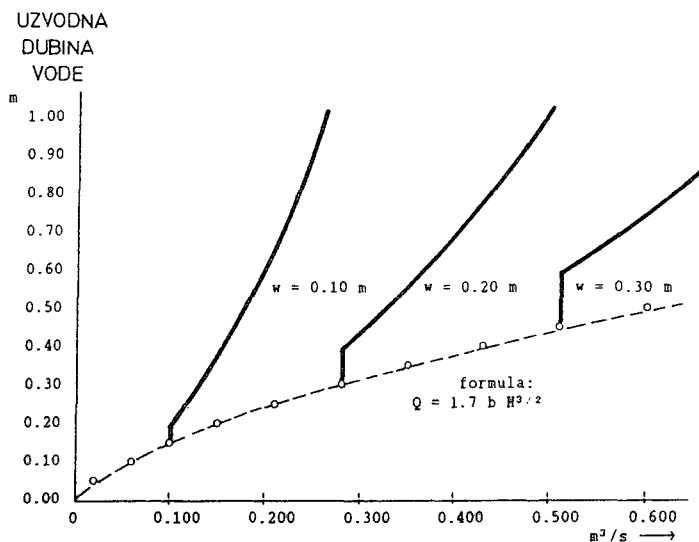
α = koeficijent kontrakcije ulaza, $\alpha = \pm 0,61$

izraz (7) vrijedi za slučaj $w > 0,67 H$.



Sl. 34-12 Slobodno istjecanje ispod zapornice

Krivulje istjecanja vode računaju se temeljem formule za istjecanje $Q = 1,7bH^{3/2}$, za širinu otvora $b=1,00$ m. Opća formula (7) primjenjuje se za proračun količine istjecanja za $w = 0,10$ m, $0,20$ m i $0,30$ m. Na slici 34-13 prikazane su sve izračunate krivulje.



Sl. 34-13 Krivulje za slobodno istjecanje vode

U krivulji odnosa Q - H postoji diskontinuitet, koji se događa u trenutku dodira donje vode i ploče zapornice, tj. pri $w = 0,67 H$. To znači da ustava osigurava konstantan protok kod te uzvodne razine.

2. Zapornice s potopljenim istjecanjem

Slobodno istjecanje ispod ploče zapornice događa se sve dok dio vode iz hidrauličkog skoka ne potopi suženi dio mlaza vode. Drugim riječima, to znači da potopljeno istjecanje nastaje kad nizvodni nivo h_2 premaši kritičnu dubinu:

$$h_2 = 0,5H + 0,6w \quad (8)$$

To se istjecanje događa pri superkritičnom toku s Froudeovim brojem $F_r > 1$. Izraz za proračun istjecanja glasi:

$$Q = C_D b w \sqrt{2 g H} \quad (9)$$

gdje je:

- Q = protok, u m^3/s
- C_D = koeficijent protoka
- b = širina otvora, u m
- w = vertikalni otvor ploče, u m
- H = uzvodna dubina vode, u m

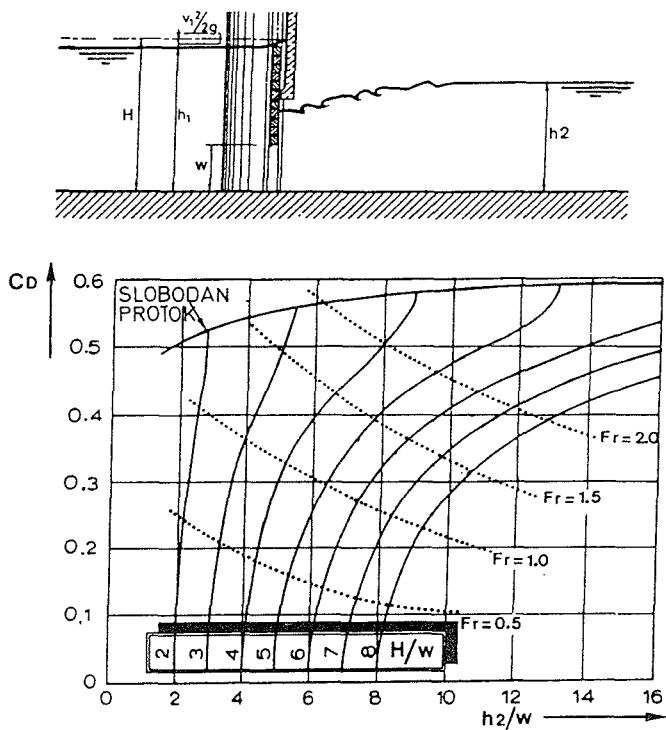
Koeficijent C_D ovisi o otvoru ploče, uzvodnoj i nizvodnoj razini vode. Na slici 34-14 prikazane su vrijednosti koeficijenta C_D , dobivene laboratorijskim ispitivanjima.

I za ovaj slučaj izračunate su krivulje istjecanja vode za širinu otvora 1,00 m i uz $H = 0,80$ m.

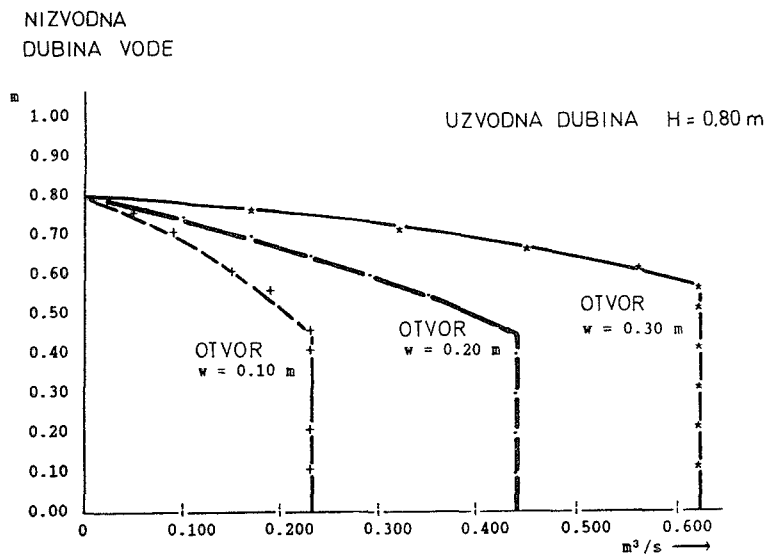
Korištenje je zapornice kao regulatora protoka moguće u kombinaciji s objektom za mjerenje količina, kao na pr. Parshallov vodomjer, Cipolettijev preljev i sl. To proizlazi iz gornjih iznosa za protok jer odnos dubina vode - protok ovisi o puno parametara tako da nema praktičnu funkciju.

3.4.3.3. Radijalne (segmentne) zapornice

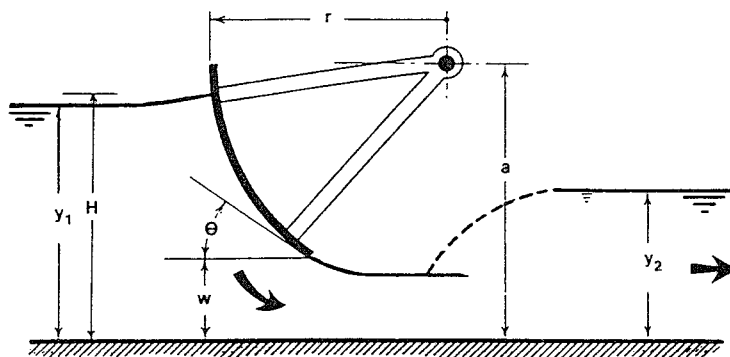
Radijalne se zapornice primjenjuju kao alternativa vertikalnim zapornicama. Mogu se upotrebljavati za razne namjene: razdjelnici vode, regulatori razine vode u velikim kanalima ili kao sigurnosni ispust iz natapnog kanala.



Sl. 34-14 Koeffcijent protoka C_D za potopljeno istjecanje



Sl. 34-15 Krivulje za potopljeno istjecanje vode



Sl. 34-16 Radijalna zapornica - hidraulika

Izraz za slobodno istjecanje u osnovi je jednak kao i za vertikalnu zapornicu:

$$Q = C_D b w \sqrt{2 g H} \quad (10)$$

gdje je:

- Q = protok, u m³/s
- b = širina zapornice, u m
- w = vertikalni otvor, u m
- H = uzvodna dubina vode, u m

Gornji je izraz teorijski korektan, ali nema praktične vrijednosti jer koeficijent protoka C_D ovisi o mnogo parametara (posebno kod potopljenog istjecanja). Još ne postoji dovoljno eksperimentalnih podataka za utvrđivanje vrijednosti C_D .

3.4.3.4. Zahvat vode pomoću zapornice

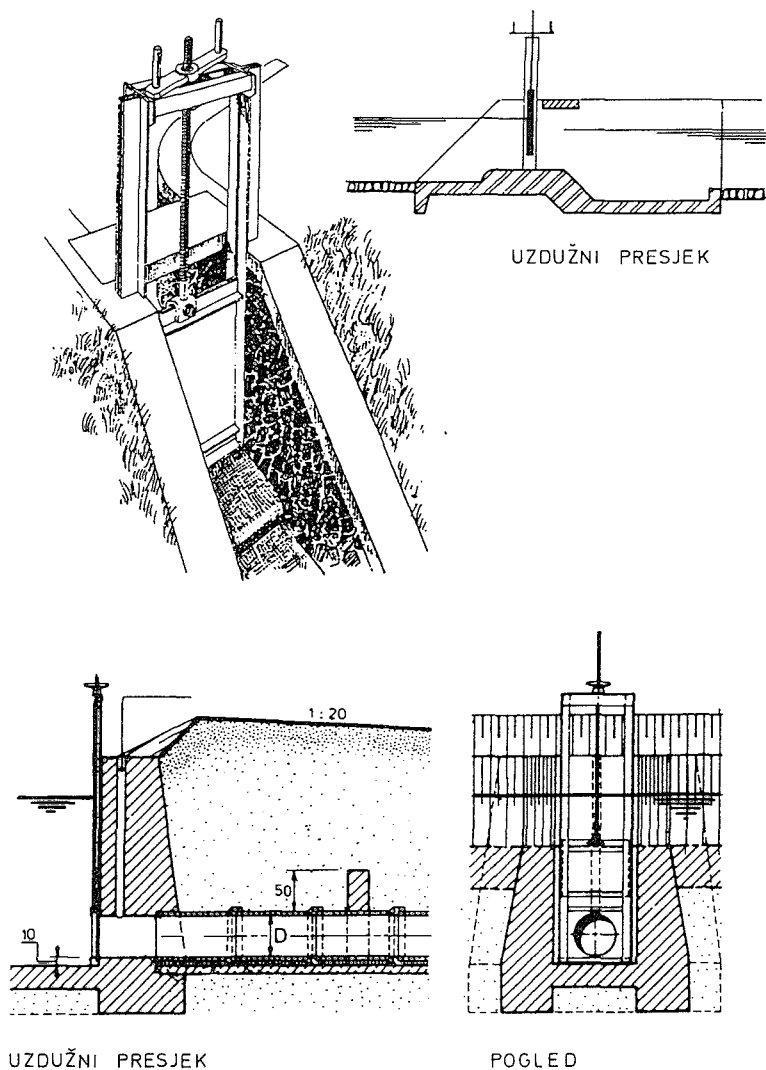
Zapornicu je moguće primjenjivati za tercijarni zahvat vode na manjim sustavima. Iza zapornice dolazi umirjući bazen, propust ili cijev. Za cijev je nužno predvidjeti odzračni otvor da se spriječi ozračivanje struje vode. Promjer cijevi je 0,60 m, uz maksimalnu brzinu 1 m/s.

U novim se sustavima zapornica ugrađuje u seriji s vodomjerom (kao primjer na slici 34-9). Prednosti te vrste vodozahvata - raspodjelnih objekata jesu:

- jeftina konstrukcija
- jednostavan i trajan objekt
- osigurava konstantni protok za definiranu uzvodnu razinu
- omogućuje transport nanosa

Nedostaci mogu biti:

- zapornica ne propušta plivajuće predmete
- netočno mjerenje protoka



Sl. 34-17 Vodozahvat pomoću zapornice

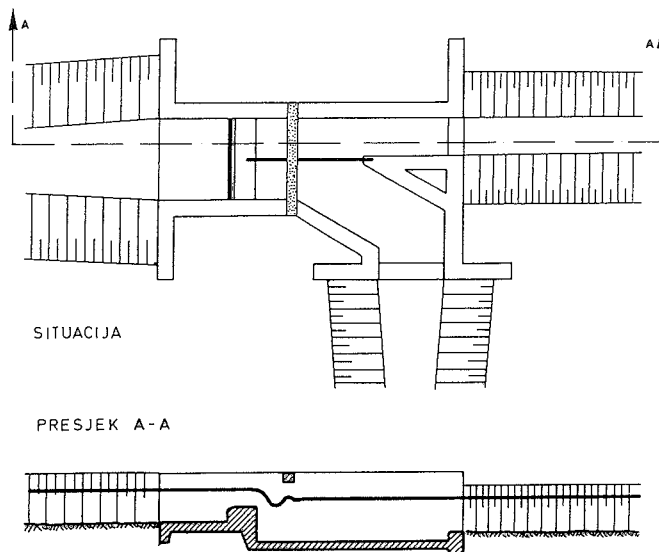
3.4.3.5. Proporcionalni razdjelnik vode

Proporcionalni razdjelnici vode primjenjuju se u jednostavnim, ali i u tehnički modernim natapnim sustavima. Kod proporcionalnog razdjelnika vode, voda se dijeli na svakoj točki razdvajanja u skladu s površinom koju treba natapati. Razlikujemo:

- fiksirani razdjelnik protoka
- podesivi razdjelnik protoka
- proporcionalni razdjeljni objekt

3.4.3.5.1. Fiksirani razdjelnik protoka

Ta vrsta razdjelnika dijeli dolazni protok u dva ili više fiksnih dijelova. Glavni je dio objekta preljev s vertikalnim zidovima, a protok se dijeli čeličnom pregradom. Tečenje mora biti superkritično da se izbjegne utjecaj nizvodne razine vode. Ta mjera povećava gubitak tlaka.



Sl. 34-18 Fiksirani razdjelnik protoka

Izrazi za protoke kod tog razdjelnika glase:

$$Q_1 = c b_1 H^{3/2}$$

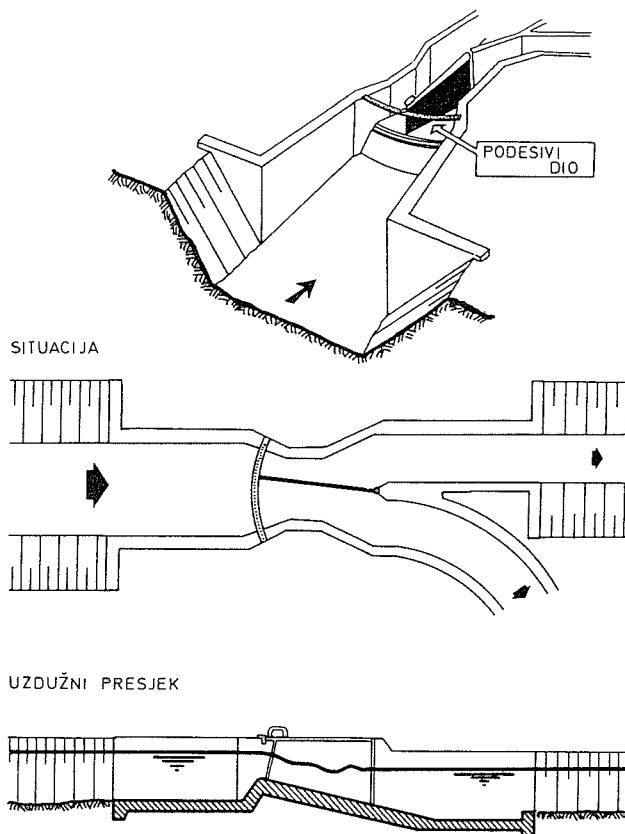
$$Q_2 = c b_2 H^{3/2} \quad (11)$$

gdje je:

- Q_1, Q_2 = podijeljeni protoci, u m^3/s
- b_1, b_2 = širine kanala višeg i nižeg reda, u m
- c = preljevni koeficijent
- H = dubina vode iznad krune preljeva, u m

3.4.3.5.2. Podesivi razdjelnik protoka

Taj razdjelnik ima pokretni dio (čelična ploča), koji omogućuje sezonsku ili privremenu podjelu protoka na način da zadovolji varijance zahtjeva za vodom.



Sl. 34-19 Podesivi razdjelnik protoka

Pri primjeni podesivog razdjelnika vode potreban je oprez. Upravljanje sustavom s tom ustavom razdjelnika mora se obavljati iz operacijskog centra.

3.4.3.5.3. Proporcionalni razdjelni objekt

Taj je razdjelnik razvijen u Egiptu u 1920-im godinama, a poznat je pod imenom preliv Fayoum.

Izraz za protok glasi:

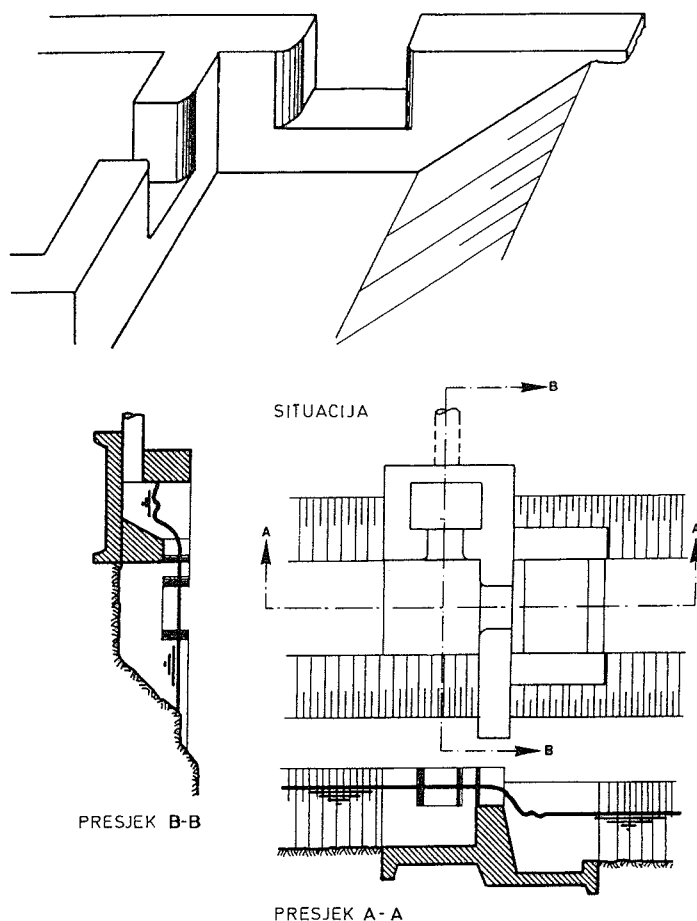
$$Q = 1,7 b H^{3/2} \quad (12)$$

gdje je:

Q = protok, u m³/s

b = širina krune preljeva, u m

H = dubina vode iznad krune preljeva, u m



Sl. 34-20 Proporcionalni razdjelni objekt - Fayoum

Uvjeti slobodnog istjecanja održavaju se za nizvodnu dubinu vode ispod krune preljeva od $0,66 H$ (ili $H < 1/3L$).

Potrebno je izvesti odzračivanje hidrauličkog skoka da bi se izbjegli podtlakovi.

3.4.4. Moduli i vodomjeri

3.4.4.1. Općenito

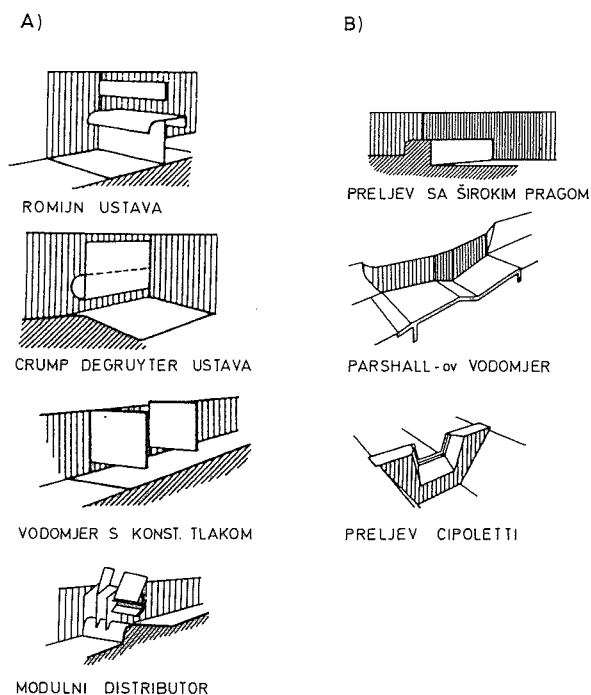
Sustav za kontrolu protoka često ima uređaje za mjerenje količina vode na mjestu regulatora protoka. Neki regulatori protoka imaju dobro i precizno određene odnose razina - protok tako da se mogu upotrijebiti kao vodomjerni uređaji. Ostali regulatori zahtijevaju posebne mjerne uređaje, postavljene u seriji. Pregled je prikazan u tablici 34-3.

Vrste objekata za kontrolu protoka i mjerenje količina vode

Tablica 34-3

Regulacija razine vode ("cross regulators")	Raspodjela vode	Mjerenje količina vode
Pločaste zapornice Automatske zapornice Preljevi Kontrolna stepenica	Pločaste zapornice Proporcionalni regulator Preljev sa zapornicom (Romijn) Zapornica (Crump-Degruyter) Istjecanje s konst. tlakom Moduli	Preljev sa širokim pragom Preljev sa zapornicom (Romijn) Zapornica (Crump-Degruyter) Istjecanje s konst. tlakom Moduli Preljevi Vodomjeri

Na slici 34-21 prikazani su neki od ovih objekata.



a) vodomjeri i regulatori
b) vodomjeri bez regulatora

Sl. 34-21 Vrste vodomjernih uređaja

Iz tablice i slike 34-21 zaključuje se da se razlikuju:

a) Uređaji za mjerenje količina bez regulatora: preljev sa širokim pragom, vodomjer Parshall, preljev Cipoletti i sl. Kod tih uređaja potreban je regulator (zapornica), uzvodno postavljen.

b) Uređaji s funkcijom mjerenja količine vode i reguliranja.

Iduća je podjela s obzirom na način mjerenja: s prelijevanjem, sa suženjem profila - vodomjeri i s istjecanjem kroz otvore:

1. preljevi sa širokim pragom: pravokutni preljev, preljev Romijn

2. tankostijeni preljevi: Cipoletti, "V" (trokutasti) preljev i sl.

3. vodomjeri: Parshallov, Venturijev i dr.

4. vodomjeri s otvorom: zapornica Crump-Degruyter, istjecanje s konstantnim tlakom, moduli i dr.

Postoji dakle više vrsta vodomjernih uređaja i objekata i konačni izbor vrste ovisi o više faktora. Kriteriji mogu biti hidraulički, ali i ostale vrste, što je prikazano u tablici 34-4.

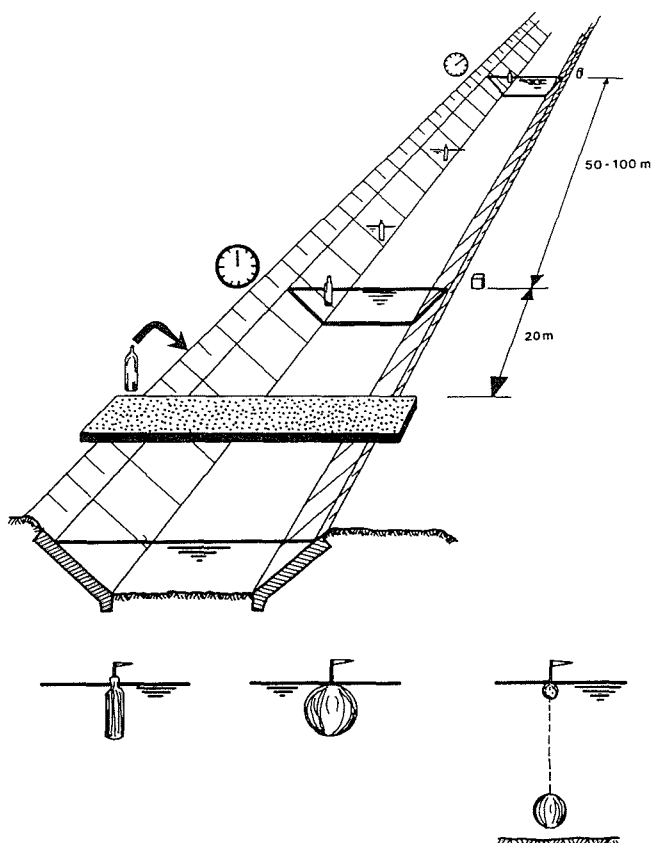
Kriteriji za izbor vrste vodomjera

Tablica 34-4

	Količina vode	Min. gubitak tlaka, m	Rang Q, m ³ /s q m ² /s	Prolaz		Troškovi
				Plivajući otpad	Nanos	
Preljev sa širokim pragom	$Q = H^{1.5}$	> 0,3 H	$q < 5$	+++	-	-
Romijn preljev	$Q = H^{1.5}$	> 0,3 H	$Q < 0,9$	++	+	+++
Cipolettijev preljev	$Q = H^{1.5}$	> 1,0 H	$q < 0,8$	+	-	+
Parshallov vodomjer	$Q = H^{1.6}$	> 1,0 H	$Q < 90$	+++	+++	++
Istjecanje s konst. tlakom	$Q = H^{0.5}$	> 0,3 H	$Q < 0,3$	-	++	+++
Crump-Deg. zapornica	$Q = H^{0.5}$	> 0,75 H	$Q < 0,7$	-	++	+++
Moduli	$Q = H^{0.5}$	> 0,4 H	$q = 0,2$	-	+	+++++

3.4.4.2. Mjerenje brzine tečenja vode i protoka u kanalu

Svaki vodomjerni uređaj "troši" hidraulički tlak za mjerenje protoka. Mjerenje postaje vrlo teško kad se mora mjeriti uzvodna i nizvodna razina jer promjene u nizvodnoj razini vode utječu na protok. I kada želimo mjeriti protok u postojećem kanalu, a ne postoji mogućnost ugradnje uređaja, prilazimo mjerenju brzina tečenja vode. Temeljem poznatoga označenoga poprečnog presjeka i izmjerene srednje brzine tečenja, može se izračunati protok. Točnost takvog mjerenja nije velika i traži dosta rada.

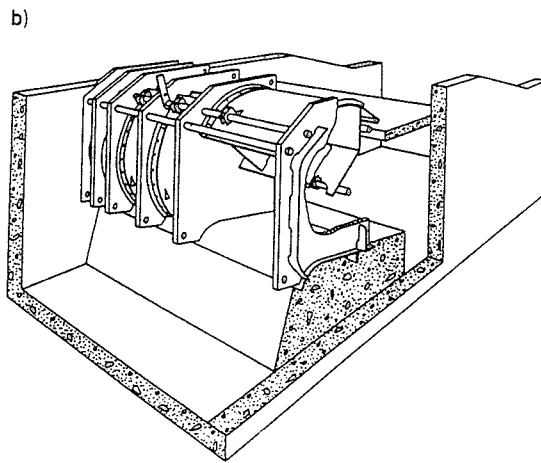
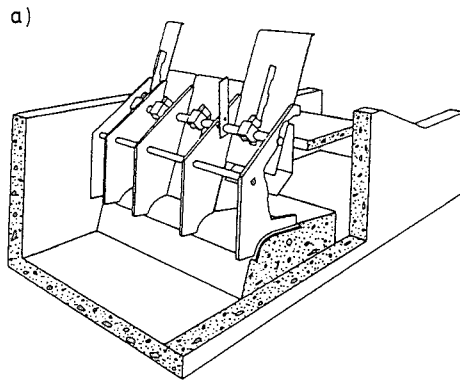


Sl. 34-22 Dionica kanala za mjerenje brzina i protoka

3.4.4.3. Moduli

Moduli su tarirani otvori za dopremu kontroliranoga konstantnog protoka, koji rade na principu preljeva. Poznati su i pod nazivom "Neyrtec distributori". Praktično konstantni protok dopreme postiže se bez pokretnih dijelova. Kombinacija nagnutog praga s metalnom nagnutom zavjesom iznad njega ispravlja bilo koji učinak promjene uzvodne razine vode na protok.

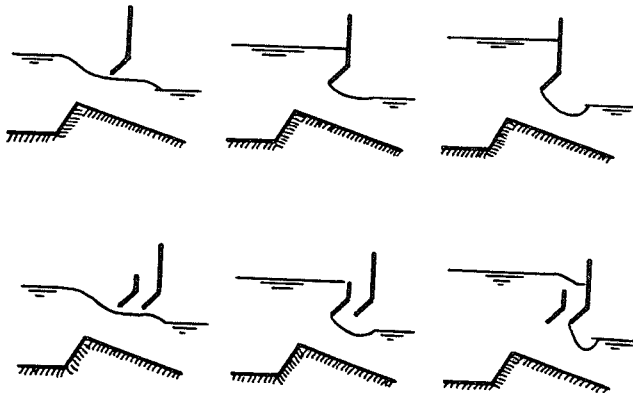
Modulni se distributor sastoji od zapornice, koja je pokretna (otvoreno-zatvoreno), jedne ili dviju metalnih nagnutih zavjesa i vertikalnih paralelnih krila. Pri niskoj uzvodnoj razini modul radi sa slobodnim vodnim licem. Kad se uzvodna razina vode podiže do donjeg ruba zavjese i modul počinje raditi s jakom redukcijom profila mlaza.



a) tipovi X i XX

b) tipovi L i C

Sl. 34-23 Modulni distributori



Sl. 34-24 Princip rada jednostrukog i dvostrukog modula

Objekt modula radi kao tankostijeni preljev s pravokutnom kontrolnom sekcijom. Protok kod slobodnoga vodnog lica računa se po izrazu:

$$Q = 1,85 b H^{1,5} \quad (13)$$

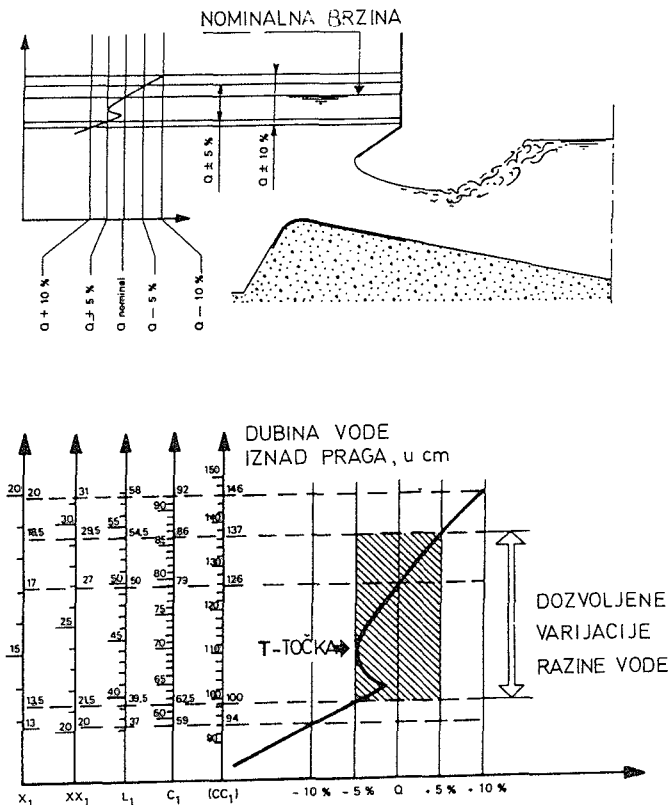
Kada razina vode dotiče nagnutu zavjesu, protok se izračunava pomoću izraza:

$$Q = cbz \sqrt{H - 1/2 z} \quad (14)$$

gdje je:

- Q = protok, u m³/s
- b = širina, u m
- H = dubina vode iznad praga preljeva, u m
- z = visina nagnute zavjese iznad praga, u m
- c = koeficijent protoka

Krivulje dubine - protok za jednostruki modul prikazane su na slici 34-25.



Sl. 34-25 Krivulje dubina vode - protok za jednostruki modul

Uz različite širine modulnih jedinica proizvodi se pet različitih serija modula, koji se identificiraju u projektiranom protoku po jedinici širine:

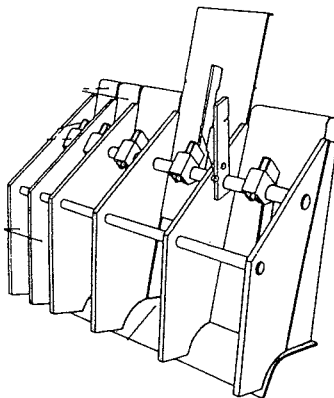
- serija X : 10 l/s po 0,10 m širine
- serija XX : 20 l/s po 0,10 m širine
- serija L : 50 l/s po 0,10 m širine
- serija C : 100 l/s po 0,10 m širine
- serija CC : 200 l/s po 0,10 m širine

Serije imaju indeks 1 ili 2, koji označava jednostruki ili dvostruki tip modula (odnosi se na zavjesu).

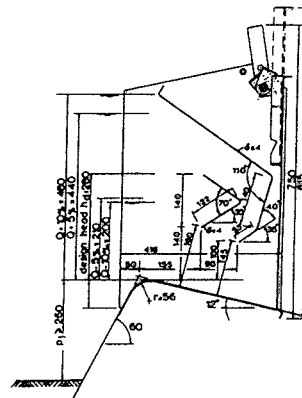
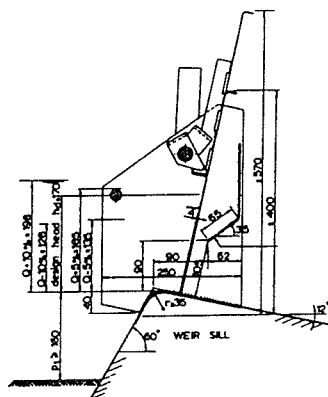
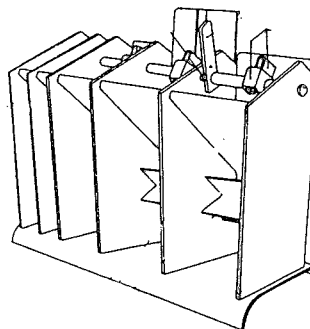
1. Konstrukcija modula

Dimenzije čeličnih dijelova serije X i XX prikazane su na slici 34-26, a standardne dimenzije modula i konstruktivne dimenzije modula na slici 34-27.

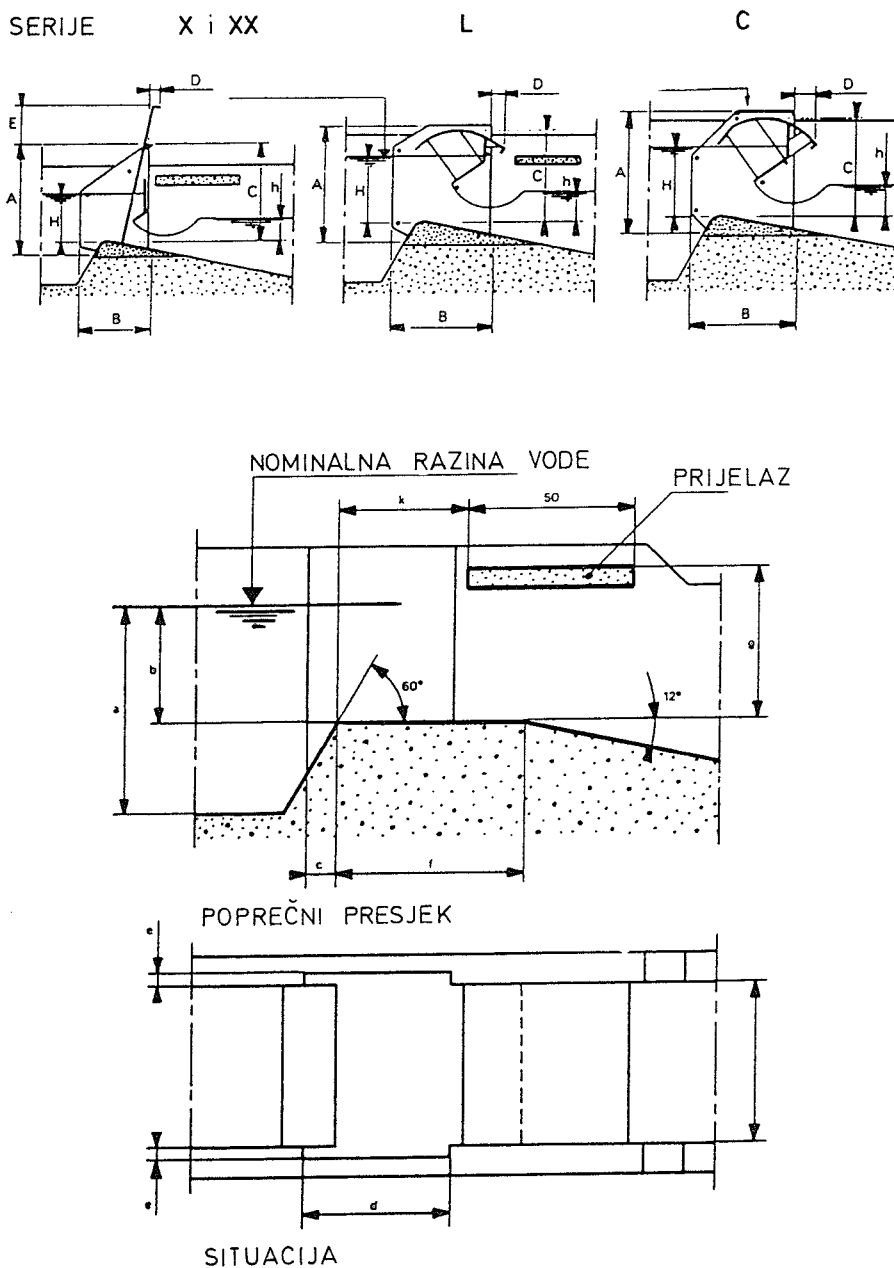
SERIJA X



SERIJA XX



Sl. 34-26 Čelični dijelovi modula serije X i XX



Sl. 34-27 Dimenzije modula

Kada širina modula prelazi 1,00 m potrebno je izvesti pješački prijelaz za potrebe pogona modula.

Odgovarajuće dimenzije konstrukcijskih radova prikazane su u tablici 34-5.

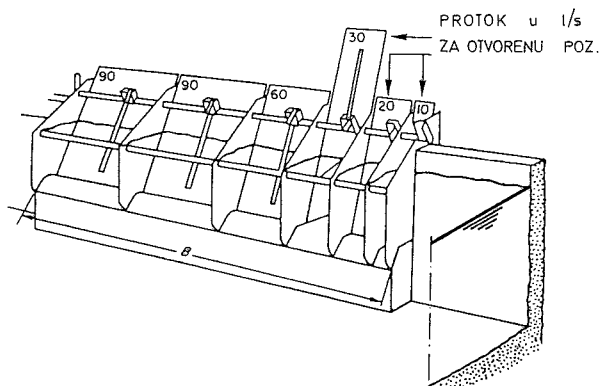
Dimenzije modula

Tablica 34.5

TIP	A	B	C	D	E	H	h	a	b	c	d	e	f	g	k
X1	40	26	35	2	14	17	8	33	25	9	34	5	45	35	25
XX1	65	38	58	4	22	27	12	52	37	10	46	5	57	47	36
L1	88	77	72	16	-	50	22	97	68	16	94	10	103	68	85
C1	144	122	116	25	-	79	35	154	105	25	140	15	146	-	-

2. Moduli kao regulatori protoka

Protok kroz modul regulira se otvaranjem i zatvaranjem zapornice, koja se učvršćuje u položaju potpuno otvoreno ili potpuno zatvoreno. Kako se protok jednog modula ne može mijenjati, to je jedini način regulacije protoka kombinacija modula različite širine ili serija modula. Protok se postavlja na bilo koju zahtijevanu veličinu otvaranjem ili zatvaranjem različitih kombinacija. Nije preporučljivo raditi kombinacije različitih serija (na pr. XX i C).



Sl. 34-28 Modul s odjeljcima

Odjeljci serije X raspoloživi su za 5, 10, 15 i 30 l/s otvora 0,05, 0,20, 0,25 i 0,30 m. Dakle ta se serija može složiti u koracima od 5 l/s do 30-150 l/s. Na sličan se način dobije kapacitet serije XX: 30-480 l/s; serije L: 500-1500 l/s; serije C: 1000-3000 l/s i serije CC: 1000-5000 l/s (širina do 3,00 m).

Ako razina vode u kanalu višeg reda fluktuirá iznad dozvoljenih granica za modul, oni se moraju instalirati u kombinaciji s ustavama:

- s automatskim regulatorom konstantne uzvodne razine vode (Amil, preljev-pačji kljun i sl.)
- s automatskim regulatorom konstantne nizvodne razine vode (Avis ili Avio ustava) u kanalu višeg reda
- s ustavom Avis ili Avio u istom kanalu, postavljeni u seriji.

3. Prednosti i nedostaci modula

Prednosti modula jesu:

- gubitak je tlaka relativno malen
- malo održavanje objekta
- jednostavno rukovanje
- regulacija je protoka neovisna o uzvodnoj razini vode

Nedostaci jesu:

- glavni je nedostatak modula trošak
- modul se ne može upotrijebiti za proporcionalnu distribuciju vode za vrijeme promjene protoka.

3.4.4.4. Vodomer s konstantnim tlakom

Vodomer s konstantnim tlakom jest kombinacija regulacijskog i mjernog objekta, koji primjenjuje uzvodnu zapornicu za mjerenje protoka i nizvodnu zapornicu za regulaciju. obje su zapornice pokretljive. Vodomer je razvijen u USBR u SAD-u, gdje se primjenjuje mnogo.

Rad se vodomera temelji na konstantnoj razlici u tlaku od 0,06 m. Protoci se mijenjaju otvaranjem uzvodne zapornice, dok se nizvodnom održava razlika od 0,06 m. Ta je mala razlika tlakova jedan od razloga netočnosti vodomera.

Izraz za proračun protoka glasi:

$$Q = 0,716 b w \quad (15)$$

gdje je:

- Q = protok, u m³/s
- b = širina ulaza, u m
- w = otvor mjerne zapornice, u m

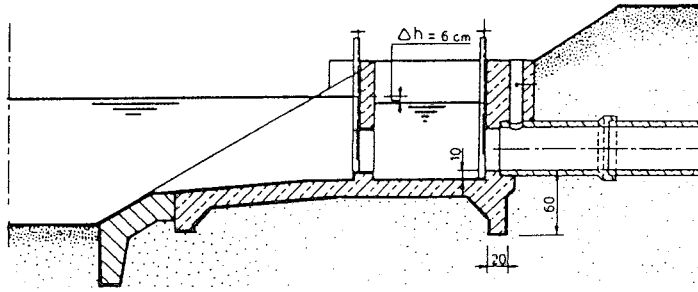
Odnos širine b i ukupnog otvora D može se izabrati iz odnosa $b/D = 1,25$. Maksimalni otvor w postavlja se tako da bude $a < 1,75 D$ za $Q < 0,28 \text{ m}^3/\text{s}$ i $L > 2,75 D$ za $Q > 0,28 \text{ m}^3/\text{s}$.

Prednosti te vrste vodomera jesu:

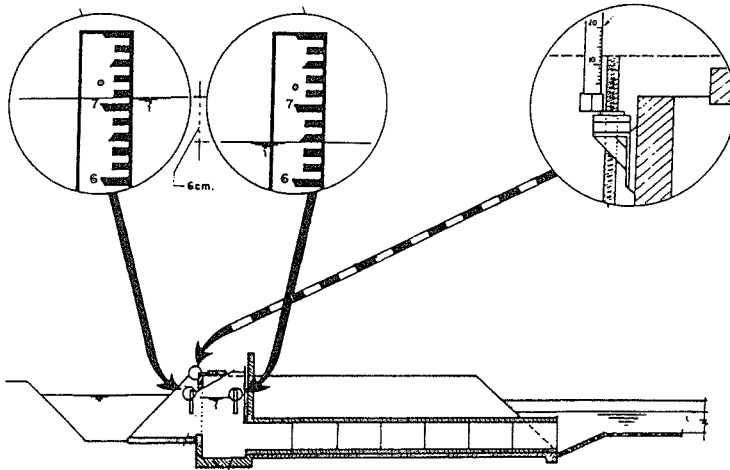
- objekt mjeri i regulira protoke u isto vrijeme
- nema problema s nanosom
- omogućena je proporcionalna raspodjela vode uz serijski ugrađen regulator u kanalu višeg reda
- može se upotrebljavati za velike promjene razine vode u uzvodnom kanalu.

U nedostatke se ubrajaju:

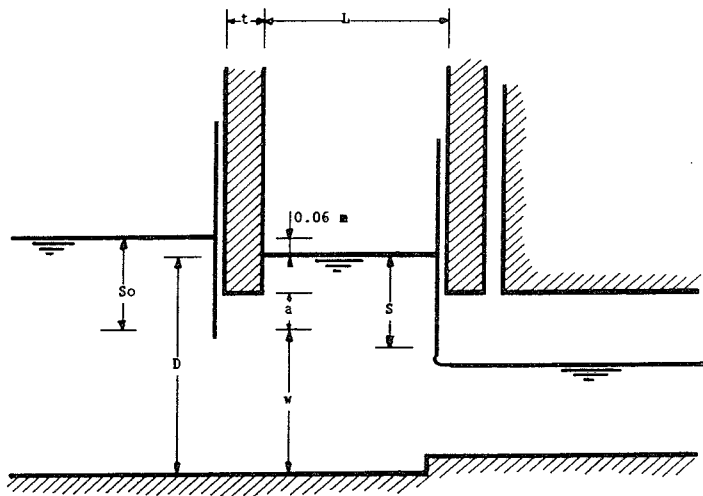
- mjerenje protoka nije potpuno točno
- gubitak je tlaka veći od 0,25 m
- plivajući predmeti ne mogu proći
- regulacija protoka zahtijeva postavljanje dviju zapornica.



UZDUŽNI PRESJEK



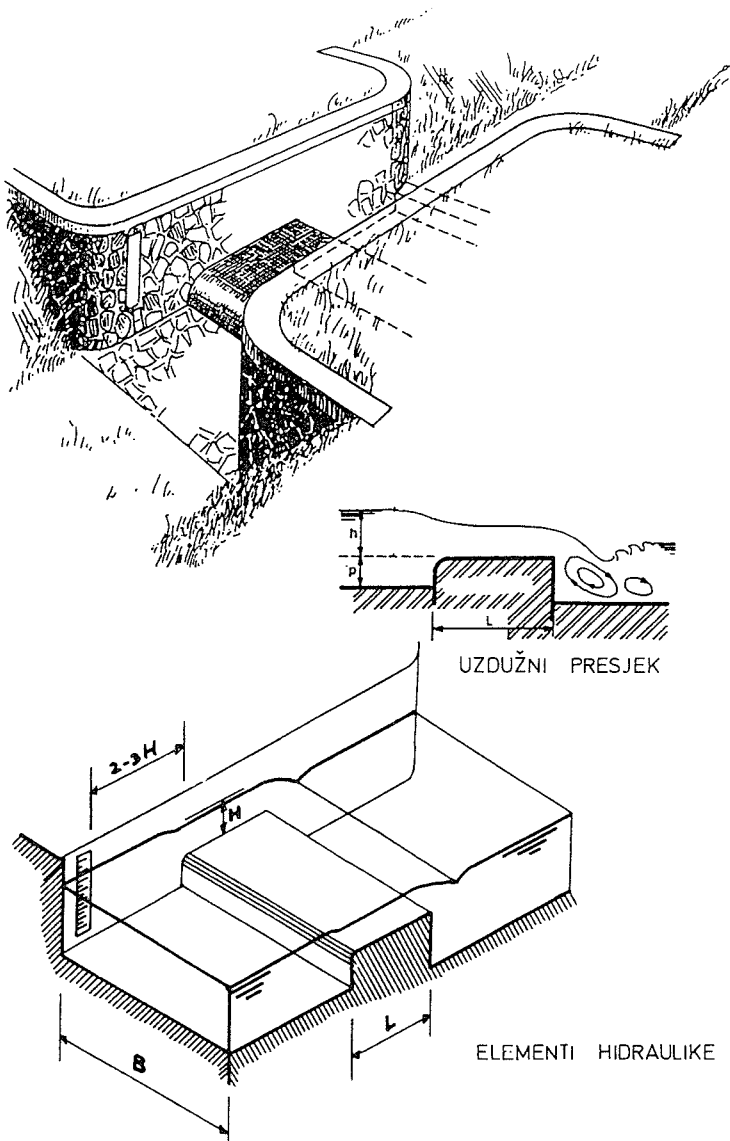
Sl. 34-29 Rad vodomjera s konstantnim tlakom



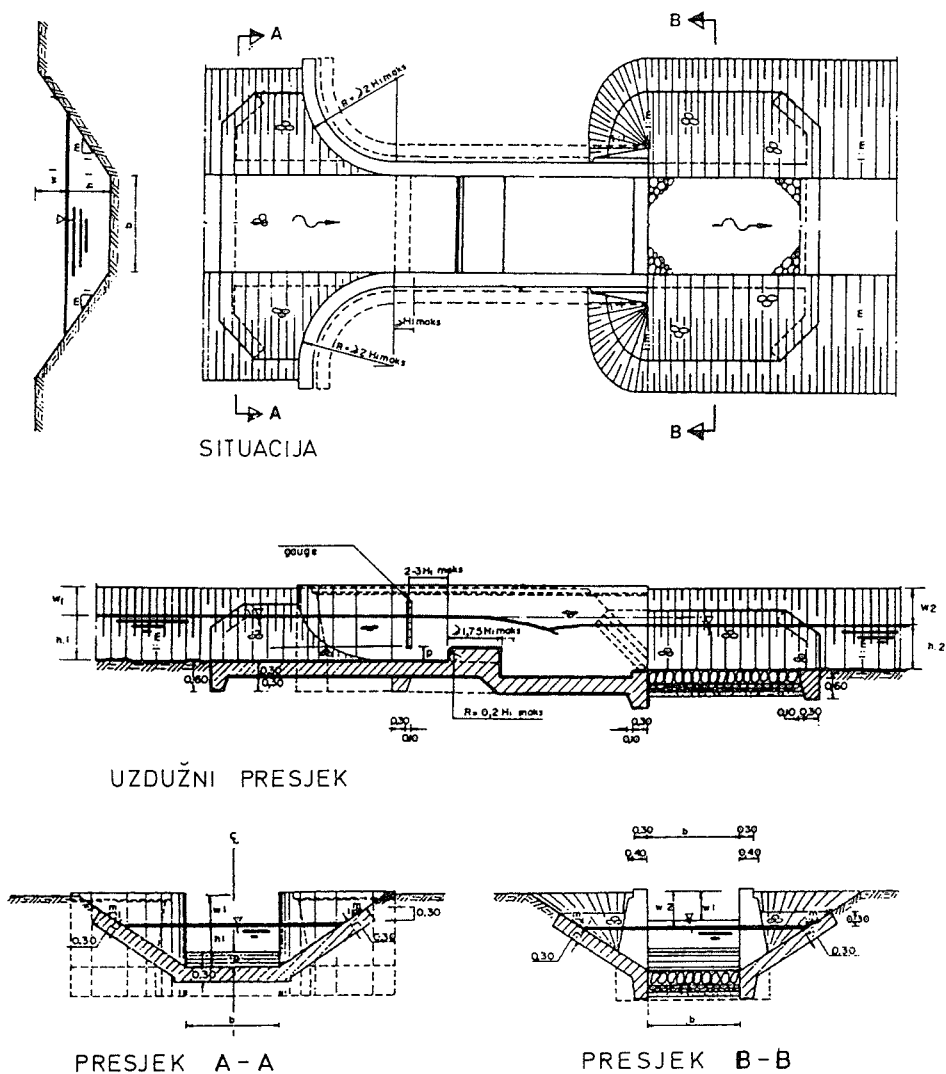
Sl. 34-30 Elementi vodomjera s konstantnim tlakom

3.4.4.5. Preljev sa širokim pragom

To je pravokutan preljev sa širokim pragom, s horizontalnom krunom i paralelnim zidovima. Primjenjuje se u kanalima gdje je problem raspoloživog tlaka. Također je uputna primjena u kanalima gdje ima plivajućih predmeta.



Sl. 34-31 Preljev sa širokim pragom



Sl. 34-32 Nacrt preljeva sa širokim pragom

Formula za protok glasi:

$$Q = 1,7 b H^{1,5} \quad (16)$$

gdje je:

Q = protok, u m³/s

H = dubina (uzvodna) iznad praga, u m

b = širina praga, u m

Slobodni je tok vode osiguran ako je zadovoljen uvjet $H_{\text{nizv.}} < 0,70 H_{\text{uzv.}}$.

Prednosti vodomjera sa širokim pragom jesu:

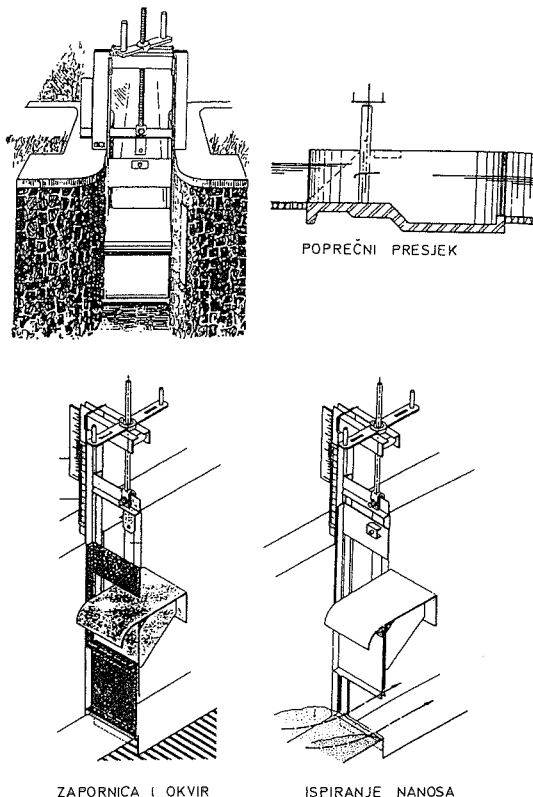
- jednostavna i trajna konstrukcija
- malen gubitak tlaka
- prolaz plivajućih predmeta bez problema
- jednostavno mjerenje protoka.

Nedostaci tog vodomjera jesu:

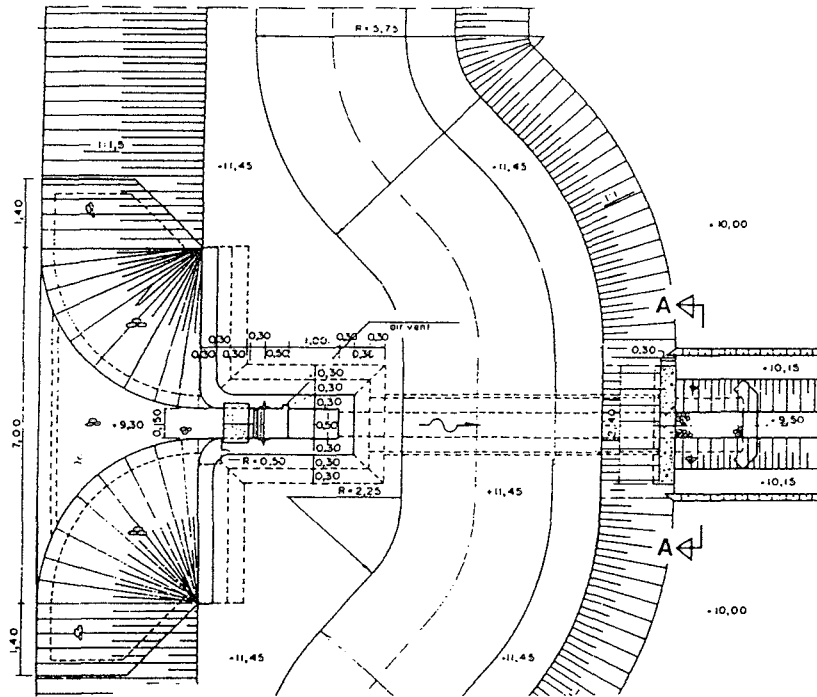
- nije regulator
- nema proporcionalne podjele protoka za vrijeme varijacija protoka.

3.4.6. Preljev sa zapornicom (Romijn)

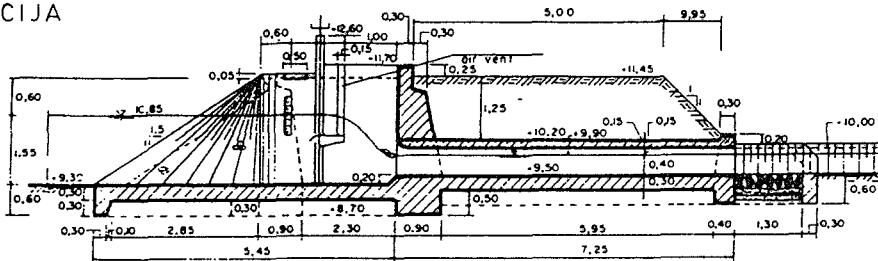
Taj je tip vodomjera razvijen u Indoneziji za upotrebu u ravnim područjima i za promjenjivu količinu vode koja se dodjeljuje tercijarnim jedinicama. Objekt je kombinacija preljeva sa širokim pragom i zapornice. Često se dodaje podnožna ploča - zapornica za ispiranje nanosa. Standardne su širine 0,50; 0,75; 1,00; 1,25 m s protocima 0,30; 0,45; 0,60; 0,75 m³/s.



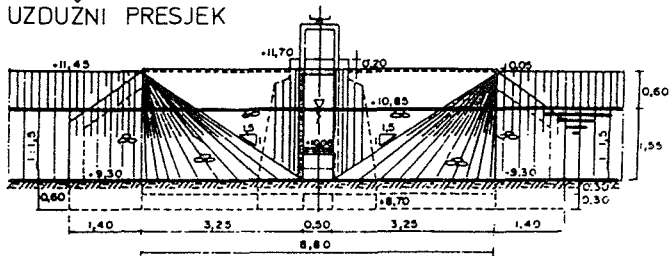
Sl. 34-33 Preljev s Romijn ustavom



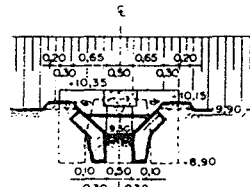
SITUACIJA



UZDUŽNI PRESJEK



POGLED



PRESJEK A - A

Sl. 34-34 Vodozahvat s Romijm ustavom

Formula je za protok jednaka izrazu za protok preko širokog praga:

$$Q = 1,7 b H^{1,5} \quad (17)$$

gdje je:

- Q = protok, u m³/s
- b = protok, u m
- H = visina vode (tlak) u m

Za osiguranje slobodnog tečenja mora biti ispunjen uvjet $H_{\text{ni zv.}} < 0,30 H_{\text{uzv.}}$. Mjerenje je protoka jednostavno, iako su potrebne tri vodomjerne letve.

Prednosti tog tipa vodomjera jesu:

- objekt može mjeriti i regulirati protok u isto vrijeme
- gubitak je tlaka malen
- jednostavna upotreba
- plivajući predmeti prolaze bez problema
- ispiranje nanosa omogućeno podnožnom zapornicom
- visoka preciznost.

Nedostaci jesu:

- konstrukcija je komplicirana i skupa
- objekt je vrlo osjetljiv na promjene uzvodne razine vode
- nema proporcionalne raspodjele vode za vrijeme promjene protoka u uzvodnom kanalu.

3.4.4.7. Preljev Cipoletti

Vodomjer tipa Cipoletti jest modifikacija tankostijenog preljeva s konstrukcijom mlaza i trapezoidnom kontrolnom sekcijom. Prag je preljeva horizontalan. Preljev Cipoletti jednostavan je za očitavanje, ali zahtijeva značajan tlak. Za regulaciju je protoka potreban objekt.

Protok preljeva Cipoletti računa se po izrazu:

$$Q = 1,9 b H^{1,5} \quad (18)$$

gdje je:

- Q = protok, u m³/s
- b = širina praga, u m
- H = tlak, u m

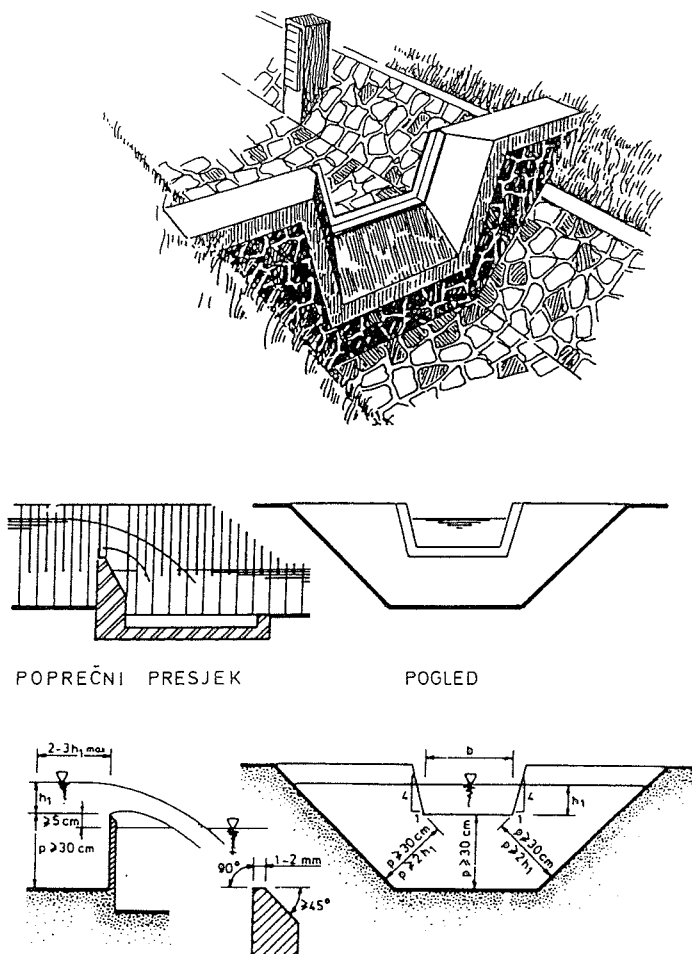
Prednosti tog tipa vodomjera jesu:

- jednostavna konstrukcija
- plivajući predmeti prolaze bez poteškoća
- jednostavno mjerenje protoka

Nedostaci preljeva Cipoletti jesu:

- gubitak tlaka jednak je raspoloživom tlaku na preljevu

- objekt nije regulator
- nema proporcionalne raspodjele vode za vrijeme promjene protoka.



Sl. 34-35 Preljev Cipoletti

3.4.4.8. Parshallov vodomjer

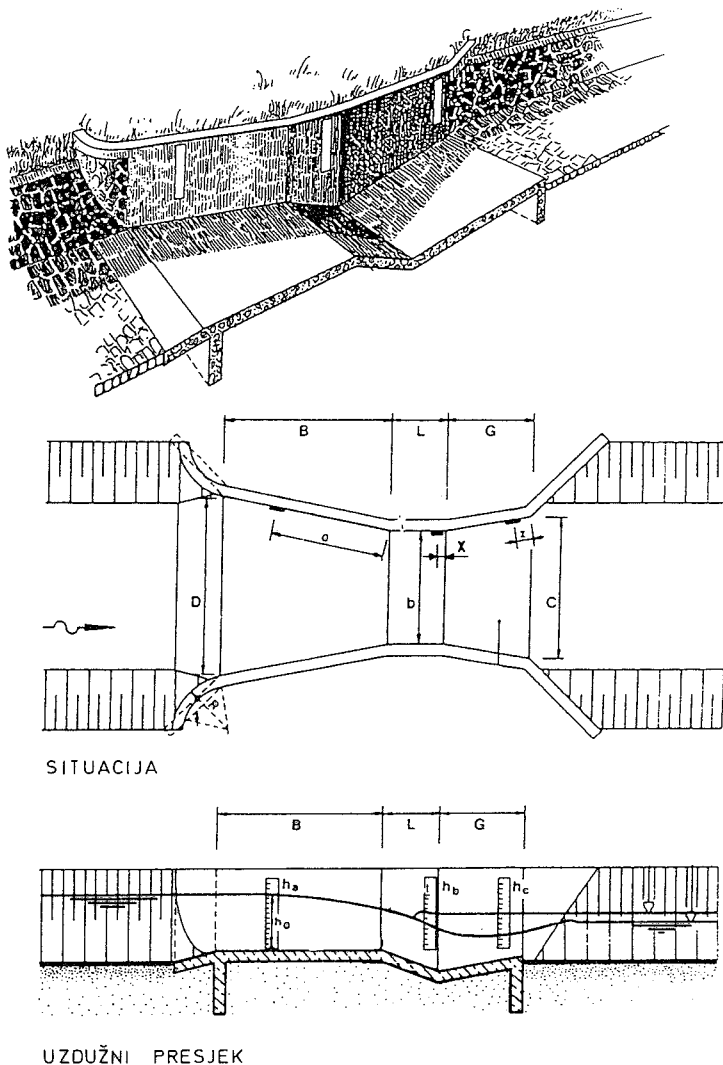
Parshallov je vodomjer laboratorijski testiran uređaj za mjerenje protoka u otvorenim kanalima.

Objekt se sastoji od sljedećih dijelova:

- prijelazni dio konstrukcije s horizontalnim dnom
- suženi dio konstrukcije s nagnutim dnom
- ljevkasti ulazni i izlazni dio konstrukcije

Zbog nekonvencionalnih nagiba dna protok se ne kontrolira u suženom dijelu konstrukcije, već blizu početka horizontalnog dijela. Za razliku od konvencionalnih uređaja, gdje se mjeri raspoloživi tlak uzvodno od mjernog mjesta, Parshallov je vodomjer kalibriran na piezometarski tlak h_a u prijelaznom dijelu konstrukcije i mjeri se na propisanoj udaljenosti "a". Dimenzije su prikazane u tablici 34-6.

Nizvodni piezometarski tlak h_b može se mjeriti na označenom mjestu za nepotopljene uvjete tečenja. Tlak h_c može biti potreban za proračun protoka u potopljenim uvjetima. Za slučaj $h_b < 0,95 h_a$ nije moguće mjerenje protoka.



Sl. 34-36 Parshallov vodomjer

Uvjeti za vodomjere za modularni (nepotopljeni) protok:

- za širinu $b = 0,3 - 2,4$ m: $H_{\text{nizv.}} < 0,6 H_{\text{uzv.}}$

- za širinu $b = 3 - 15$ m: $H_{\text{nizv.}} < 0,8 H_{\text{uzv.}}$

Zbog trodimenzionalnog oblika strujanja vode u vodomjeru, ne postoji adekvatan hidraulički proračun. Krivulje protoka dobivaju se laboratorijskim ispitivanjem. Približan protok na vodomjeru računa se po izrazu:

$$Q = 2,4 b y_a^{1,6} \quad (19)$$

gdje je:

Q = protok, u m^3/s

b = širina suženog dijela, u m

y_a = piezometarski tlak na mjestu "a", u m

U natapanju treba izbjegavati tečenje u potopljenim uvjetima na tom vodomjeru jer su očitavanje razine i proračun protoka komplicirani.

Prednosti Parshallova vodomjera jesu:

- plivajući predmeti i nanos prolaze preko objekta bez problema
- jednostavno očitavanje protoka
- objekt je trajan

U nedostatke tog vodomjera ubrajaju se:

- komplicirana i skupa izvedba konstrukcije
- nema proporcionalne raspodjele za vrijeme promjene protoka kad se primjenjuje zapornica u kanalu višeg reda.

Dimenzije Parshallova vodomjera

Tablica 34-6

Širina b (m)	Protok		h_a max (m)	Dimenzije preljeva					
	Q_{min} (m^3/s)	Q_{max} (m^3/s)		B	L	G	a	D	C
0,30	0,01	0,46	0,76	1,34	0,61	0,91	0,91	0,85	0,61
0,46	0,01	0,70	0,76	1,42	0,61	0,01	0,97	1,03	0,76
0,61	0,01	0,94	0,76	1,50	0,61	0,91	1,02	1,21	0,91
0,91	0,02	1,43	0,76	1,65	0,61	0,91	1,12	1,57	1,22
1,22	0,04	1,92	0,76	1,79	0,61	0,91	1,22	1,94	1,52
1,52	0,04	2,42	0,76	1,94	0,61	0,91	1,32	2,30	1,83
1,83	0,07	2,93	0,76	2,09	0,61	0,91	1,42	2,67	2,13
2,44	0,10	3,95	0,76	2,39	0,61	0,91	1,63	3,40	2,74
3,05	0,16	8,28	1,07	4,27	0,91	1,83	1,83	4,76	3,66

3.4.5. Regulatori razine vode

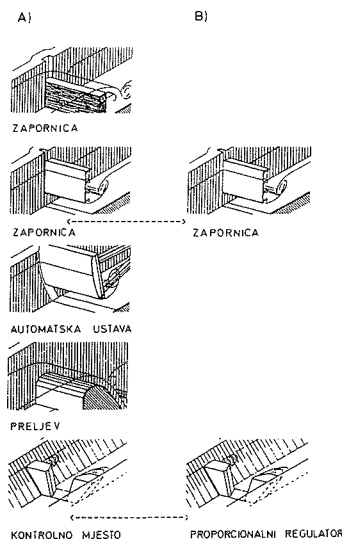
3.4.5.1. Regulatori za uzvodnu kontrolu

1. Uvod

Objekti za regulaciju razine vode, u kombinaciji s objektima za regulaciju protoka, potrebni su za regulaciju tečenja i za raspodjelu vode natapnoj površini. Uzvodna razina vode mora se kontrolirati unutar uskih granica jer objekti vodozahvata koji mogu raditi s velikim razlikama uzvodne razine, nisu još usavršeni za praktičnu upotrebu. Kontrola razine vode provodi se pomoću regulatora razine vode (engleski je naziv, koji se često upotrebljava kod nas, "check-structure" ili "cross-regulator"). Funkcija je regulatora razine održavanje projektirane razine vode pri svakom protoku.

Kontrolni sustav tečenja vode sadrži obično regulatore razine na kanalu višeg reda i regulatore protoka na kanalu nižeg reda. Mogu se zahtijevati i vodomjerni uređaji. Često se događa da objekti - regulatori razine vode imaju više funkcija, tj. i regulaciju protoka, raspodjelu vode i sl.

Opći izgled poznate konstrukcije regulatora razine vode - ustava ili zapornica već je prikazan na slici 34-10 u točki 3.4.3.2. ovog poglavlja. Na slici 34-37 prikazane su neke vrste regulatora razine.



a) regulatori razine vode

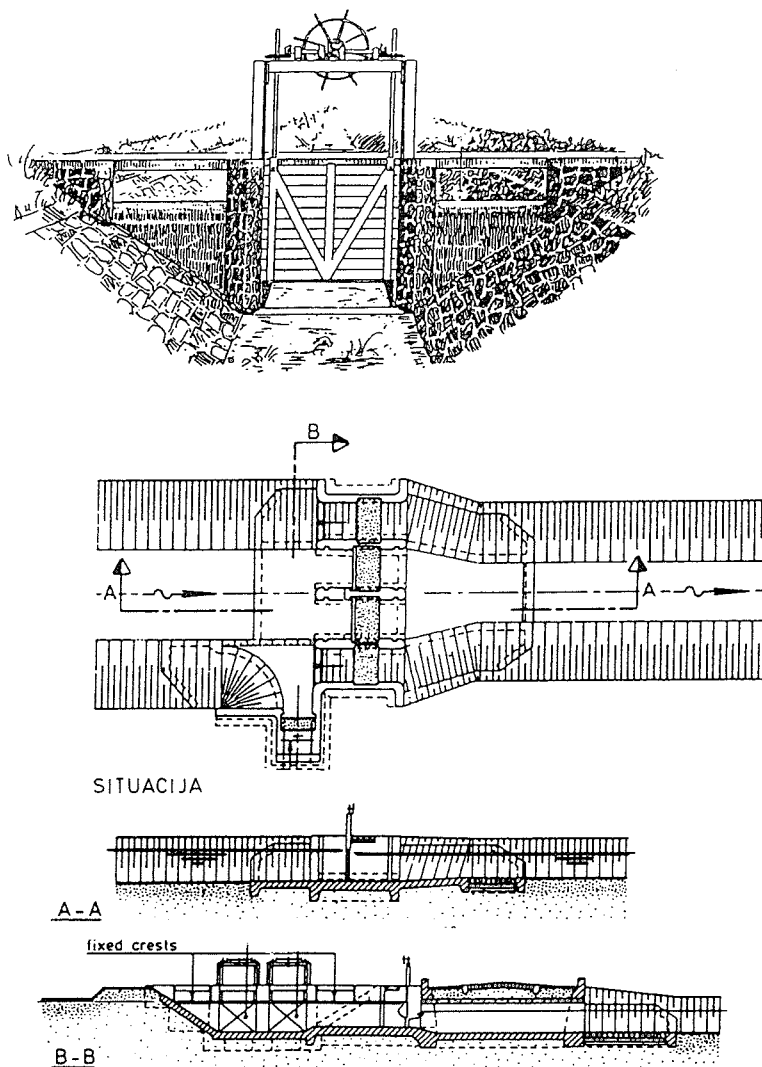
b) regulatori protoka

Sl. 34-37 Vrste regulatora razine vode i protoka

Zapornice su jednostavni i učinkoviti objekti za kontrolu uzvodne razine vode u natapnom kanalu. Ima ih više vrsta tako da mogu zadovoljiti različite zahtjeve i potrebe. Zapornice se mogu primjenjivati i kao objekti za raspodjelu vode, kako je opisano u točki 3.4.3.2 i prikazano ranije na slici 34-11.

Razlikuju se pločaste zapornice i radijalne (segmentne) zapornice. Kada otpori podizanja ploče dosegnu veću vrijednost, prelazi se na radijalni tip zapornice.

Formula za protok vode kroz zapornicu nije relevantna za regulaciju uzvodne razine. Projektiranje razine vode temelji se na protoku za koji gubitak tlaka treba biti minimalan.



Sl. 34-38 Pločasta zapornica i preljcv

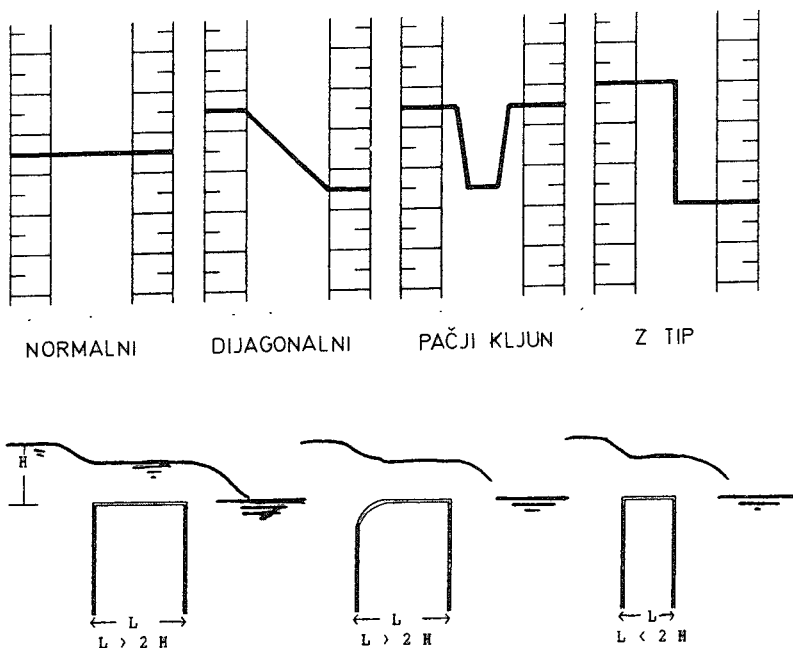
Upotreba zapornice kao regulatora razine vode, vrlo je raširena u natapnim sustavima. Konstrukcija je jednostavna i cijena relativno niska.

Zapornica, kao regulator, neće ispuniti svoju svrhu održavanja konstantne razine vode u sustavu s čestim promjenama protoka. Da se izbjegne taj slučaj, primjenjuje se zapornica s preljevom, kao što je prikazano na slici 34-38.

3. Preljevi s dugom krunom

Regulatori razine vode mogu se izvesti s fiksiranom krunom preljeva, veće duljine krune. Takvi preljevi kontroliraju razinu vode u uskim granicama. Kolebanje uzvodne razine vode smanjuje se produljenjem krune preljeva. Ta vrsta preljeva razvijena je u više tipova:

- dijagonalni preljev
- preljev "pačji kljun"
- preljev u obliku slova "Z"
- ostali specijalni oblici



Sl. 34-39 Tipovi preljeva s dugom krunom i oblici krune preljeva

Preljev "pačji kljun" upotrebljava se najčešće jer ima najbolji odnos protoka i količine radova za objekt preljeva.

Protok preko preljeva računa se pomoću opće formule za preljev sa slobodnim istjecanjem:

$$Q = c \cdot b \cdot H^{3/2} \quad (20)$$

gdje je:

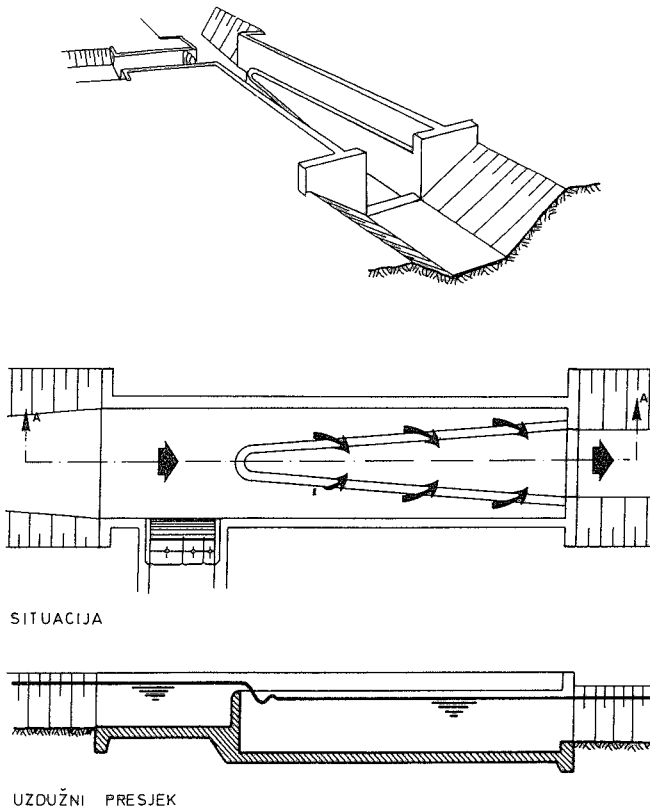
Q = protok, u m^3/s

c = koeficijent preljeva

b = širina preljeva, u m

H = uzvodna dubina vode (iznad krune), u m

Koeficijent preljeva ovisi o dimenziji i obliku krune preljeva te o kutu između krune preljeva i poprečnog presjeka kanala i kreće se od 1,0 do 1,9.



Sl. 34-40 Preljev u obliku pačjeg kljuna

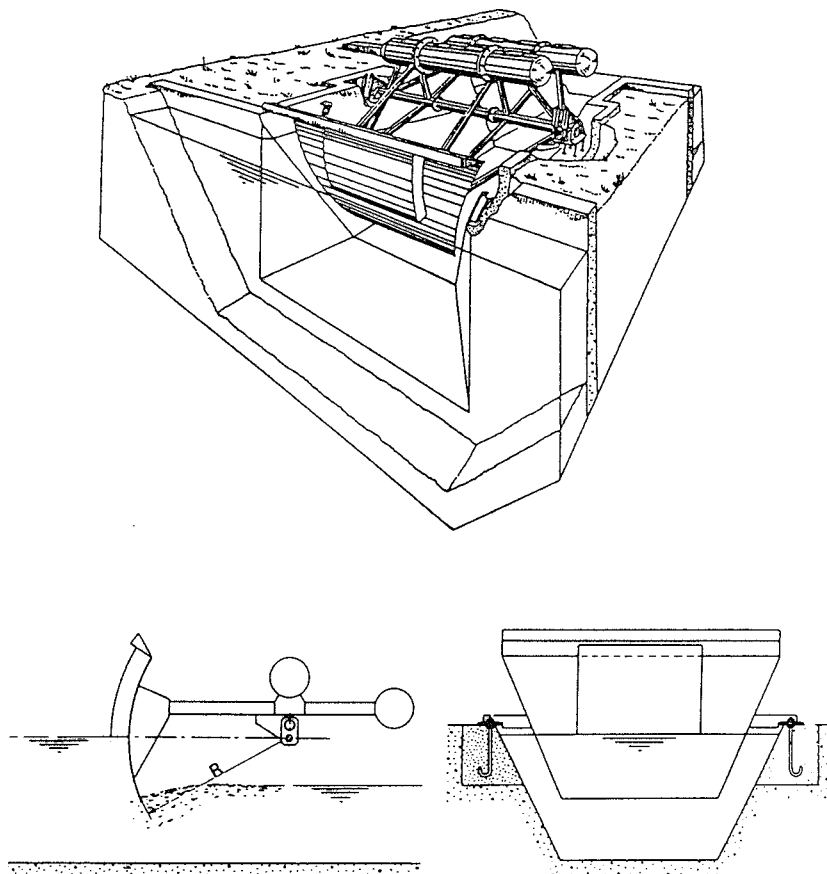
Prednosti preljeva s dugom krunom: velika je prednost jednostavnost objekta u izvođenju i pogonu te je nemoguće pogrešno upravljati objektom.

Nedostaci: ako natapna voda sadrži nanos ili mulj, ti se preljevi ne primjenjuju. Također, preljevi imaju gubitak tlaka.

4. Ustava AMIL

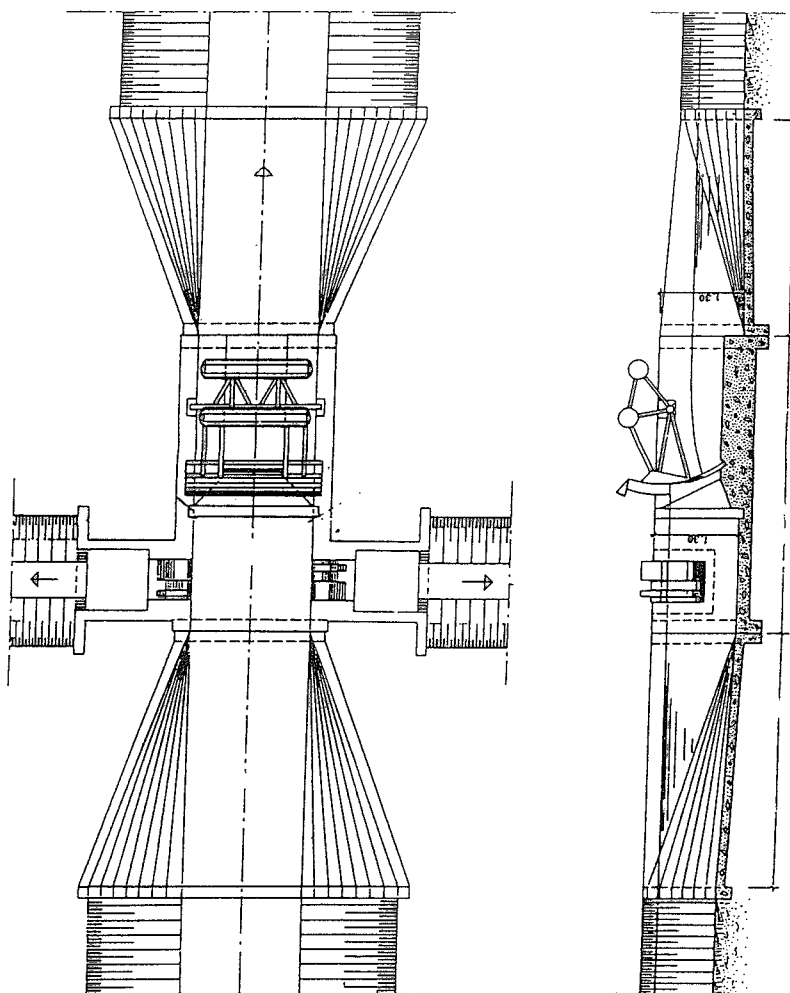
Ustava AMIL jest automatski regulator uzvodne razine vode iz Neyrtec serije proizvoda. Ustava održava konstantnu uzvodnu razine voda u neovisnosti o protoku.

Ustava se sastoji od zapornice, koja je radijalna i balansirana, plovka uz zapornicu te dvaju regulirajućih protuutega.



Sl. 34-41 Ustava AMIL za konstantnu uzvodnu razine

Kada se uzvodna razina vode povisi zbog povećanog dotoka, plovak podiže zapornicu i dopušta veće otjecanje. Time se uzvodna razina ponovo spušta i stabilizira. Različite su vrste ustave AMIL geometrijski slične i označavaju se indeksom D, koji je približno jednak širini vodnog lica. Na raspolaganju su širine od 0,80 do 8,00 m i protoci od 0,10 m³/s do 55,00 m³/s. Dubina je vode iznad praga $p = 0,45 D$. Minimalni je gubitak tlaka oko 0,10 m pri $Q = 0,20$ m³/s, 0,25 m za $Q = 2$ m³/s pa do 0,50 m za $Q = 10$ m³/s.



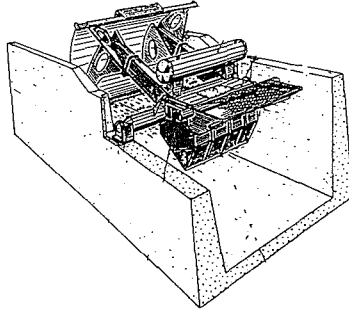
Sl. 34-42 Regulator s ustavom AMIL

3.4.5.2. Regulatori za nizvodnu kontrolu razine vode

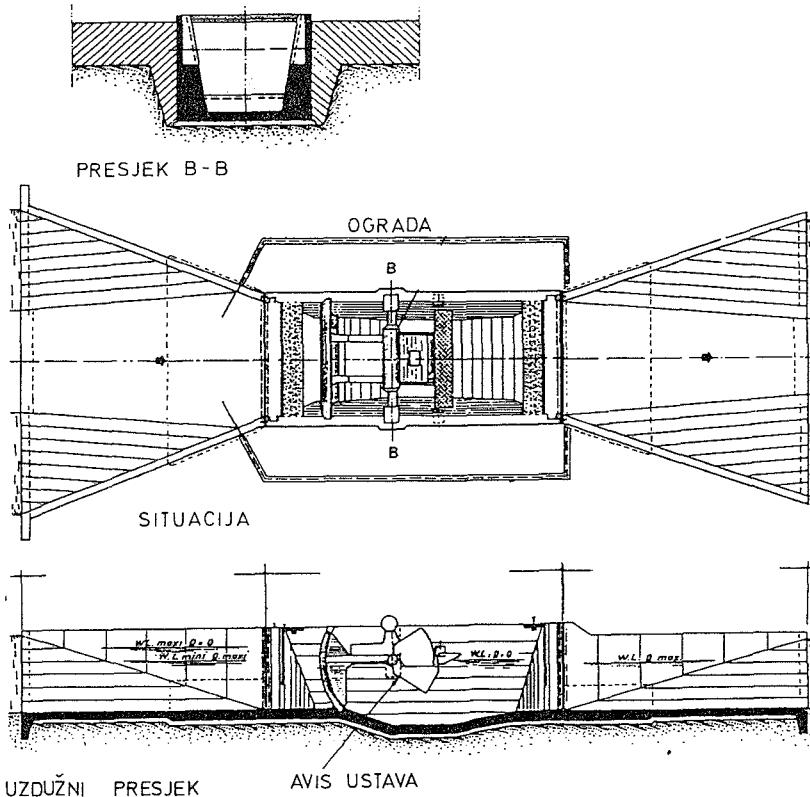
Ustave AVIS i AVIO jesu automatski regulatori nizvodne razine vode iz Neyrtec serije. Ustave održavaju konstantnu nizvodnu razinu vode. Ustave AVIS i AVIO primjenjuju se često u samoregulirajućem sustavu za natapanje, a projektirane su za operacije "na zahtjev". Promjene u nizvodnoj razini pomiču otvor zapornice pa se mijenja dotok u dionicu kanala. Ustave AVIS i AVIO u osnovi su jednake: ustava AVIS zatvara (pomoću radijalne zapornice) cijeli profil kanala, a ustava AVIO zatvara samo otvor na vodozahvatnom objektu kanala nižeg reda. Ustave se sastoje od cilindrične zapornice trapeznog presjeka te plovka na suprotnom kraju od zapornice.

1. Ustava AVIS

Na raspolaganju su dvije grupe: za velike tlakove i za niske tlakove. Hidrauličke su karakteristike bitno drugačije od onih kod mjernih uređaja i razdjelnih uređaja jer je ustava projektirana za potpuno druge svrhe - funkcija je ustave održavati konstantnu nizvodnu razinu vode pri promjenjivim protocima.



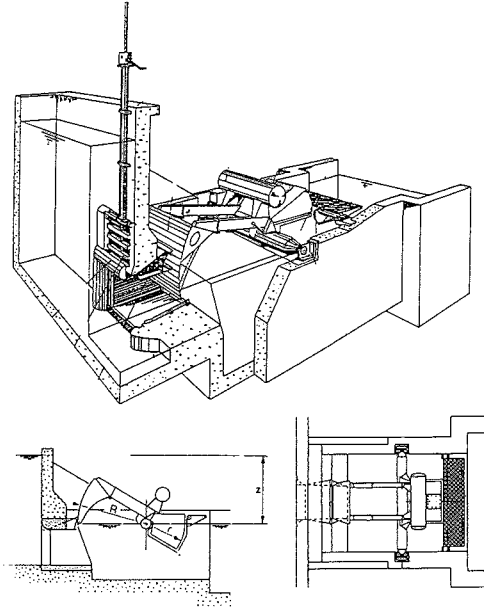
Sl. 34-43 Ustava AVIS za automatsku nizvodnu kontrolu



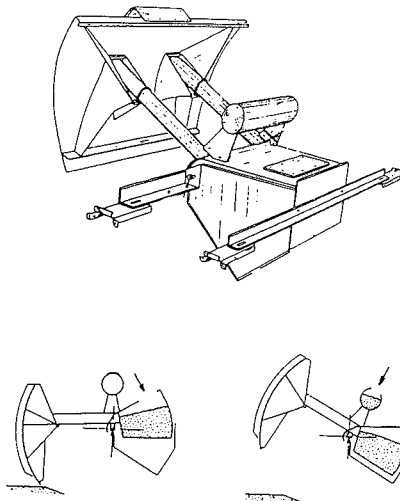
Sl. 34-44 Ustava AVIS kao regulator

2. Ustava AVIO

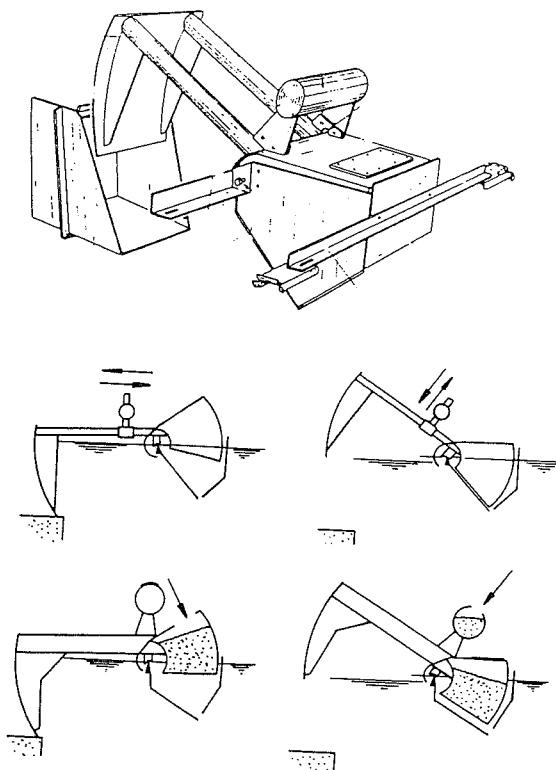
Ustava AVIO jest varijanta tipa AVIS. Tip AVIO primjenjuje se za vodozahvat kada je količina vode koja se uzima iz kanala višeg reda, mala u odnosu prema količini vode u kanalu.



Sl. 34-45 Ustava AVIO za automatsku nizvodnu kontrolu



Sl. 34-46 Uravnoteživanje ustave AVIS



Sl. 34-47 Uravnoteživanje ustave AVIO

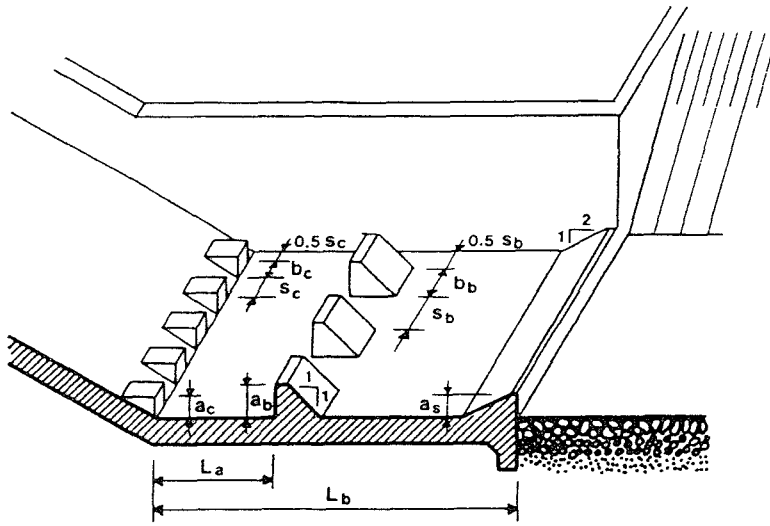
3.4.6. Ostale građevine na kanalima

3.4.6.1. Umirujući bazeni

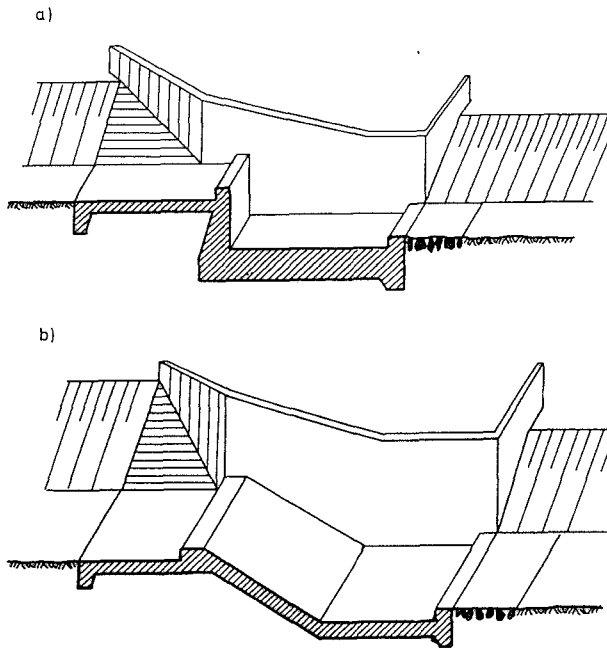
Umirujući su bazeni potrebni u natapnom sustavu. Oni su sastavni dio objekata za prekid pada - stepenica, a postavljaju se na izlazu iz sifona, kod regulatora razine vode, mjernih uređaja itd. Svrha je bazena raspršenje energije putem hidrauličkog skoka da bi se spriječila erozija u nizvodnoj dionici kanala.

3.4.6.2. Stepenice

Ako je pad terena veći od dopuštenog nagiba dna kanala, izvode se stepenice - objekti za prekid nivelete kanala i u skoku snizuju kotu dna. Također se uništava energija vode koja je posljedica skoka.



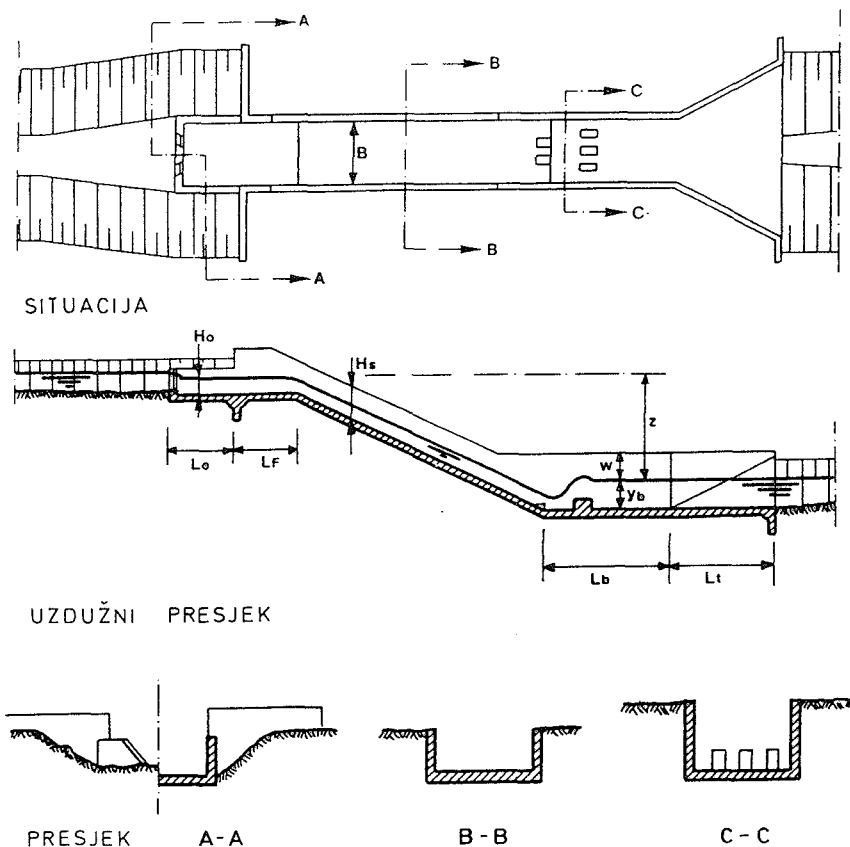
Sl. 34-49 Umirujući bazen tipa USBR tip III



a) vertikalna

b) nagnuta

Sl. 34-50 Stepnica



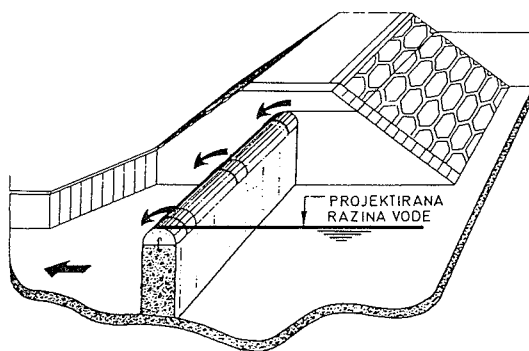
Sl. 34-51 Nagnuta stepenica USBR

3.4.6.3. Objekti za zaštitu kanala

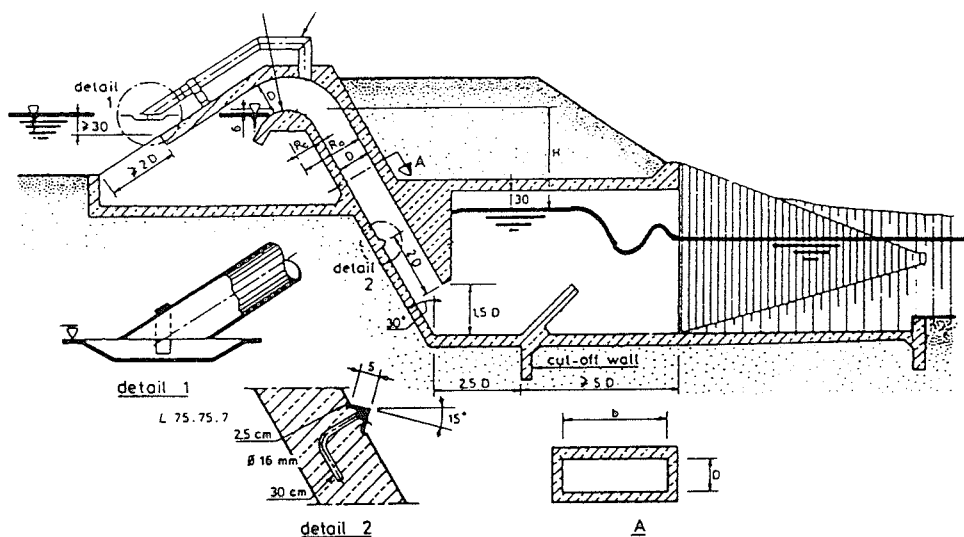
Ti se objekti izvode radi zaštite kanala i objekata od šteta od velikih voda. Kapacitet tih zaštitnih objekata mora omogućiti provođenje ekscesnih protoka od poplava ili grešaka u pogonu natapnog sustava.

Zaštita se može izvesti s različitim vrstama objekata:

- bočni preljev u nasipu kanala
- sifonski preljev
- automatska ustava
- ispust na kraju natapnog kanala, koji služi za potpuno ispuštanje vode iz kanala.



Sl. 34-52 Bočni evakuacijski preljev



Sl. 34-53 Sifonski preljev

LITERATURA

1. Ankum, P.: Flow Control in Irrigation Systems. TU Delft, 1991.
2. Bos, M.G.: Discharge Measuring Structure, Pub. ILRI, Wageningen, 1989.
3. Bos, M.G. and Nugteren, J.: On Irrigation Efficiencies. ILRI, Wageningen, 1982.
4. Gereš, D.: Objekti na distributivnom sistemu za navodnjavanje. Seminar iz hidrotehničkih melioracija, DONH i DGIT, Zagreb, 1989.
5. Huyskes, E.J.: Performance of Automatic Downstream Control Canals. TU Delft, 1990.
6. Kratz, D.B. and Mahajan, J.K.: Small Hydraulic Structures. Irr. and Drain. Paper 26, FAO Rome, 1975.
7. Plusquellec, H.: Improving the Operations of Canal Irrigation Systems. World Bank, Washington D.C 1988.
8. USBR: Design of Small Canal Structures. USDI, Denver, 194.
9. AVIO and AVIS Gates. Leaflet A.65. OZA Alsthom Fluides.
10. AMIL Gates. Leaflet A.65.01.82A. Alsthom Fluides.
11. Distributors. Leaflet A. 65.10A. Alsthom Fluides.

4. OPREMA ZA NATAPANJE

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

4.1. OPREMA ZA POVRŠINSKE NAČINE

4.1.1. *Općenito*

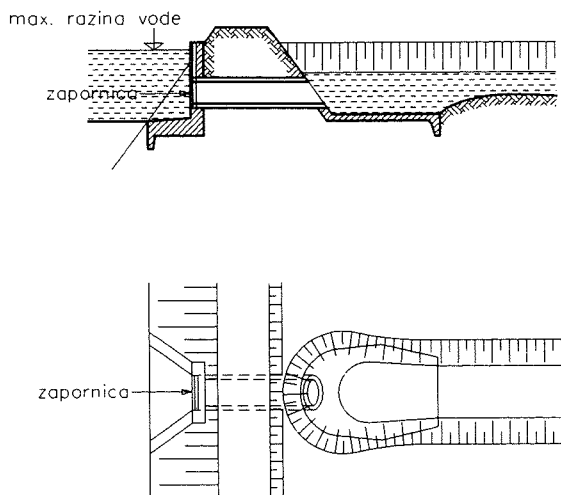
Natapna se voda iz kanala najnižeg reda osnovne mreže (obično tercijarni) ispušta ili neposredno na natapnu površinu ili u parcelne jarke (natapnice, natapne brazde i sl.) koji, ovisno o načinu površinskog natapanja, poprimaju različite konstruktivne oblike i pogonske funkcije. Takvih građevina i opreme ima veliki broj tipova te obično variraju od zemlje do zemlje, a od sustava do sustava. ponekad imaju višestruku funkciju te, pored ispusta vode mogu regulirati razinu vode, mjeriti količinu i sl.

U ranije doba, kada nije postojalo betonskih, metalnih i plastičnih materijala od kojih se danas uglavnom ta oprema proizvodi, običavalo se jednostavno prokopati rupu u popratnom nasipu i pustiti da voda istječe određeno vrijeme a potom je istim materijalom ponovno začepiti te otvoriti nasip na drugome mjestu i tako redom. Danas se na tim mjestima ugrađuju stabilni ispusti ili se primjenjuje odgovarajuća specifična oprema. Vrsta ispusta ili opreme koja se primjenjuje ovisi o više čimbenika, ali najvažniji je od njih koji se način natapanja primjenjuje.

U modernim se natapnim sustavima zahtijeva (a takvih je već bilo i u srednjem vijeku) da dopremljena količina vode bude poznate veličine, npr. u l/s, i količine pa je s tim u vezi izrađen veći broj tipova, već prema namjeni i kapacitetu. Najčešće se projektiraju za kapacitet od jednoga ili više modula (najčešće od 20 do 60 l/s), što obično odgovara kapacitetu jednoga natapnog kanala najnižeg reda.

4.1.2. *Ispusti*

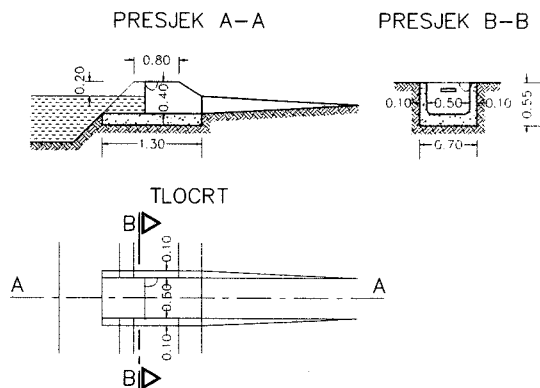
Ispusti na natapne površine primjenjuju se najviše pri natapanju prelijevanjem i potapanjem, a rjeđe kod brazda. Mogu biti dosta sofisticirane izvedbe s elementima za održavanje konstantne razine vode u kanalu te mjerenje dopremljene količine, odnosno tarirani na određenu količinu, obično natapni modul. Takvi se tipovi ugrađuju i na kanale viših redova pa se ovdje neće opisivati.



Sl. 41-1 Tip ispusta kroz nasip

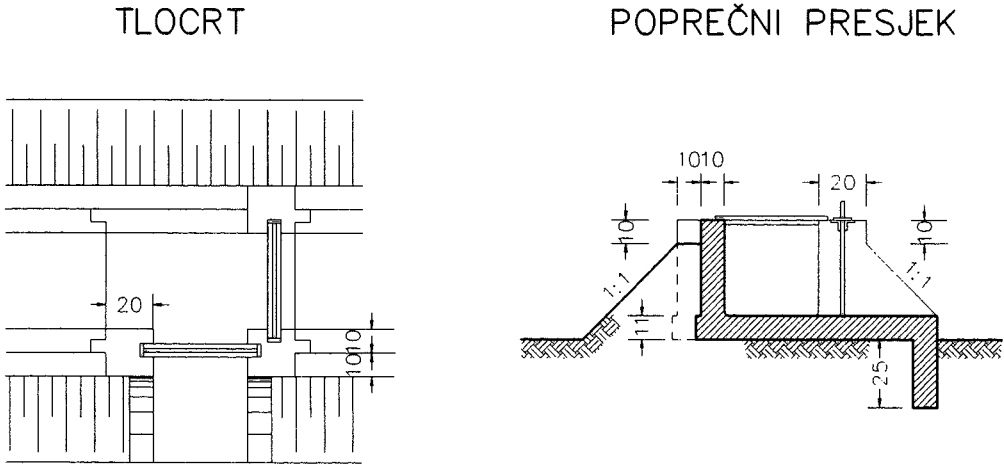
Na sl. 41-1 prikazan je jedan tip vrlo jednostavnog ispusta koji se obično ugrađuje u kanale u nasipu. Voda se može ispuštati pomoću jedne ili više cijevi, okruglog ili pravokutnog presjeka, već prema potrebnoj količini. Nekad su se te građevine izrađivale od drveta ili kamenog zida, a danas u pravilu od armiranog betona ili, u novije doba, od plastičnih materijala. Na uzvodnoj i nizvodnoj strani od cijevi-propusta osigurava pokos i dno odgovarajućom betonskom ili kamenom zaštitom. Na uzvodnom dijelu ispust je opskrbljen zapornicom, koja je najčešće betonska ili limena. Zapornica mora biti jednostavna za rukovanje i neosjetljiva na visinu vode u kanalu.

Ako kruna popratnog nasipa natapnog kanala nije prohodna i ako je razina vode u razvodnom kanalu više-manje konstantna, može se primijeniti tip ispusta prikazan na sl. 41-2. Ispusni je kanal tog tipa u pravilu pravokutna presjeka; građevina je vrlo jeftina i sigurna u pogonu pa se danas često primjenjuje.



Sl. 41-2 Ispust sa slobodnim vodnim licem

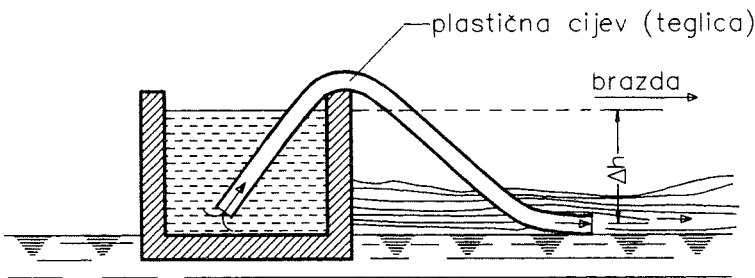
U pojedinim se zemljama već duže vrijeme natapni kanali najnižeg reda za površinske načine natapanja proizvode od prefabriciranih elemenata i potom samo montiraju na terenu. Proizvodni je program tih elemenata obično takav da obuhvaća kompletan asortiman za čitavu razvodnu i natapnu mrežu kao što su kanali, postolja, sifoni, stepenice, vodomjeri, ispusti i dr. Primjer takva ispusta, koji se masovno gradio na natapnim površinama Consorzio Canale della Vittoria (Treviso, Italija) prikazan je na sl. 41-3.



Sl. 41-3 Tip prefabricirana ispusta

4.1.3. Teglice

Pri natapanju prelijevanjem, a posebno brazdama, natapna se voda vrlo često dozira na polja (u brazde) pomoću prijenosnih teglica. Teglice su obično dimenzija od 3/4" do 4", a proizvode se ili od aluminijske (ranije), odnosno plastične mase (danas). U pogon se stavljaju na taj način što se potopu u vodu (kanal), zatim dlanovima zatvore na oba kraja te namjeste preko ruba kanala u brazdu i otvore krajevi.



Sl. 41-4 Doziranje vode na parcelu teglicom

USDA preporučuje da se protok uobičajenih tipova teglica koje se upotrebljavaju za prebacivanje vode iz kanala na natapnu površinu uzima prema priloženoj tablici.

Protok izražen u l/s najčešće korištenih teglica za natapanje

Tablica 42-1

Promjer teglice, inches	Veličina tlaka Δh , cm				
	5	7,5	10	15	22,5
1/2	0,08	0,10	0,11	0,13	0,17
3/4	0,19	0,25	0,31	0,38	0,44
1	0,31	0,38	0,44	0,56	0,69
1 1/4	0,50	0,63	0,75	0,94	1,13
1 1/2	0,82	1,00	1,13	1,51	1,76
2	1,32	1,70	2,00	2,58	3,15
2 1/2	2,00	2,52	3,00	3,40	4,09
3	2,89	3,59	4,09	5,17	6,30
4	5,41	6,67	7,51	9,63	12,60

Prema tome, pri proračunu nekog polja za natapanje brazdama najprije će se odrediti osnovni elementi brazda (duljina, razmak, oblik, kapacitet-protok), a potom će se birati odgovarajuća oprema da se tako definiran projekt i realizira. Pretpostavimo da je projektom izračunato da protok brazde treba biti $q = 3,0$ l/s, a način je doziranja pomoću teglica. Iz tablice proizlazi da za taj slučaj, uz tlak od 10 cm, treba primijeniti teglice promjera 2 1/2 in. ili, ako imamo na raspolaganju samo promjer od 1 1/4 inča, onda bi trebalo upotrijebiti četiri komada.

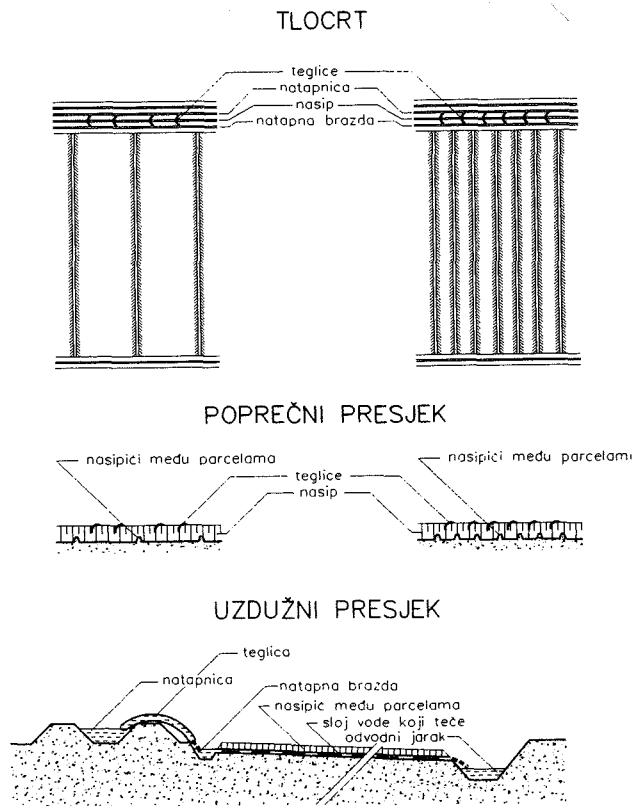
4.1.4. Prijenosni cjevovodi

Laki prijenosni cjevovodi za razvod vode na natapne parcele pod niskim tlakom proizvode se od aluminijskih, plastičnih materijala i gumiranog platna. U SAD-u su aluminijski cjevovodi našli najširu primjenu. Svi ovi tipovi mogu se upotrebiti ili samo za dovođenje vode do natapne parcele, ili i za dovođenje i za doziranje vode u brazde ili preljevna polja.

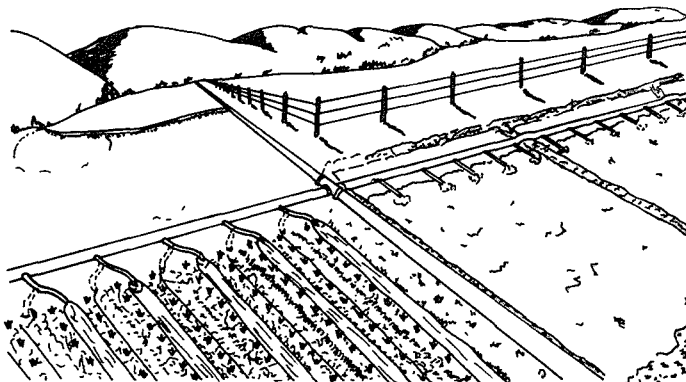
Aluminijski se cjevovodi obično proizvode nazivnih promjera od 5, 6, 8 i 10 in. Spajaju se ekspresnim spojnicama sličnih značajki kao i prijenosni cjevovodi koji se primjenjuju pri natapanju kišenjem. Cijevi s otvorima većih promjera proizvode se obično u duljinama od 6 m, a manji promjeri od 9 m. Za dopremu, postavu, skidanje i odvoz postoje specijalna vozila i oprema tako da se te operacije brzo i jeftino obavljaju.

U novije se vrijeme uz aluminijske cjevovode proizvode i kruti cjevovodi od polivinilklorida. Budući da standardni PVC nije otporan na sunčano zračenje, pri proizvodnji smjese za te cjevovode dodaje se ultraljubičasti inhibitor koji omogućava dugotrajnu postojanost cjevovoda na suncu bez oštećenja. Ti se

cjevovodi proizvode u sličnim dimenzijama i s jednakom vrstom spojnika kao i aluminijski cjevovodi.



Sl. 41-5 Primjena teglica pri natapanju prelijevanjem



Sl. 41-6 Skica natapanja brazdama i prelijevanjem pomoću fleksibilnih cjevovoda s otvorima

Fleksibilni (savitljivi kada su prazni) cjevovodi od gumirana platna proizvode se obično u dužinama od 15 m, a promjera između 100 i 300 mm. Kada kroz njih protječe voda pod jako niskim tlakom, nemaju okrugao presjek, što treba uzeti u obzir kada se računa propusna moć.

Tankostijene fleksibilne cijevi od polivinilklorida za tu namjenu postale su komercijalno raspoložive sredinom 70-ih godina. Proizvode se do promjera od 500 mm, dostavljaju u kolutima, a dužine su više stotina metara. Iako su znatno jeftinije od aluminijske i polivinilkloridne, ne mogu ih zamijeniti jer traju relativno kratko.

Ministarstvo poljoprivrede SAD (USDA, SCS) provelo je opširna ispitivanja o hidrauličkim i drugim značajkama svih ovdje opisanih cjevovoda te izradilo odgovarajuće formule, nomograme i tablice za njihovo dimenzioniranje. Zainteresirani se čitaoci, ako im zatreba, upućuju na te izvore.

Svi ovdje opisani cjevovodi, kruti ili fleksibilni prijenosni, mogu biti bez ugrađenih otvora za doziranje vode u brazde ili na prelijevna polja ili s njima. Cijevi s otvorima imaju ravnomjerno (npr. na razmaku 0,70 m) raspoređene okrugle ili pravokutne otvore, koji su, po potrebi, opskrbljeni zatvaračima tako da se protok ispusta može po volji regulirati. Ponekad su na otvorima postavljeni kratki savitljivi odvojeci, tzv. rukavi, kako bi se smanjila izlazna energija vode i svela na minimum erodivna snaga vode. Te se cijevi najčešće prenose iz jednoga natapnog polja na drugo, slično kao pokretna krila u natapanju kišenjem.

LITERATURA

1. C.Constantinidis: Bonifica ed Irrigazione, Edagricole, Bologna, 1970.
2. M.E.Jensen: Design and Operation of Farm Irrigation Systems, ASAE, 1981.
3. Z.Kos: Hidrotehničke melioracije tla. Navodnjavanje. Školska knjiga, Zagreb, 1987.
4. D.B.Kruatz: Irrigation Canal Lining, FAO, Rome, 1977.
5. Ch.Ollier-M.Poiree: Irrigation, Eyrolles, 5.Edition, Paris, 1981.

4. OPREMA ZA NATAPANJE

*Prof.dr. Frane Tomić
Dr. Davor Romić
Agronomski fakultet
Sveučilišta u Zagrebu*

*Prof.dr. Stjepan Mađar
Poljoprivredni fakultet
Sveučilišta u Osijeku*

4.2. OPREMA ZA LOKALIZIRANO NATAPANJE

4.2.1. Umjesto uvoda

Metoda lokaliziranog natapanja primjenjuje se na dva načina:

- natapanje kapanjem i
- natapanje mini rasprskivačima

Oba ta načina nastala su poslije Drugoga svjetskog rata. No, ipak, natapanje kapanjem pojavilo se oko dvadesetak godina prije natapanja mini rasprskivačima. Zajedničko im je što ne zahtijevaju veliki tlak, posebno kapanje, pa se zbog toga izgrađuju od polimernih materijala (plastike). U ovom će se radu iznijeti svi potrebni dijelovi za oba načina natapanja.

4.2.2. Oprema kapanja

4.2.2.1. Što je kapanje?

To je način lokaliziranog natapanja kojim se češće dodaju manje količine vode u tlo, sa svrhom intenzivnog uzgoja poljoprivrednih kultura. Dodavanje vode izvode kapaljke, koje su smještene na odabranim mjestima uzduž bočnih ili natapnih cijevi koje dostavljaju vodu.

Bočne se cijevi s kapaljkama najčešće postavljaju na površini tla, ali one se mogu postaviti i u tlo na određenu dubinu. Nakon dolaska vode iz kapaljki na tlo, u obliku kapanja, nastaje kapilarno širenje vode u tlu u svim smjerovima. Oblik i udaljenost kapilarnog vlaženja tla ovisi o svojstvima tla, broju kapaljki i njihovoj raspodjeli te vremenskom trajanju natapanja. Značajno je da se kapanjem mogu, uz dodavanje nedostatka vode, dodavati otopljena hraniva u svrhu stvaranja uvjeta za optimalni rast biljaka i ostvarivanje maksimalnih prinosa potrebne kvalitete.

4.2.2.2. Koristi koje se ostvaruju kapanjem

U ovom trenutku voda, kao prirodni resurs i javno dobro, predstavlja ozbiljan problem u svijetu jer se nalazi u vrlo ograničenim količinama. Do sada se upotrebljavala nekontrolirano i neracionalno, uz pogoršanje njezine kvalitete. Prema tome, ograničene količine svježe vode i njezina veća dosadašnja onečišćavanja jesu problemi koji izazivaju zabrinutost. Najveće količine svježe vode upotrebljavaju se u poljoprivredi za natapanje. Međutim, stupanj je korisnog iskorištenja vode unutar sustava za natapanje malen. Oko 60% vode gubi se prilikom natapanja - na putu od izvorišta do biljke. Sve to dovodi do ogromnog i nekorisnog utroška svježe vode, degradacije tala, podizanja razine podzemne vode, zaslanjivanja i smanjenja prinosa natapanih kultura. Zbog toga je s pravom nastupila uzbuna u cijelom svijetu. U brizi za svježom i čistom vodom međunarodni programi zahtijevaju: učinkovitije korištenje vode, smanjenje onečišćenja i podizanje kvalitete vode, sprečavanje zamočvarivanja i salinizacije tla, uvođenje novih tehnika i načina natapanja (Tomić et.al., 1993).

Opće je mišljenje da je moguće ostvariti povećanje djelatnosti natapanja povećanjem primjene lokaliziranog natapanja. Time se ostvaruje novo unapređenje tehnologije natapanja i bolje praktično upravljanje vodama. Višestruke su značajne odlike kapanja, a posebne koristi dolaze do izražaja kroz uštedu energije i vode, mogućnost primjene na svim reljefima i tlima. Zatim se mogu natapati raznolike kulture uz ostvarivanje djelatvorne gnojidbe, mogućnost upotrebe slane vode i upotrebu manje radne snage. Pored svega toga, primjenom kapanja ostvaruje se povoljniji rast i razvoj biljaka te viši prinosi i kvalitetniji plodovi.

Štednja energije: energija se štedi na dva načina. U usporedbi s kišenjem, radni je tlak pri kapanju znatno niži. Tako se energija štedi na crpki. Drugi se oblik štednje energije sastoji u manjoj potrošnji vode pa to izravno utječe i na manju potrošnju energije. Prema podacima xxx (1989) ušteda vode pri kapanju (u odnosu prema kišenju) iznosi 30-50% pa se to odražava na uštedu energije 300-400 kWh po ha. Na jednak način, zbog smanjenoga radnog tlaka od 20-50 m, dolazi do uštede 200-300 kWh godišnje po jednom ha. To znači da se, primjenom kapanja, može uštedjeti na gospodarstvu 500-700 kWh po natapnom hektaru.

Štednja vode: potreba za vodom ovisi o vrsti kulture i fazi njezina uzgoja. Pri uzgoju voćarskih kultura i vinove loze u redovima, pogotovo u njihovim prvim fazama razvoja, sustav kapanja troši značajno manje količine vode u odnosu prema kišenju, a pogotovo površinskom natapanju. Naime, volumen je vlažnog tla kapanjem mnogo manji nego što je pri drugim metodama natapanja. Prema xxx (1989), vlaži se manje od 33% volumena rizosfere pri kapanju, dok se povećavaju odlike usjeva (veći i kvalitetniji prirodni) 60% ili čak i više. Značajno je da za kapanje često mogu zadovoljiti manji izvori vode i plitki bunari.

Mogućnost upotrebe slane vode: u područjima gdje je visoka temperatura i niska relativna vlažnost zraka, dolazi do visoke vrijednosti evaporacije. Ako se u tim uvjetima upotrebljava slana voda za natapanje, primjenom kišenja, tada neizbježno dolazi do oštećenja lišća (palež lišća). Intenzitet oštećenja ovisit će o kulturi i stupnju natapanja. Međutim, pri natapanju kapanjem voda ne dolazi u kontakt s

lišćem pa ne može nastati problem paleži lišća. Kada biljka koristi vodu iz tla putem korijena dolazi do povećanja količine soli u tlu (utroškom vode povećava se koncentracija soli). Povećana koncentracija soli čini više teškoća za uzgajane biljke. No, pri natapanju kapanjem održava se stalno veća vlažnost u tlu. To utječe na reduciranu koncentraciju soli u tlu, odnosno nisku tenziju vlažnosti. Na taj se način kapanjem može upotrebljavati i zaslanjena voda i zbog toga neće doći do štetnog utjecaja na uzgajane biljke. Međutim, slanu vodu treba upotrebljavati oprezno jer povećanje koncentracije natrijevih soli u tlu oštećuje strukturu tla bez obzira na način kojim se natapa.

Djelotvornost gnojidbe: pri kapanju je moguće dodavati hraniva u obliku vodotopivih mineralnih gnojiva. Budući da je pri gnojidbi (fertiligaciji) vlažna rizosfera, dolazi do većeg korištenja hraniva od strane biljaka. Dakle, primjena učestale gnojidbe, pri čemu se hraniva dodaju blizu biljke, nema sumnje, pomaže rastu i razvoju uzgajane kulture. Osim toga, kontrola gnojidbe i rasporeda hraniva kroz sustav natapanja vodi izravno poboljšanju gnojidbene djelotvornosti u bilinogojstvu.

Manja potreba za radnom snagom: u usporedbi s uobičajenim natapanjem (površinsko, kišenje), pri kapanju se šteti radna snaga. Naime, pri kapanju se voda dodaje s manjim intenzitetom. To omogućuje natapanje većeg područja s istim kapacitetom crpke. Uz to je moguća primjena automatizacije pa su to razlozi zbog kojih je potrebno manje radne snage za natapanje kapanjem. To je jako značajno gdje se oskudijeva poljoprivrednom radnom snagom ili je ona skupa.

Mogućnost korištenja različitih tala: teška glinasta tla sa slabom infiltracijom (2-4 mm/h) nisu pogodna za natapanje kišenjem. Dok se lagana (pjeskovita tla) ne mogu uspješno natapati površinskim načinima, kapanje se može primijeniti na svim tlima i na svim reljefima (ravnim i kosim terenima različitog nagiba).

4.2.2.3. Potencijalni problemi s kapanjem

Postoji nekoliko potencijalnih problema koji se mogu pojaviti pri natapanju kapanjem.

Začepljenje kapaljke: najveći problem koji može nastati u sustavu kapanja jest začepljenje malih prolaza u kapaljkama. One se mogu začepiti česticama mineralnog i organskog podrijetla. To može reducirati istjecanje uzrokujući nejednoličnu distribuciju vode i time može doći do šteta različitog intenziteta pa čak i do stresa biljke. Katkada su čestice prisutne u vodi za natapanje, koja se dostavlja do kapaljki a predhodno se ne filtrira na potreban način. Dakle, u tom slučaju materijal koji izaziva začepljenje cijevi i/ili kapaljki dolazi sa strane. U drugom se slučaju čestice mogu razviti, u samom sustavu za natapanje (cijevima ili kapaljkama), kada voda iz cijevi ili kapaljki ishlapi, a čestice ostanu, između dvaju natapanja. Uzročnici su začepljenja najčešće: prah, pijesak, organska tvar, alge, bakterijska sluz, taloženje hraniva, koloida, otopljenog željeza i kalcijeva karbonata. Noviji pregledi pokazuju da biološki uzročnici uzrokuju začepljenje kapaljki u 37% slučajeva. Zatim slijede fizička u 31%, pa kemijska u 22% slučajeva, dok ostalih 10% slučajeva čine svi drugi oblici. Zbog toga pri natapanju

kapanjem značajno je razmotriti potencijalne mogućnosti pojave problema začepjenja kapaljki i na adekvatan način postupiti s filtriranjem vode ili potrebnim kemijskim tretiranjima.

Zaslanjivanje tla: ako se natapa zaslanjenom vodom, pri svakoj metodi natapanja, pa i kapanju, postoji potencijalni problem zaslanjivanja tla. Međutim, pri natapanju kapanjem može se taj problem najviše ublažiti pa i spriječiti, pogotovo ako se pravilno gospodari s vodom i tlom. U uvjetima natapanja kapanjem pojavljuje se aktivna zona akumulacije soli, posebno na vanjskom rubu vlažene mase tla. Taj je način stvaranja zaslanjenih zona povoljan jer "tjera" sol dalje od biljke odnosno kapaljke. Međutim, već manje kiše mogu te soli potisnuti u rizosferu pa mogu nastati štete, pogotovo na biljkama s plitkim korijenom. U nekim je slučajevima i uvjetima kapanja potrebno primijeniti kišenje ili površinsko natapanje za ispiranje prekomjernih soli ako se to ne događa prirodnim oborinama.

Ograničen razvoj korijena: pri natapanju kapanjem korijeni se koncentriraju u vlažnoj zoni. Ako je ta zona premala, korijen će se nedovoljno širiti. Posljedice toga mogu biti višestruke. Svakako će to utjecati na manje prinose, a osim toga jaki vjetrovi mogu oštetiti, pa čak i izvaliti, biljke (pogotovo stablašice). Pri ograničenom sustavu korijena biljke i pri primjeni njezine regulirane ishrane, zbog smanjenja zalihe vode, biljka će više patiti od stresa u odnosu prema onima koje su se razvijale u uvjetima natapanja drugim načinima. Iako uzgajane kulture mogu rasti u djelomično vlažnom tlu, pojava minimalnoga vlažnog prostora treba biti prilagođena optimalnom rastu.

Kontrola atmosfere: metoda kišenja, osim dodavanja nedostatka vode, obavlja ulogu i zaštite od mraza.

Osim toga može se primjenjivati za zaštitu od opaljivanja od sunca te za kontrolu vlažnosti zraka, pogotovo za povrćarske i cvjećarske kulture. Ti oblici atmosferske kontrole ne mogu se ostvarivati metodom kapanja pa je to jedan od nedostataka tog natapanja. Na temelju navedenih prednosti i nedostataka natapanja kapanjem može se zaključiti da natapanje kapanjem nije besprijekoran način i da u svakom slučaju može zamijeniti do sada dokazane načine površinskog natapanja, a posebno načine kišenja. Prema tome, kapanje je noviji način natapanja, koji ima prednost u određenim uvjetima i u tim prilikama treba ga primjenjivati. Posebno je kapanje korisno primjenjivati gdje nedostaje voda ili pak tamo gdje je potrebno isključiti skupe drenažne radove. U specifičnim pustinjskim uvjetima kapanjem se štedi voda, uz veću mogućnost upotrebe slane vode na pustinjskim pijescima i ostvarivanje većih prinosa.

U uvjetima dobro uređenih površina s povoljnim tlom i upotrebom kvalitetne vode, kapanje nema značajne prednosti radi ostvarivanja većih prinosa, već se u tim uvjetima sustavom kapanja lakše upravlja, manje troše radna snaga, energija i voda te se ostvaruje bolja kontrola pesticida, korova i upotreba gnojiva. Dakle, posebno se preporučuje primjena kapanja u prilikama gdje je cijena vode veća, na nagnutim i valovitim terenima, gdje je radna snaga skupa i kvaliteta vode diskutabilna.

4.2.3. Uređaji sustava lokalizirana natapanja

U prethodnom Priručniku za hidrotehničke melioracije (knjiga 3 - Načini natapanja) opisani su izvor vode, pogonski dio, motor, crpka i vodomjeri. Ovdje će biti opisani regulatori tlaka, uređaji za gnojidbu, uređaji za filtriranje vode, ventili za linijsko ispiranje, cijevi, kapaljke te pribor za spajanje.

4.2.3.1. Regulatori tlaka

Regulator tlaka vrlo je značajan za ujednačivanje tlaka vode u sustavu. Pomoću njega rješavaju se djelotvorno mnogi topografski problemi (razvedeni i neravni proizvodni prostori koji se natapaju). Postoji više vrsta (modela) regulatora tlaka za sustave kapanja, a mogu se upotrijebiti i za druge načine natapanja. U tablici 42-1 prikazani su regulatori tlaka s različitim protokom vode.

Regulator tlaka s različitim protokom (Netafim)

Tablica 42-1

V r s t a	Minimalni protok m ³ /h	Maksimalni protok m ³ /h
3/4" niski protok	0,11	2,5
3/4" (1 izvor)	0,8	5
1(2 izvora)	1,6	10
2" x 4 (4 izvora)	3,2	20
2" x 6 (6 izvora)	4,8	30
3" x 10 (10 izvora)	8,0	50

Određivanje potrebnog tlaka u regulatoru tlaka ovisi o vrsti regulatora i veličini protoka vode.

Primjer: Odrediti potreban tlak za "žuti" regulator tlaka ako ima promjer otvora 2" i 6 izvora ili jedinica (2" x 6) te protok 14 m³/h.

Dakle, koristeći se regulatorom tlaka 2" x 6, uz protok 14 m³/h, svaki će izvor ili jedinica imati protok 2,4 m³/h.

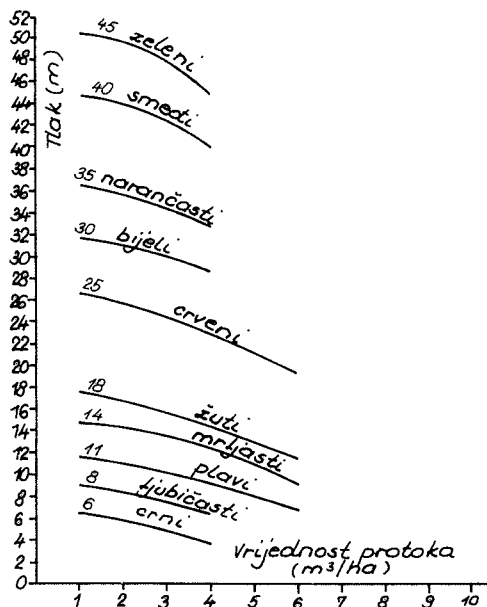
Za protok 2,4 m³/h po izvoru ili jedinici, na žutom regulatoru tlaka potreban je izlazni tlak od 16 m. Osim toga, gubitak tlaka u regulatoru tlaka 2" x 6, pri protoku 14 m³/h, iznosi 1,4 m. Međutim, projektni tlak na ulazu regulatora tlaka treba biti 16 + 1,4 + 2 = 19,4 m. Napominje se da fiksirani gubitak tlaka od 2 m treba dodati radi sigurnosti. Prema tome: nominalni regulator tlaka (16 m) + gubitak tlaka (1,4 m) + dodatak tlaka (2 m) daju potreban ulazni tlak.

4.2.3.2. Uređaji za gnojidbu

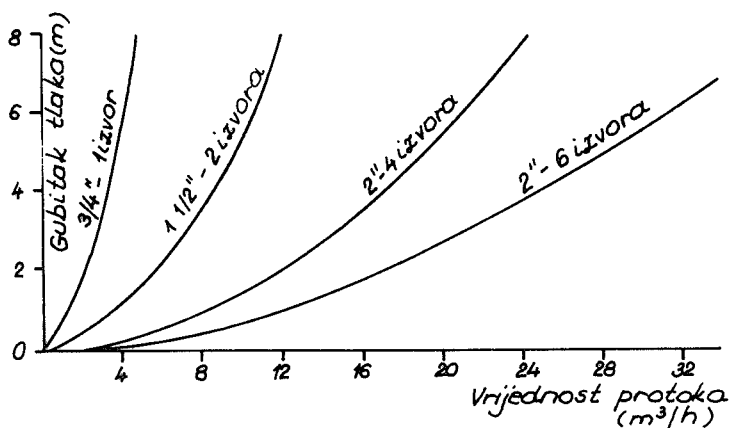
Fertilizatori se ugrađuju u sustav kapanja tako da se uz vodu dodaju i otopljeni hraniva u njoj. Prema tome, istovremeno se izvode natapanje i gnojidba potrebnim hranivima. Uređaj se sastoji od fertilizacijske (gnojidbene) crpke i fertilizacijske

(gnojdbene) posude ili rezervoara. I crpka i posuda mogu biti različita oblika i kapaciteta.

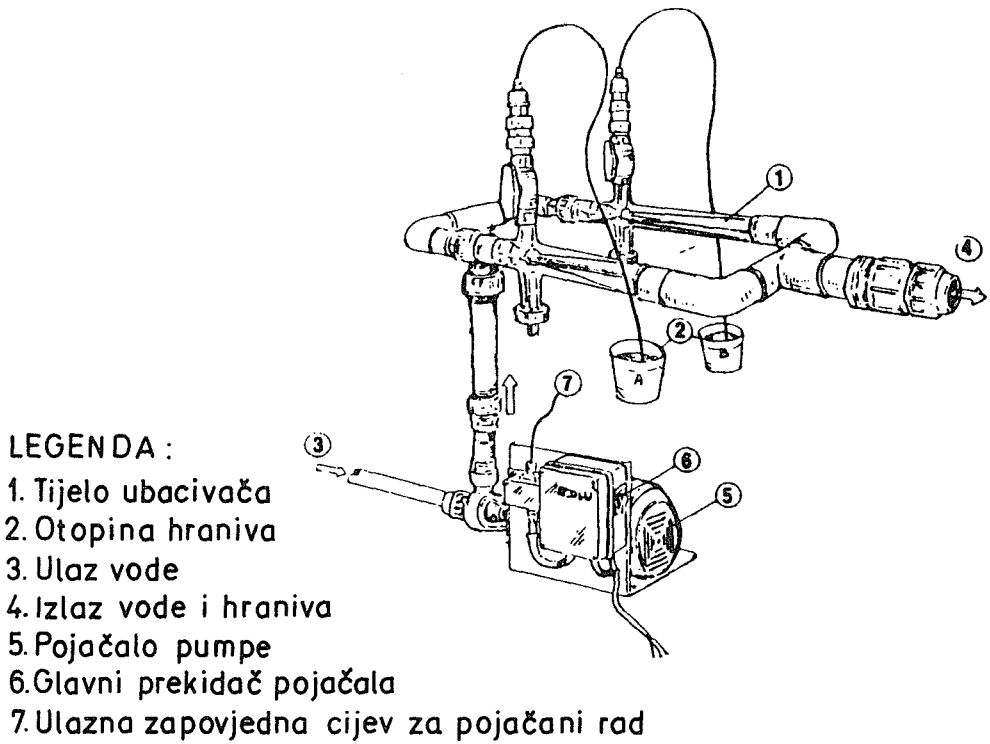
Na slici 42-3 prikazani su u obliku skice osnovni dijelovi uređaja, a na slici 42-4 vidi se jedna od više vrsta fertilizacijskih crpki.



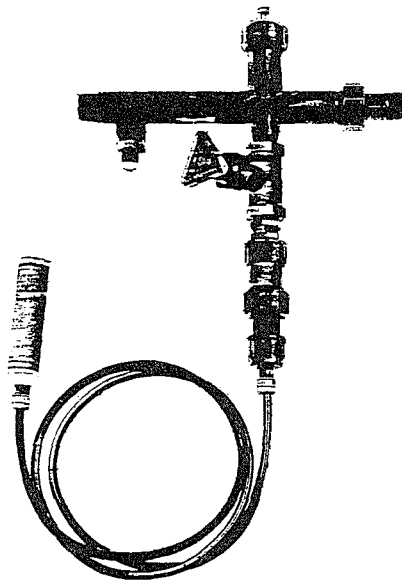
Sl. 42-1 Vrsta regulatora



Sl. 42-2 Gubitak tlaka u regulatoru tlaka



Sl. 42-3 Ubacivač hraniva (fertilizator) s pojačanom crpkom



Sl. 42-4 Fertilizacijska crpka

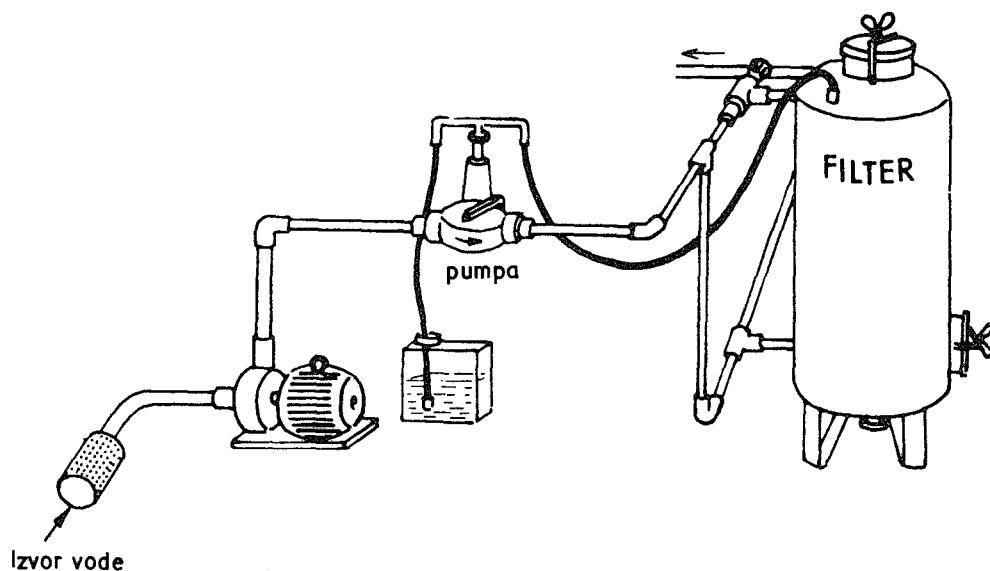
Fertilizacijska posuda ili rezervoar može biti različita oblika i kapaciteta. U njemu se nalazi otopina hraniva - željene koncentracije, najčešće dušika. Posuda je vezana u sustavu za natapanje. Dio vode je skrenut u posudu. Nakon otapanja hraniva, pomoću crpke tlači se u sustav za natapanje.

Više suvremenih modela fertilizatora proizvodi Netafim (Izrael). Oni rade na temelju postojećeg tlaka vode u sustavu za natapanje. Vrlo su pouzdani u radu, lako se ugrađuju u sustave za natapanje te su izgrađeni od kvalitetnog materijala. Pogodni su za razne sustave za natapanje i razne vrste kemijske primjene: herbicida, insekticida, hraniva te kemikalija i drugih tekućina koji se mogu ubacivati u sustav za natapanje.

4.2.3.3. Uređaji za filtriranje vode

Filtri su danas također dosta razvijeni za sustave za natapanje. Njihova je uloga otkloniti iz vode krute čestice koje se talože u cijevima ili u manjim vodenim prolazima kroz kapaljke i druge dodatne dijelove sustava za kapanje. U širokoj su upotrebi ove vrste filtara: pjeskoviti, mrežasti, hidrociklički i lamelni filter.

Pjeskoviti se filtri primjenjuju za primarnu filtraciju vode iz akumulacija, otvorenih kanala, rezervoara, rijeka, otpadnih voda i drugih vrsta onečišćenih voda. Sustav pjeskovitog filtra sadrži individualne filtre ili bakterijske filtre, već prema raspoloživim količinama vode i potrebama za filtriranjem. Osnovne odlike pjeskovitog filtra prikazane su u tablici 42-2.



Sl. 42-5 Skica fertilizatora i pjeskovitog filtra

*Pjeskoviti filtri**Tablica 42-2*

Model	Protok m ³ /h	Ulaz Izlaz ϕ	Težina kg	Visina cm
16"	10	2"	30	100
20"	16	2"	65	131
30"	31	2"	115	121,5
36"	41	3"	136	121
48"	73	4"	315	142,5

Rešetkasti ili mrežasti filtri primjenjuju se za finalnu filtraciju. Upotrebljavaju se kada je voda prosječne ili dobre kvalitete, a također i nakon primjene pjeskovitih ili hidrociklonskih filtra, tj. kada je voda siromašne kvalitete. Njihove značajne odlike prikazane su u tablici 42-3.

*Rešetkasti ili mrežasti filtri**Tablica 42-3*

M o d e l	Maks. izljev m ³ /h	Ulijev/ izljev	Težina kg	Visina cm	Širina cm	Dužina cm
A dvostruka mreža	15	2" n.p.t.	11	46	17,5	25
D2 dvostruka mreža	20	2" n.p.t.	15	72	17,5	50
D3 dvostruka mreža	30	3" n.p.t.	15	72	17,5	50
T3" jedna mreža	50	3" žlijeb	20	80	23,0	37
T4" jedna mreža	70	4" žlijeb	36	96	27,0	50

Hidrociklički filtri primjenjuju se za izdvajanje pijeska iz dobre vode ili praha (mulja) iz riječne vode (tablica 42-4).

*Hidrociklički filtri**Tablica 42-4*

Model	Protok m ³ /h	Ulijev / izljev	Ukupna visina cm	Ukupna težina kg
3"	5,0 - 3	3/4"	37	3,5
4"	1,5 - 7	1"	53	11,8
6"	3,0 - 13	1 1/2"	64	16,0
8"	5,0 - 20	2"	75	19,0
8" II	10,0 - 40	3"	88	29,0
16"	30,0 - 80	4"	170	100,0
20"	40,0 - 120	6"	205	224,0
24"	70,0 - 220	6"	227	264,0

Lamelni su filtri uglavnom od plastike. Na lamelama se nalaze uski i plitki žljebovi, koji služe za uspješno filtriranje vode, s različitim onečišćenjima.

Prema vrsti izvora vode i njezinoj kvaliteti treba izabrati filtar (tablica 42-5).

Izbor sustava filtra

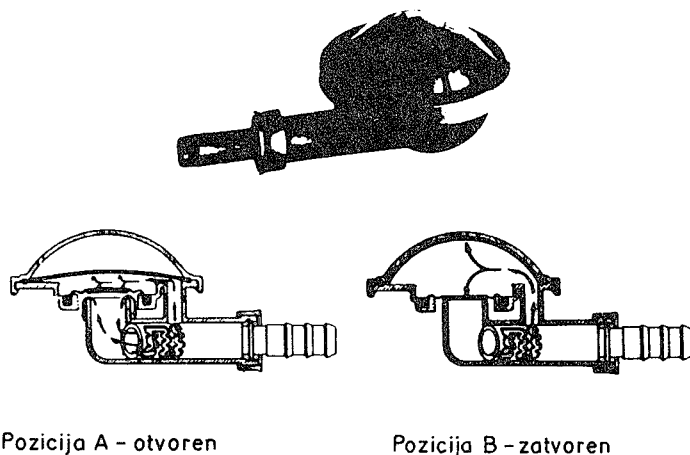
Tablica 42-5

Vrsta vode	Vrsta ograničenja	Preporučeni sustav filtra
Voda iz bunara	Voda sadrži mulj ili pijesak	Mrežasti filtar; primarni je filtar nepotreban; kada je količina pijeska u vodi iznad 3 p.p.m., tada je primarna hidrociklonska filtracija potrebna
Voda iz jezera, akumulacija i rezervoara	Stagnirajuća voda s povremenim manjim turbulencijama u skladu s veličinom akumulacije i rezervoara ili crpnog kapaciteta; ta voda sadrži općenito velike količine alga i ponekad također mulja i glinastih čestica	Pjeskoviti filtar za primarno filtriranje i mrežasti filtar za finalnu filtraciju
Voda iz rijeka i otvorenih kanala	Vode sadrže alge i velike količine mulja (praha) i glinastih čestica	Pjeskoviti filtar za primarno filtriranje i mrežasti filtar za finalno filtriranje
Voda sadrži željezo	Voda iz rijeka i bunara je izložena sadržaju željeza; željezo smeta radu sustava za natapanje	Pjeskoviti sustav filtracije sa specijalnim dodacima
Otpadne vode	Voda se obično upotrebljava za natapanje kapanjem; općenito sadrži veće količine suspendiranih organskih čestica; njezina kvaliteta ovisi o širini tretiranja prije filtracije	Pješčani sustav filtriranja sa specijalnim dodacima

4.2.3.4. Ventili za linijsko ispiranje

Ventil za linijsko ispiranje jest dio koji nadopunjava sustav filtra pri natapanju kapanjem. Ventil za linijsko ispiranje sprečava nakupljanje taloga na kraju linija (cijevi) u sustavu kapanja. Na taj se način postiže ujednačenost isteka vode kroz kapaljke uzduž cijele dužine cijevi za vrijeme trajanja sustava. Na slici 42-6 prikazan je ventil za linijsko ispiranje, i to u dvjema pozicijama. Otvorena pozicija ventila prisutna je na početku svakog natapanja. Za to vrijeme (otvorenog ventila) čestice taloga ispiru se vodom koja prolazi ventilom (skica A). Dok je ventil zatvoren (skica B), voda prolazi kroz uske prolaze u aktivirajuću komoru. Postepenim punjenjem komora pritiskuje diafragmu i zatvara izlaz vode te se ispiranje završava. Postoji više vrsta (modela) ventila za ispiranje linija. Model s volumenom vode oko 2 litre i protokom na kraju cijevi 25 l/h, preporučuje se za kraće cijevi (linije) kapanja, kao što je u ukrasnom bilju te staklenicima i

plastenicima. Model ventila s 4 litre vode za ispiranje i protok na kraju cijevi 200 l/h, preporučuje se za duže linije kapanja u poljskim uvjetima. Ventili s volumenom vode za ispiranje 8 litara preporučuje se za višestruku primjenu, tj. za 2 do 3 linije kapanja.



Sl. 42-6 Ventil za linijsko ispiranje

Tretiranje sustava kapanja kiselinama izvodi se pri inkrustraciji kemijskih elemenata i spojeva u cijevima i kapaljkama te ostalim dijelovima sustava. Svrha je tretiranja kiselinama rastapanje kemijskih taloga. To tretiranje nije djelotvorno gdje je talog organskog podrijetla, kao što su alge.

Kiseline su sredstvo koje nagriza neke materijale. Posebno se to odnosi na metal, cementne prevlake, azbest-cement, dok su plastične cijevi (PE i PVC) otporne na kiseline.

Kiseline koje su pogodne za tretiranje sustava kapanja jesu: sumporna kiselina, klorovodična, dušična i fosforna kiselina. Koncentracija tih kiselina u vodi kojom se tretira sustav treba biti 0,6%.

Ta koncentracija (0,6%), odnosi se na 65%-tnu izvornu otopinu (najčešće je sumporna 65%, 33%-tna klorovodična, 60%-tna dušična i 85%-tna fosforna kiselina). Ako se raspolože kiselinom druge koncentracije, tada se koncentracija za tretiranje (0,6%) treba ispraviti.

Na primjer: koncentracija sumporne kiseline je 65%, a u tretiranoj vodi treba biti 0,6% njezine vrijednosti. Ako raspoložete sumpornom kiselinom s 98% koncentracije, tada treba da ispravite koncentraciju:

$$0,6 \frac{65}{98} = 0,4\%.$$

Dakle, sumpornu kiselinu od 98% koncentracije, u vodi kojom se tretira sustav kapanja, treba primjenjivati u koncentraciji od 0,4%.

Vrijeme tretiranja treba biti svega 10-15 minuta.

Ako u vodi ima željeza treba izbjegavati upotrebu fosforne kiseline. Za tretiranje sustava kiselinama potrebne su još i sljedeće napomene:

Kiseline su opasni otrovi. Zbog toga, prije upotrebe treba pomno pročitati upute o upotrebi. Treba uvijek imati na pameti da u dodiru s kiselinom strada koža; ako dođe do očiju, čovjek može oslijepiti, a posljedice su gutanja kobne po čovjeka. Zbog toga se treba služiti zaštitnim sredstvima: maskom, rukavicama, dugačkim hlačama, rukavima i visokim cipelama. Pri tretiranju mogu biti prisutne samo osobe koje posao izvode na tom prostoru. Prije upotrebe sustav kapanja (glavnu cijev, lateralne cijevi, kapaljke) treba isprati. Za ubacivanje otopine s kiselinom treba primjenjivati pumpe otporne na kiseline. Pri tretiranju kiselinama treba odrediti točne količine po parceli na kojoj se nalazi sustav. Na kraju tretiranja kiselinom ne treba zatvoriti vodu. Naprotiv, treba zadržati natapanje tijekom jednog sata da bi se isprali svi nepoželjni ostaci kiselina.

4.2.3.5. Cijevi

Cijevi su u sastavu kapanja plastične - polimerni materijali. Prema funkciji dijele se na glavni cjevovod, razvodne cijevi i lateralne ili natapne cijevi.

Glavni cjevovod: može biti na površini ili ukopan u tlo. Promjer cjevovoda ovisi o količini vode koja se dodaje sustavom za natapanje, odnosno, o površini natapanja. Za manje površine promjer glavnog cjevovoda najčešće iznosi 50 mm, a za veće prostore promjer može biti znatno veći. Položaj glavnog cjevovoda ovisi o natapnoj površini (o obliku i dimenzijama natapne površine). Iz glavnog cjevovoda voda ide u razvodne pa lateralne (natapne) cijevi ili odmah u lateralne ili natapne cijevi. Ako se primjenjuju razvodne cijevi, one razvode vodu od glavnog cjevovoda do lateralnih ili natapnih cijevi. Promjer razvodnih cijevi na manjim sustavima uglavnom iznosi 25-50 mm, a promjer je lateralnih ili natapnih cijevi obično 15 - 20 mm. Budući da je broj cijevi usklađen s brojem i dužinom redova, ukupna količina cijevi ovisit će o razmaku redova, odnosno vrsti uzgajane kulture te dužini redova. Općenito je potrebno za voćarske kulture do 2000 m lateralnih cijevi po hektaru, a do 10.000 m/ha za povrćarske kulture.

4.2.3.6. Kapaljke

Predstavljaju specijalni dio uređaja za dodavanje vode u obliku kapanja ili kap po kap. Vrlo su osjetljive, ali i najvažniji dio u sustavu natapanja kapanjem. Izrađuju se iz polimernih materijala. Ima ih raznih konstrukcija i više vrsta, Zapravo su to male naprave s uskim prolazima u kojima voda (pri prolasku) gubi tlak i kroz mali otvor kapa (zbog sile gravitacije) na tlo uz biljku. Budući da su svi ti prolazi i otvor kapaljki skloni začepljenju, voda se predhodno filtrira. Ako se i osim toga začepce, tada se mogu zamijeniti novim rezervnim kapaljkama. Razmak kapaljki na natapnim cijevima ovisi o razmaku biljaka u redu i o fizikalnim svojstvima tla. Iznosi uglavnom 30-150 cm. Kulture gušćeg spleta imaju veći broj kapaljki i obratno. Kod voćarskih kultura broj im se kreće od 2000-5000 komada/ha, a pri natapanju povrćarskih kultura oko 20000 kapaljki po hektaru.

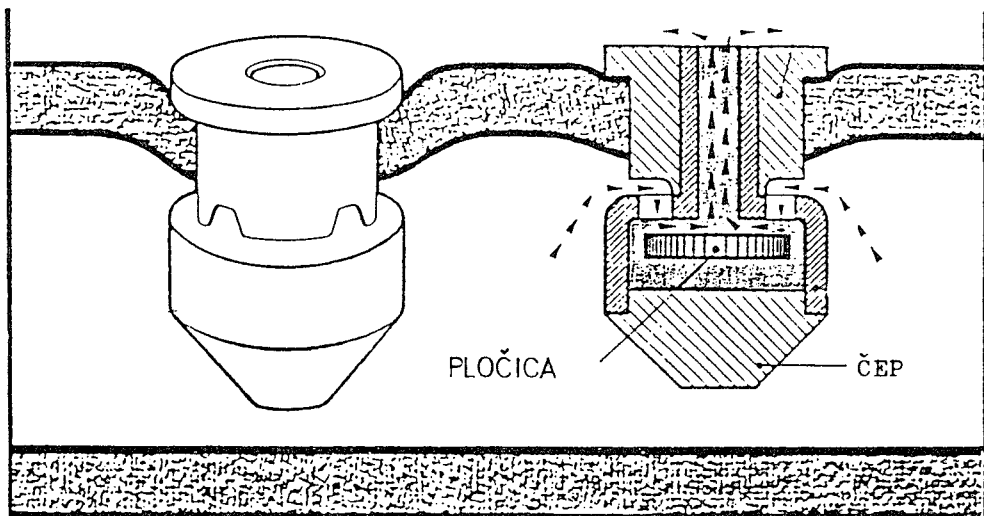
Kapaljke se mogu skupa s lateralnim (natapnim) cijevima položiti na površinu tla (povrće, cvijeće), a mogu se izdignuti iznad površine - kao što se radi pri natapanju drvenastih kultura (voćnjaci, vinogradi). Intenzitet kapanja također se razlikuje za pojedine vrste. Najčešće iznosi 1-10 litara na sat.

Već smo istakli da postoji više vrsta kapaljki.

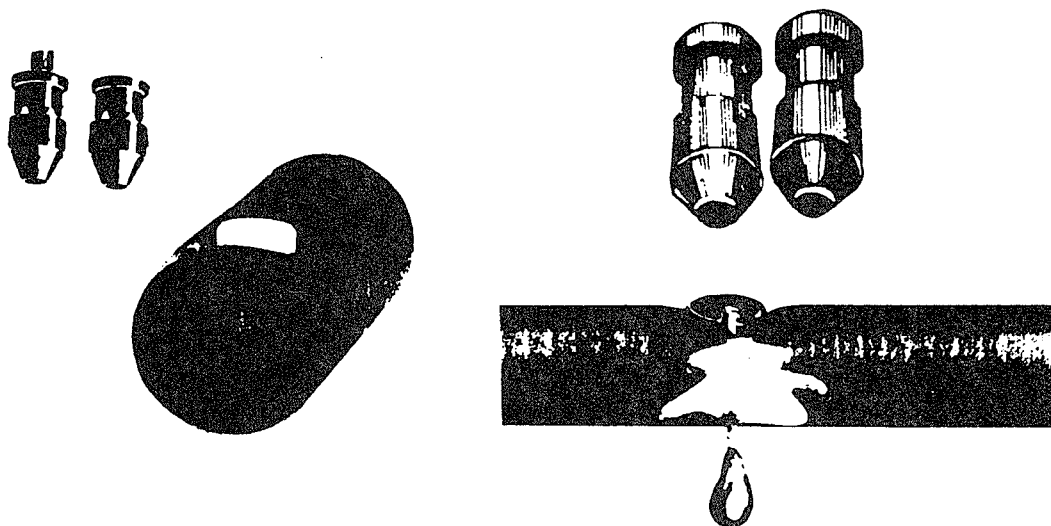
Osnovna podjela sadrži tri vrste:

- kapaljke na liniji cijevi
- kapaljke umetnute u liniju cijevi
- kapaljke postavljene u cijev.

Kapaljke na liniji cijevi pogodne su za natapanje vinograda, voćnjaka i drugih drvenastih kultura te rasadnike i kultura u zatvorenom prostoru. Za tečenje vode postoje široki prolazi i minimalni problemi taloženja. Dakle, radi se o pouzdanima, preciznim i djelotvornim napravama. Proizvode se od kvalitetnog materijala koji podnosi sva dopuštena gnojiva i kemikalije koje se obično primjenjuju u poljoprivredi. Danas se proizvode razne vrste kapaljki koje se stavljaju na liniji cijevi. Neke od njih prikazane su na slikama: 42-7, 42-8, 42-9 i 42-10.

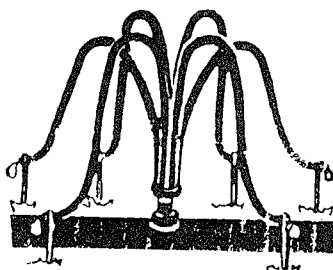
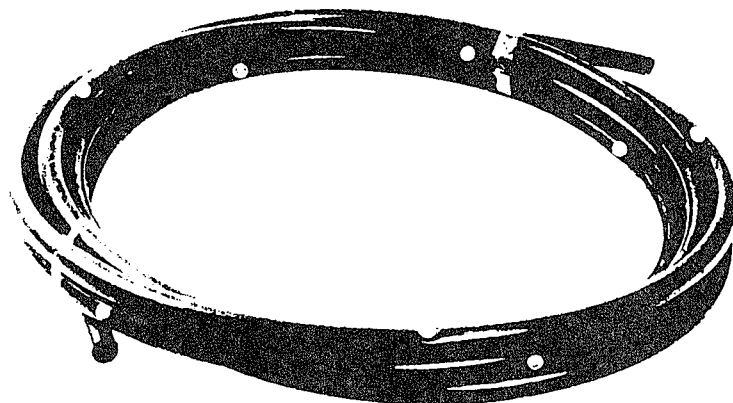


Sl. 42-7 Postavljanje i presjek kapaljke VLP



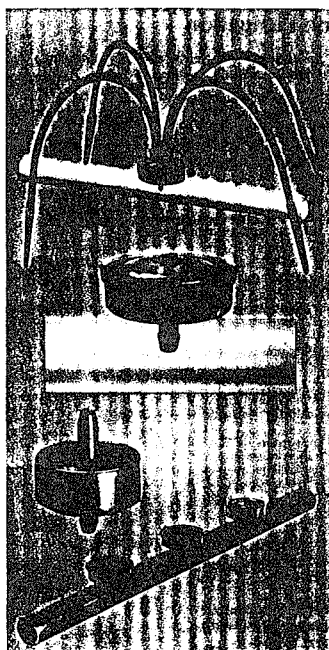
PE-cijev promjera 16 i 20 mm razmak 0,3 - 2,5 m protok 2, 4, 8 l/h

Sl. 42-8 Kapaljka VLP (1 bar)



PE-cijev promjera 16, 20 i 25 mm protok 8, 12, 16 l/h

Sl. 42-9 Kapaljka Poli (2 bara)



Sl. 42-10 Kapaljke na natapnoj cijevi

Tako su kapaljke u obliku dugmeta primarno korisne za vinograd, voćnjak i druge drvenaste kulture. Postavljaju se u prethodno izbušenu rupicu od 3 mm na lateralnoj cijevi pomoću posebne sprave. Po stablu dolaze jedna ili dvije kapaljke, a po potrebi može se staviti i više kapaljki za jače razvijena stabla.

Kapaljke "Pot" i "Woodpecker Pot" upotrebljavaju se obično u rasadnicima, vrtovima i zatvorenom prostoru (plastenici i staklenici), gdje biljke rastu u loncima i plastičnim posudama različita oblika i dimenzija. Za natapanje svake biljke posebno primjenjuju se kapaljke u obliku cjevčica špageta - koje idu od lateralne cijevi. Postoje različiti načini spajanja špagetne cijevi s lateralnom cijevi.

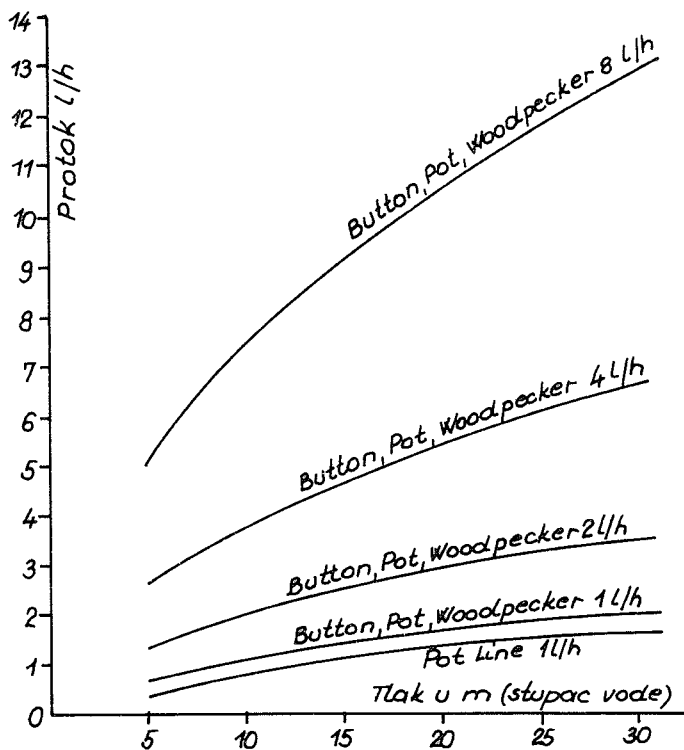
Kapaljka "Woodpecker" najpovoljnija je za postavljanje ispod površina terena. Te kapaljke mogu se montirati na lateralne cijevi i zakapati. Taj je sustav zaštićen od ptica i drugih štetočina te dopušta poljodjelu slobodno izvođenje agrotehničkih zahvata bez opasnosti za sustav i kapaljke. Kapaljka "Pot Line" projektirana je specijalno za precizno natapanje biljaka u loncima (lončanice), u rasadnicima i zatvorenom prostoru. U tom se slučaju daju male količine vode (kapanje 1 l/h) tijekom dužeg razdoblja natapanja.

U tablici 42-6 prikazane su dimenzije prolaza vode, a na slici 42-11 vidi se odnos protoka vode i tlaka u stupcu vode za pojedine kapaljke. U tablici 42-7 prikazane su maksimalne dužine lateralnih cijevi s kapaljka na ravnom terenu, za različiti kapacitet kapanja, promjer laterala i različite razmake kapaljki.

Kapaljke na cijevi

Tablica 42-6

Kapaljke	Protok (l/h)	Dimenzije prolaza vode		
		dubina (mm)	širina (mm)	duljina (mm)
Button	1	0,700	0,700	55,00
	2	0,889	0,762	50,80
	4	1,143	1,041	49,78
	8	1,447	1,397	48,00
Pot i Woodpecker Pot	1	0,700	0,700	55,00
	2	0,889	0,762	50,80
	4	1,143	1,041	49,78
	8	1,447	1,397	48,00
Woodpecker	1	0,700	0,700	55,00
	2	0,889	0,762	50,80
	4	1,193	1,041	49,78
	8	1,447	1,397	48,00
Pot Line	1	0,762	0,838	353,06
	2	1,092	1,168	355,60



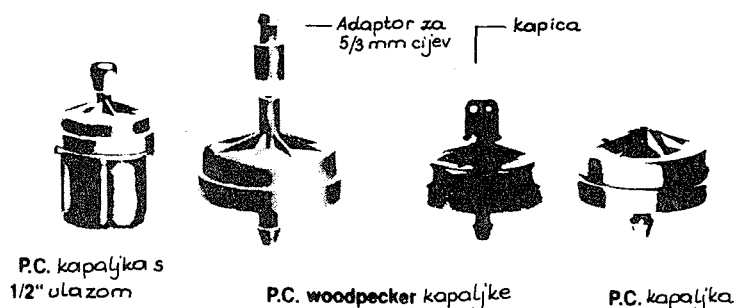
Sl. 42-11 Odnos protoka vode i tlaka pojedinih kapaljki

Maksimalne dužine cijevi s kapaljkama u m na ravnom terenu

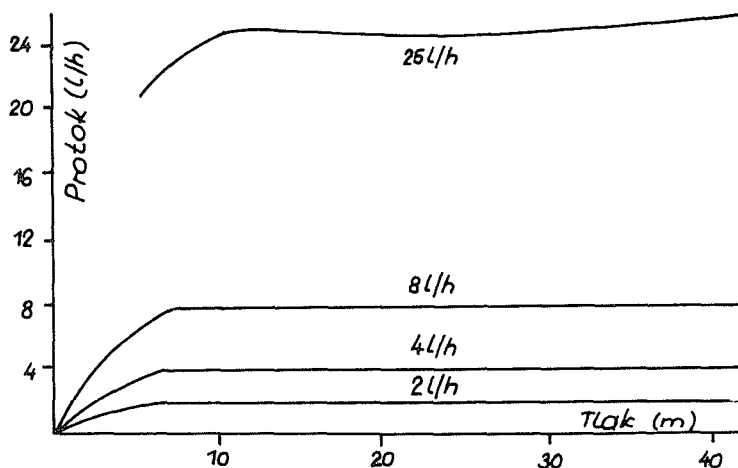
Tablica 42-7

Kapanje vode (l/h)	ϕ cijevi	Razmak kapaljki u m								
		0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00	1,25	1,50	2,00
1 l/h	12,5	42,0	52,8	66,3	75,6	92,0	110,0	131,2	150,0	180,0
	16,0	46,2	58,8	70,0	82,8	100,8	120,0	137,5	157,5	190,0
		72,6	88,0	103,5	124,2	147,2	168,0	201,2	231,0	276,0
	16,0	75,6	96,8	110,0	132,0	158,2	180,0	220,0	252,0	294,0
		66,0	79,2	94,5	110,4	134,4	154,0	183,7	207,0	252,0
	20,0	72,6	92,4	100,0	118,8	197,2	176,0	201,5	220,0	276,0
124,1		156,4	176,0	108,0	246,4	286,0	330,0	363,0	440,0	
20,0	138,0	174,8	218,5	224,4	264,0	310,0	357,5	396,7	484,0	
	105,6	128,8	154,0	171,6	211,2	242,0	275,0	365,0	386,0	
2 l/h	12,5	30,3	38,0	45,5	52,2	64,8	76,0	90,0	102,0	110,0
	16,0	33,9	42,8	51,0	58,8	72,8	86,0	100,0	114,0	140,0
		51,0	63,2	74,5	85,2	104,0	122,0	141,2	160,5	194,0
	16,0	57,0	71,2	84,0	95,4	117,6	137,0	160,0	180,0	218,0
		46,5	58,0	68,5	78,0	96,0	112,0	130,0	147,0	178,0
	20,0	52,2	64,8	76,5	81,6	108,0	126,0	146,2	166,5	200,0
91,2		111,6	130,5	147,6	179,2	208,0	241,2	271,5	328,8	
20,0	102,3	125,2	146,5	165,6	201,6	234,0	271,2	304,5	2368,0	
	77,1	94,8	111,0	126,0	152,8	178,0	206,2	232,5	238,0	
4 l/h	12,5	20,1	25,6	30,5	34,8	43,2	51,0	60,0	67,5	82,0
	16,0	22,5	28,4	34,0	39,0	48,8	57,0	67,5	76,5	94,0
		33,9	42,4	50,0	57,0	70,4	82,0	95,0	108,0	130,0
	16,0	38,1	47,6	56,0	64,2	78,4	92,0	107,0	121,5	146,0
		30,9	38,8	46,0	52,2	64,0	75,0	87,5	99,0	120,0
	20,0	34,8	43,5	51,5	58,8	72,0	84,0	98,7	100,0	108,0
61,5		74,8	87,5	99,0	120,8	140,0	162,5	138,0	220,0	
20,0	68,7	84,4	98,5	111,6	135,2	157,0	182,5	505,0	248,0	
	51,6	63,6	74,5	84,6	102,4	119,0	138,7	156,0	188,0	
8 l/h	12,5	13,2	16,4	20,0	22,8	28,0	33,0	38,7	45,0	54,0
	16,0	14,7	18,4	22,0	25,8	32,0	38,0	43,7	49,5	62,0
		22,2	27,6	32,5	37,2	45,6	54,0	62,5	70,5	86,0
	16,0	24,9	31,2	36,5	42,0	51,2	60,0	70,0	79,5	96,0
		20,1	25,2	30,0	34,2	42,4	49,0	57,2	64,5	78,0
	20,0	22,8	28,4	33,5	38,4	47,2	55,0	63,0	73,5	88,0
40,2		49,2	57,5	65,4	79,2	92,0	106,2	120,0	144,0	
20,0	45,0	55,2	64,5	73,2	88,0	103,0	120,0	135,0	162,0	
	33,9	41,6	49,0	55,2	68,2	78,0	91,2	102,0	124,0	
20,0	38,1	46,8	55,0	62,4	76,0	88,0	102,0	115,5	140,0	

Kapaljke koje kompenziraju tlak opremljene su mehanizmom za kompenziranje tlaka, koji osigurava jednoličnu raspodjelu čak i na površinama s različitim topografskim uvjetima ili u sustavima s različitim razinama vodenog tlaka. Na slici 42-12 prikazane su kapaljke koje kompenziraju tlak. Dokaz je toga slika 42-13, gdje je ujednačen tlak za pojedine kapacitete kapanja. U tablici 42-8 prikazana je dužina lateralnih cijevi s kapaljkaama koje kompenziraju tlak, prema kapacitetu kapanja i promjeru natapne (lateralne) cijevi.



Sl. 42-12 Kapaljke koje kompenziraju tlak



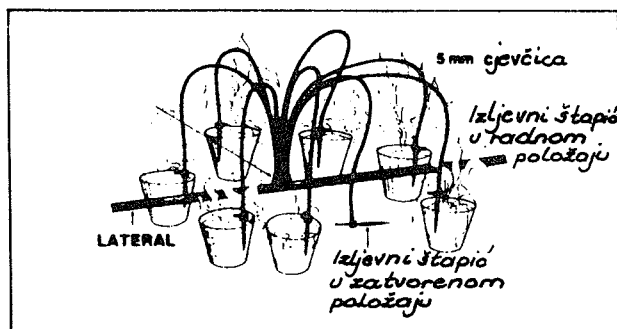
Sl. 42-13 Odnos protoka vode i tlaka kapaljki s kompenzirajućim tlakom

Kapaljke koje kompenziraju tlak

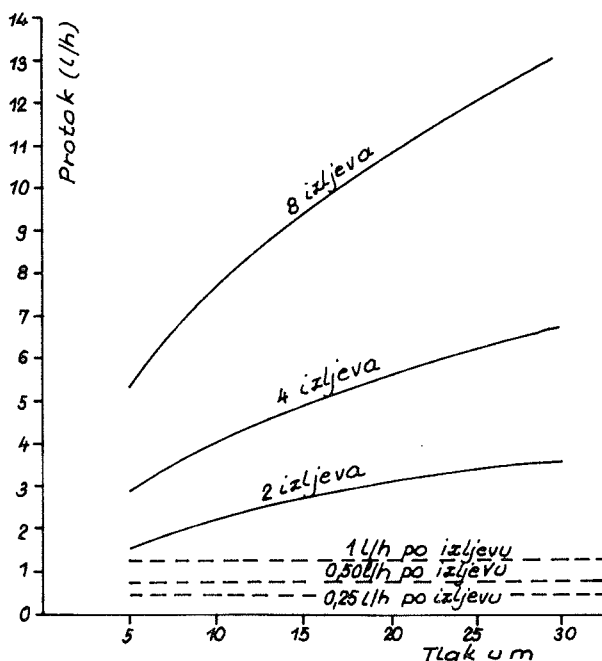
Tablica 42-8

Kapacitet kapanja (l/h)	Razmak kapaljke (m)	Ulazni tlak (m)	Promjer lateralnih cijevi (mm)		
			12	16	20
2	1,00	10	115	183	270
		20	170	260	390
		30	200	325	470
4	1,00	10	83	108	110
		20	106	162	250
		30	130	197	335
8	1,00	10	53	76	113
		20	67	112	157
		30	82	135	190
			16	20	25
24	2,00	10	60	80	170
		20	78	126	195
		30	100	155	220

Višecizljerna kapaljka sastoji se od više fleksibilnih PVC cjevčica, koje na kraju završavaju izljevnom štapićem za fiksiranje kapaljke u lončanici ili na određenome drugom mjestu. Svaka cjevčica ima kompenzator tlaka tako da se osigurava jednolična raspodjela vode tim kapaljka. Jednako se tako na izljevnom štapiću nalazi čep kojim se može privremeno ili stalno isključiti iz rada (kapanja) željena cjevčica (slika 42-14). Na slici 42-15 prikazan je odnos protoka i tlaka vode za višecizljevnu kapaljku. Ako se zatvori jedna ili dvije cjevčice (izljevni štapić), ukupno istjecanje bit će 2-5% manje.

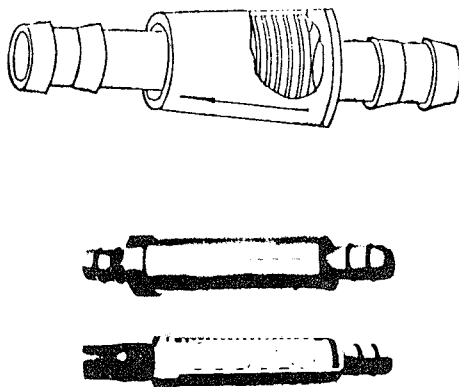


Sl. 42-14 Višecizljerna kapaljka



Sl. 42-15 Odnos protoka i tlaka vode višcizljevne kapaljke

Kapaljka koja se stavlja u liniju cijevi, izazvala je revoluciju u natapanju. Široko se upotrebljava za uzgoj kultura u poljskim uvjetima. Jednako se tako uspješno upotrebljava za cvjećarske, povrćarske i voćarske kulture. Ta se kapaljka postavlja u liniju cijevi tako da se najprije cijev prereže i kapaljka umetne. Za spajanje s cijevi postoji prikladno spojno mjesto s obje strane kapaljke (slika 42-16). U tablici 42-9 prikazana je veličina istjecanja (kapanja) prema tlaku vode za različite promjere cijevi, a u tablici 42-10 dužina natapne cijevi s umetnutim kapaljkama prema istjecanju i razmaku kapaljki.



Sl. 42-16 Kapaljka koja se stavlja u liniju cijevi

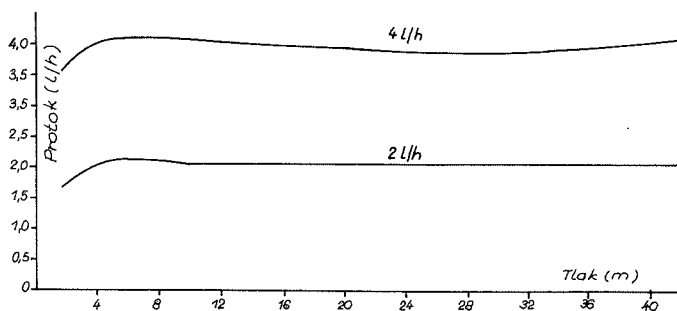
Kapaljke umetnute u liniju cijevi prema tlaku i promjeru cijevi
 Tablica 42-9

Istjecanje (l/h)	φ (mm)		Tlak (m)					
			5,0	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0
1	125	A	0,75	1,05	1,17	1,29	1,39	1,48
		B	0,71	1,00	1,10	1,18	1,31	1,40
	160	A	0,75	1,05	1,17	1,29	1,39	1,48
		B	0,71	1,00	1,10	1,21	1,28	1,40
1.5	160	A	1,21	1,60	1,79	1,96	2,12	2,26
		B	1,05	1,49	1,67	1,84	1,98	2,14
2	125	A	1,48	2,10	2,34	2,57	2,78	3,00
		B	1,40	2,00	2,20	2,45	2,65	2,85
	160	A	1,48	2,10	2,34	2,57	2,78	3,00
		B	1,40	2,00	2,20	2,45	2,65	2,85
4	125	A	2,83	4,00	4,47	5,00	5,29	5,66
		B	2,70	3,80	4,25	4,70	5,00	5,40
	160	A	2,79	3,95	4,42	4,84	5,23	5,59
		B	2,65	3,75	4,20	4,60	5,00	5,35
8	160	A	5,87	8,30	9,28	10,17	10,98	11,74
		B	5,60	7,95	8,90	9,75	10,50	11,25

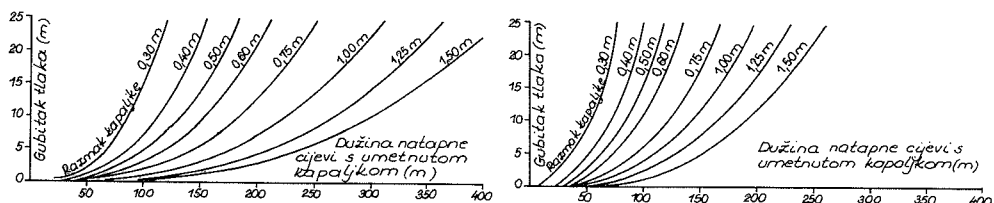
Maksimalna dužina natapne cijevi s umetnutim kapaljka
 Tablica 42-10

Istjecanje	Istjecanje kapaljke l/h	φ (mm)	Razmak kapaljke (m)									
			0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,0	1,25	1,50	1,75	2,0
7,5%	10	12	44,1	56,2	68,2	78,7	99,1	117,6	139,1	165,3		
	2,0		28,0	35,7	43,0	50,4	63,0	80,0	89,25	102,3		
	4,0		18,2	23,5	28,35	32,7	40,1	49,4	58,0	66,1		
	1,0	16	77,8	79,8	116,5	135,6	160,2	194,2	22,7	256,7		
	1,5		56,7	70,8	84,5	97,0	120,2	140,7	165,3	187,4		
	2,0		49,4	62,5	74,0	85,0	105,8	123,9	145,6	165,3		
4,0	32,4		41,1	48,8	56,0	69,7	81,9	95,7	110,7			
8,0	20,1		25,6	30,4	34,6	43,6	50,4	59,0	67,7	75,3	81,9	
10%	1,0	12	49,4	63,0	76,1	88,0	111,7	132,3	156,0	179,5		
	2,0		31,1	39,9	48,3	56,0	70,5	84,0	99,7	114,9		
	4,0		20,4	26,0	31,5	37,1	46,2	55,6	65,6	75,6		
	1,0	16	87,2	109,6	130,7	149,9	185,6	217,3	254,6	289,8		
	1,5		63,0	79,2	94,5	108,1	134,4	157,5	185,1	200,0		
	2,0		55,4	70,1	83,4	96,2	118,4	139,6	162,7	185,8		
4,0	36,5		45,7	54,6	63,0	78,1	91,3	107,6	122,8			
8,0	22,6		28,5	34,0	41,0	48,7	56,7	67,0	75,6	84,5	92,4	

Povezivanje prednosti umetnutih kapaljki u liniju natapne cijevi i prednosti kompenzirajućeg tlaka u natapanju postignuto je kapaljkom koja posjeduje i jedno i drugo. Na slici 42-17 prikazan je odnos protoka i tlaka vode. Vidi se da je tlak ujednačen. Gubitak tlaka na natapnoj cijevi s umetnutim kapaljkama s kompenzirajućim tlakom vode, na ravnu terenu, za različite razmake i protok kapaljki, prikazan je na slici 42-18.



Sl. 42-17 Odnos protoka i tlaka vode kapaljke koja se umetće u liniju natapne cijevi s kompenzirajućim tlakom



Sl. 42-18 Gubitak tlaka vode uzduž natapne cijevi s umetnutim kapaljkama s kompenzirajućim tlakom na ravnu terenu u m uz istjecanje kapaljke od 2 l/h (1. dijagram), odnosno 4 l/h (2. dijagram)

Kapaljke koje se postavljaju u natapnu cijev, najsuvremenije su. Postoji više tipova tih kapaljki. Spominjemo samo neke koje se proizvode u Izraelu, i to: "Ram", "Tiran" i "Typhon".

Kapaljka "Ram" donijela je znatan napredak i novost u natapanju kapaanjem. Ta se kapaljka postavlja u natapnu cijev i kompenzira tlak i vodu. Pogodna je za poljske kulture, voćnjake i povrćarske kulture. S kapaljkama "Ram" moguće je natapati i ona polja koja prije nisu bila za natapanje zbog teških topografskih uvjeta. Te su kapaljke pogodne za upotrebu niskog i različitog tlaka vode i za natapanje lošom kvalitetom vode. "Ram" jednolično raspoređuje vodu uzduž cijele dužine natapne cijevi. Sve do 800 m dužine cijevi s kapaljkama osigurana je

ujednačenost istjecanja i visoki prinosi uzgajanih kultura. Ta se kapaljka proizvodi za dva različita promjera natapne cijevi (17 mm i 20 mm). Svaka od tih kapaljki ima tipove s različitim istjecanjem vode: 1,2; 1,6; 2,3 i 3,5 l/h. Stalno se održava istjecanje preko tlaka vode od 3 do 40 m. Mehanizam za kompenziranje tlaka temelji se na unapređenju razvijene tehnologije i temeljitom testiranju zadnjih deset godina. Voda se prije ulaska u kapaljku filtrira. U sastavu filtera čestice su spriječene i ne mogu ući u prolaze kapaljke. Sve čestice koje mogu izazvati taloženje, isprat će se kroz široke vodene prolaze ili će se povećati diferencijalni tlak (pomoću dijafragme za trenutačno povećanje presjeka volumena izlazeće vode) i dolazi do ispiranja prljavštine iz sustava kapanja. Dimenzije prelaza vode kapaljke "Ram" prikazane su u tablici 42-11, a dužina natapne cijevi s kapaljkama, na ravnu terenu, prema ulaznom tlaku vode i razmaku kapaljki, u tablicama 42-12 i 42-13.

Dimenzije prolaza vode kapaljke "Ram"

Tablica 42-11

Istjecanje kapaljke (l/h)	Dubina (mm)	Širina (mm)	Dužina (mm)
1,2	0,95	0,95	19
1,6	1,1	1,1	19
2,3	1,2	1,2	15
3,5	1,3	1,3	15

Dužina natapne cijevi u m s kapaljkama RAM 17 mm promjera, na ravnu terenu, kao čimbenik ulaznog tlaka

Tablica 42-12

Ulazni tlak (m)	Razmak između kapaljki (m)															
	0,30				0,40				0,50				0,60			
40	207	172	135	103	266	220	174	132	320	265	209	159	372	308	244	185
35	197	163	128	97	258	209	165	125	303	252	199	151	353	292	231	176
25	171	142	112	85	219	182	143	109	264	219	173	131	306	254	200	153
20	155	128	101	77	198	165	130	99	233	198	156	119	277	230	182	138
Istjecanje kapaljke (l/h)	1,2	1,6	2,3	3,5	1,2	1,6	2,3	3,5	1,2	1,6	2,3	3,5	1,2	1,6	2,3	3,5

Ulazni tlak (m)	Razmak između kapaljki (m)															
	0,80				1,00				1,25				1,50			
40	468	388	307	234	556	462	365	278	659	546	432	330	753	625	495	378
35	443	368	291	222	527	437	348	264	624	517	410	313	712	592	469	358
25	385	319	253	192	457	379	300	259	540	449	355	271	618	513	406	310
20	348	289	228	174	413	343	271	207	487	405	321	245	558	463	367	280
Istjecanje kapaljke (l/h)	1,2	1,6	2,3	3,5	1,2	1,6	2,3	3,5	1,2	1,6	2,3	3,5	1,2	1,6	2,3	3,5

Dužina natapne cijevi u m s kapaljkama RAM 20 mm promjera, na ravnu terenu, kao čimbenik ulaznog tlaka

Tablica 42-13

Ulazni tlak (m)	Razmak između kapaljki (m)															
	0,30				0,40				0,50				0,60			
40	344	285	225	172	430	357	282	215	509	423	335	255	583	485	383	292
35	326	270	213	168	408	338	267	204	482	401	317	239	552	459	363	276
25	283	234	185	141	353	292	232	177	418	347	274	209	478	397	314	239
20	256	212	167	128	320	265	209	169	377	314	248	189	432	359	284	216
Istjecanje kapaljke (l/h)	1,2	1,6	2,3	3,5	1,2	1,6	2,3	3,5	1,2	1,6	2,3	3,5	1,2	1,6	2,3	3,5

Ulazni tlak (m)	Razmak između kapaljki (m)															
	0,80				1,00				1,25				1,50			
40	718	596	472	360	840	698	553	421	980	855	648	493	924	732	559	
35	680	565	447	341	795	665	523	399	927	772	611	467	874	693	529	
25	587	488	387	295	688	572	452	345	802	668	528	405	755	598	457	
20	530	442	348	266	620	515	408	312	785	602	477	361	820	682	540	412
Istjecanje kapaljke (l/h)	1,2	1,6	2,3	3,5	1,2	1,6	2,3	3,5	1,2	1,6	2,3	3,5	1,2	1,6	2,3	3,5

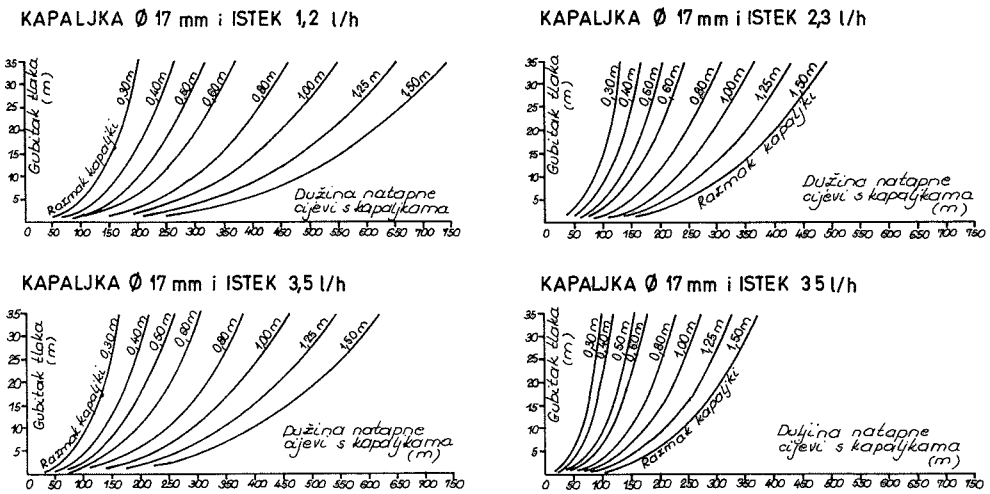
Napomena: održavati minimalni tlak 5 m na kraju natapne cijevi

U svrhu projektiranja pogonskog dijela (motor, crpka) sustava kapanja mogu se upotrijebiti dijagrami za određivanje potrebnog tlaka (Sl.42-19). Na temelju priloženih dijagrama može se odrediti gubitak tlaka za potrebnu dužinu natapne (lateralne) cijevi s kapaljkama "Ram", uzimajući u obzir njezin kapacitet kapanja (istjecanje vode) i razmak između kapaljki.

Na primjer: Ako imamo dužinu proizvodne parcele 300 m i razmak kapaljki 1,0 m, tada će se na toj dužini natapne cijevi i kapacitetu kapanja (istjecanja vode) 1,2 l/h, izgubiti tlak vode od svega 5,5 m (sl. 42-19).

Kapaljka je "Tiran" kombinacija prednosti kapaljki koje se postavljaju u liniju natapne cijevi i onih kapaljki koje imaju šire prolaze za vodu (turbulentno tečenje vode). Proizvodi se s vanjskim promjerom natapne cijevi od 17 i 20 mm i istjecanjem vode od 2,1 i 8 l/h. Debljina stijenki natapne cijevi iznosi 1,2 mm. Razmak je između kapaljki 0,3-1,5 m. Natapne cijevi s kapaljkama izrađene su od

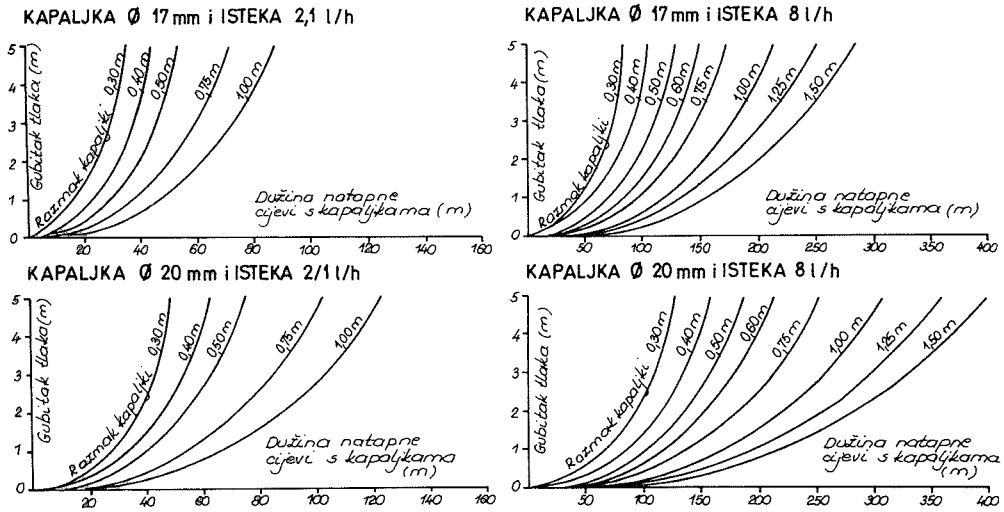
polietilena niske gustoće, koji osigurava dugotrajnost pod nepovoljnim poljskim uvjetima i odupire se sunčanim zrakama i dopuštenim gnojivima te kemikalijama koje se obično primjenjuju u poljodjelstvu. Određivanje istjecanja vode kapaljki u odnosu prema protoku i tlaku vode u sustavu s ugrađivanim "Tiran" kapaljka, prikazano je u tablici 42-14. Precizan gubitak tlaka vode, pri upotrebi natapnih cijevi s "Tiran" kapaljka, za različita istjecanja vode, razmaka kapaljki i dužine natapnih cijevi, može se odrediti na priloženim grafikonima (slika 42-20 i 42-21).



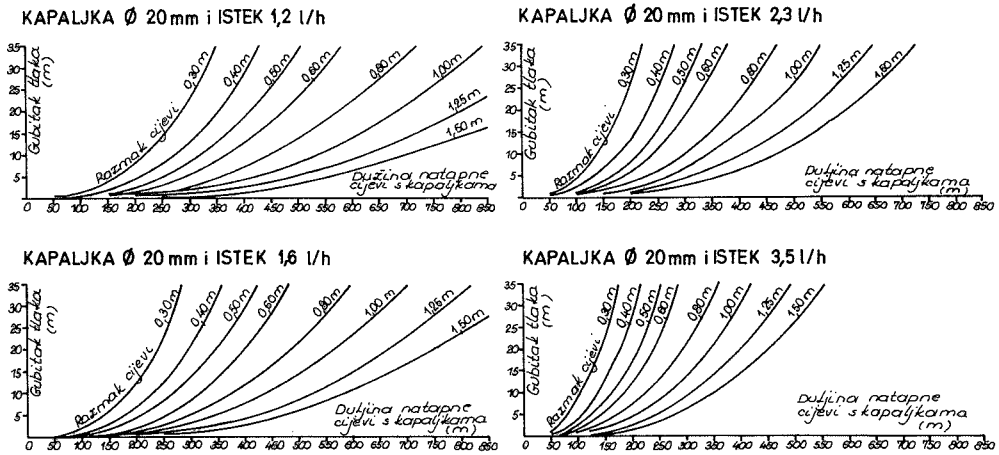
Sl. 42-19 Gubitak tlaka za različite dužine natapnih cijevi s RAM kapaljka, pri različitom promjeru, istjecanju vode i razmaku kapaljki

Istjecanje vode prema protoku vode i tlaku vode za kapaljke "Tiran"
Tablica 42-14

Tlak (m)	Protok	
	2,1 (l/h)	8 (l/h)
5	1,5	5,8
10	2,1	8,0
15	2,5	9,8
20	2,9	11,3
25	3,2	12,6
30	3,5	13,8



Sl. 42-20 Gubitak tlaka za različite dužine natapnih cijevi s "Tiran" kapaljkama, pri različitom promjeru, istjecanju vode i razmaku kapaljki



Sl. 42-21 Gubitak tlaka za različite dužine natapnih cijevi s "Tiran" kapaljkama, pri različitom promjeru, istjecanju vode i razmaku kapaljki

Kapaljka "Typhoon" postavljena je na unutarnju stijenku jedinstvene polietilenske cijevi. Do sada je pokazala siguran rad, djelotvorno i racionalno natapanje za široki broj uzgajanih kultura. Natapne cijevi s "Typhoon" kapalkama imaju debljinu stijenki: 0,25; 0,33; 0,4; 0,5; 0,64 mm, a svaki taj tip kapaljke proizvodi se s dva istjecanja vode: 1,75 i 2,8 l/h. Prema tome, može se izabrati za svaku potrebu bilinogojca. U tablici 42-15 navedeni su tehnički podaci.

Tehnički podaci kapaljke "Typhoon"

Tablica 42-15

"Typhon"	10	13	16	20	25
Debljina stijenke cijevi (natapne), mm	0,25	0,33	0,4	0,5	0,64
Unutarnji promjer cijevi, mm	15,8	15,8	15,7	15,5	15,5
Vanjski promjer cijevi, mm	16,3	16,46	16,5	16,5	16,8
Maksimalni tlak (dopušteni), m	6,5	7,0	10,0	15,0	25,0

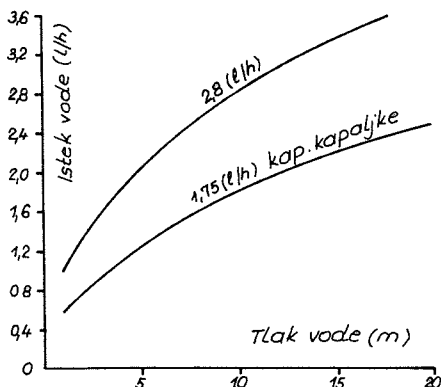
Količina istjecanja vode ovisi o tlaku vode (tablica 42-16).

Istjecanje iz kapaljke "Typhoon" prema tlaku vode

Tablica 42-16

Tlak vode, m	Kapacitet kapaljke	
	1,75 l/h	2,8 l/h
5	1,25	2,00
10	1,75	2,82
15	2,25	3,34
20	2,45	3,86

Istjecanje iz kapaljke, prema tlaku, za pojedine njezine kapacitete, može se odrediti i na dijagramu (slika 42-22).



Sl. 42-22 Istjecanje iz kapaljke "Typhoon"

Pomoću tablice 42-17 mogu se odrediti dužine natapnih cijevi s ugrađenim Typhoon kapaljkama, prema tlaku, kapacitetu istjecanja vode i razmaku kapaljki.

Preporučena dužina natapnih cijevi s ugrađenom kapaljkom "Typhoon"
Tablica 42-17

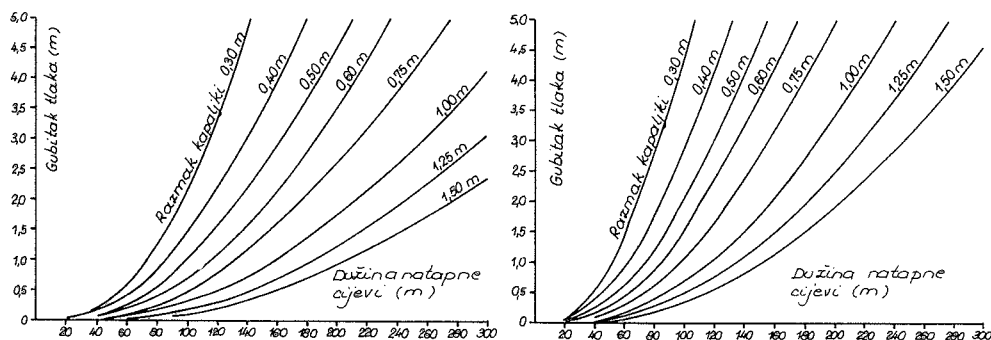
za tlak 10 m i istjecanje 1,75 l/h

Variranje istjecanja	Razmak kapaljki (m)							
	0,30	0,40	0,50	0,60	0,75	1,00	1,25	1,50
5%	97	118	137	155	180	218	251	283
7,5%	109	133	154	175	202	244	282	318
10%	121	148	172	195	225	273	315	355

za tlak 10m i istjecanje 2,8 l/h

5%	71	87	101	114	132	160	185	208
7,5%	80	97	113	127	148	179	207	232
10%	89	108	126	142	165	200	231	258

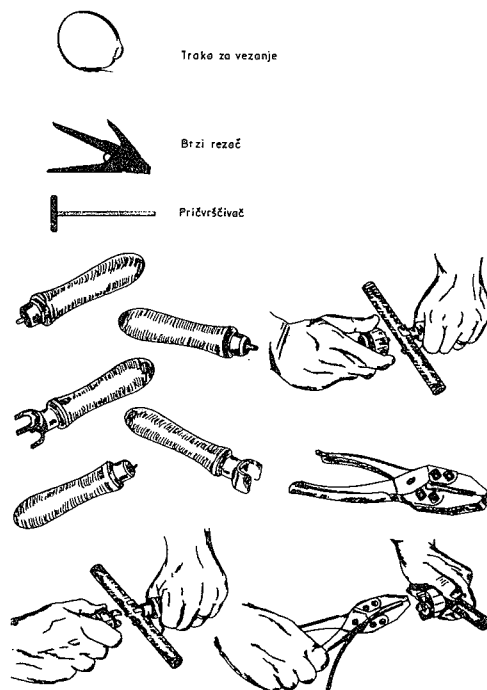
U svrhu projektiranja pogonskog dijela, za određivanje gubitka tlaka, primjenjuju se dijagrami na slici 42-23.



Sl. 42-23 Gubitak tlaka uzduž natapne cijevi s ugrađenom kapaljkom "Typhoon" pri tlaku od 10 m i istjecanju 1,75 l/h (1. dijagram), odnosno 2,8 l/h (2. dijagram)

4.2.3.7. Pribor za spajanje

Vrlo je značajan u natapanju kapanjem. Postoje raznoliki oblici spajanja. Polietilenske se cijevi spajaju na razne načine. Osim pribora za spajanje, značajni su i dijelovi koji se stavljaju na kraju cijevi, te ostali pribor koji se često upotrebljava u sustavu kapanja (slika 42-24).



Sl. 42-24 Pribor koji se često upotrebljava za spajanje

4.2.4. Potrebe uzgajanih kultura za vodom

Za pravilno projektiranje i rješavanje natapanja, potrebno je znati potrebu uzgajane kulture za vodom.

Potreba kulture za vodom odgovara stupnju potrebne evapotranspiracije u svrhu optimalnog rasta i razvoja biljke. Ta se potreba odnosi na rastuće zdravo bilje u poljskim uvjetima, izraženo u m^3/ha ili u l/m^2 pod optimalnim uvjetima. Optimalni uvjeti predstavljaju odgovarajuću opskrbljenost tla hranivima i vodom za ostvarivanje pune potencijalne proizvodnje poljoprivrednih kultura u uobičajenom okolišu. Potreba kulture za vodom izražava se i u mm/dan .

Podatke o potrebi pojedinih kultura za vodom moguće je odrediti eksperimentalnim putem u poljskim uvjetima. Za taj način treba više vremena,

napora i mjerenja. Zbog toga je nestao veći broj obračunskih metoda pomoću kojih se procjenjuje potreba za vodom. Ranije je FAO preporučivao ponajprije četiri metode: Blaney-Criddle, Radijacija, Penman i metoda isparitelja. Ispravnost određivanja potrebe kulture za vodom najviše je ovisila i o raspoloživim klimatskim podacima i izabranoj metodi za procjenu evapotranspiracije. Penmanova metoda i metoda Radijacije bile su najbolje za umjerene procjene za kratka vremenska razdoblja - dekadno. Metoda evaporacije iz posude često se primjenjivala za posebne lokacije i slabo osvijetljena mjesta. Za raznovrsne klimatske uvjete i za razdoblja od mjesec dana primjenjivala se Blaney-Criddle metoda. Postupak za kalkuliranje potrebe kulture za vodom podijeljen je u četiri dijela: određivanje referentne evapotranspiracije (ET_0), selekcija koeficijenta kulture (k_c), određivanje evapotranspiracije kulture (ET_{crop}) i čimbenika (faktora) koji utječu na evapotranspiraciju kulture (k_p). Cijeli postupak svodi se na (xxx, 1975):

$$ET_{crop} = k_c \cdot ET_0$$

$$ET_0 = k_p \cdot E_{pos}$$

k_p = čimbenik isparitelja

E_{pos} = evaporacija

$$ET_{crop} = k_p \cdot k_c \cdot E_{pos}$$

Međutim, danas osim tih metoda, potreba uzgajane kulture može se odrediti i drugim metodama. Veći je broj metoda detaljno obrađen u prethodnom priručniku (Kos, et.al.1993).

4.2.4.1. *Potreba kulture za vodom korigirana pokrivenošću površine*

Dobivenu prikazanu vrijednost evapotranspiracije (ET_{crop}) potrebno je korigirati u odnosu prema pokrivenosti površinom uzgajanom kulturom. Naime, kapanje se primjenjuje najviše za voćarske kulture i one koje se sade ili siju u redove, tj. gdje je samo dio površine tla pokriven kulturom. Habitus mladih i široko razmaknutih kultura zasjenjuje samo dio prostora. Kada je nezasjenjena površina navlažena površinskim natapanjem ili kišenjem, dio se obroka natapanja (dodane vode) gubi putem evaporacije s tla nepokrivena biljkama ili transpiracijom od korova koji se nalaze na tom prostoru. Zbog toga vrijednost potrebne količine vode za uzgajanu kulturu koja je određena uobičajenim metodama, uključuje nekorisnu evaporaciju i transpiraciju putem korova. To je razlog da se vrijednost evapotranspiracije kulture (ET_{crop}) treba korigirati čimbenikom " k_r ". Primijenjeno je više poljskih istraživanja za određivanje vrijednosti toga korekcijskog čimbenika. Međutim, za praktičnu upotrebu mogu se primijeniti tri načina koja se temelje na pokrivenosti površine

kulturom ("GC"). To je, zapravo, stvarno pokrivena površina lišćem biljaka, u postocima, kada se gleda izravno - odozgo (xxx, 1984).

- Način Kellera i Karmelia sastoji se od:

$$k_r = \frac{GC}{0,85}$$

GC = pokrivenost površine kultura u %

k_r = korekcijski čimbenik (0,1 - 1)

- Način Freemana i Garzotia:

$$k_r = GC + \frac{1}{2}(1 - GC)$$

- Način Decroix:

$$k_r = 0,1 + GC$$

Vrijednosti korekcijskog čimbenika (k_r), u skladu s navedenima trima načinima, za različit postotak pokrivenosti površine kulturom, prikazane su u tablici 42-18.

Vrijednost " k_r " predložena od različitih autora (xxx, 1984)

Tablica 42-18

Pokrivenost površine kulturom %	Keller i Karmeli	Freeman i Garzoli	Decroix
10	0,12	0,1	0,2
20	0,24	0,2	0,3
30	0,35	0,3	0,4
40	0,47	0,4	0,5
50	0,59	0,75	0,6
60	0,70	0,8	0,7
70	0,82	0,85	0,8
80	0,94	0,9	0,9
90	1,0	0,95	1,0
100	1,0	1,0	1,0

Vrijednosti treba
upotrijebiti u
projektiranju

Primjer: Ako se radi o umjerenom vjetru, pokrivenosti kulture (GC) 60% i srednjoj vlažnosti zraka. Tada korekcijski čimbenik (k_r) iznosi:

$$k_r = GC + 1/2 (1 - GC) = 0,6 + 0,5 (1 - 0,6) = 0,6 + 0,2 = 0,8$$

U tablici 42-19 iznosi se kompletan primjer određivanja potrebe kulture za vodom (evapotranspiracija) - agrumi na mediteranskom području. Pokrivenost je površine kulturom (GC) 60%, a klima je s umjerenim vjetrovom i srednjom vlažnosti zraka. Vrijednost evapotranspiracije određena je metodom isparitelja klase A, a koeficijent kulture (k_c) uobičajenom metodom (xxx, 1984).

Određivanje potrebne vode za agrume u mediteranskim uvjetima (xxx, 1984)

Tablica 42-19

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
E_{pos}^* , mm/dan	3,3	4,5	6,4	8,5	11,2	12,8	11,1	9,7	8,9	6,9	4,5	3,3
k_p	0,7	0,7	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,7	0,7
ET_0^{**} , mm/dan	2,3	3,1	4,2	5,5	7,3	8,3	7,2	6,3	5,8	4,5	3,1	2,3
k_c	0,75	0,75	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,8	0,8
ET_{crop}^{***} , mm/dan	1,7	2,3	3,4	4,4	5,8	7,1	6,1	5,4	4,9	3,8	2,2	1,8
k_r	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ET_{crop}^{****} , mm/dan	1,4	1,8	2,7	3,5	4,6	5,7	4,9	4,3	3,9	3,0	1,8	1,4

*** $ET_{crop} = k_c \cdot ET_0$

** $ET_0 = k_p \cdot E_{pos}$

*** $ET_{crop} = k_p \cdot k_c \cdot E_{pos}$

**** $ET_{crop} = ET_{crop} \cdot k_r$

* E_{pos} = metodom isparitelja (klase A)

4.2.4.2. Doziranje vode pri natapanju kapanjem

Pri natapanju je potrebno dodati onu količinu vode koja će omogućiti optimalni rast i razvitak uzgajane kulture. Količinu vode (dozu vode), koja se dodaje natapanjem, treba unaprijed odrediti kako bi se biljke osigurale potrebnom vodom. Ako natapanje predstavlja jedini izvor vode za biljke, tada će doza natapanja biti jednaka potrebi biljke za vodom. Toj je količini vode potrebno dodati dio vode koji se objektivno gubi u sustavu natapanja (procjeđivanje i otjecanje te gubici zbog nejednake raspodjele vode). Međutim, ako uzgajane biljke, osim natapanja primaju vodu i od drugih izvora: oborina, rezervne vode u tlu ili utjecajem podzemne vode, tada doziranje vode natapanjem može biti znatno manje. Pri doziranju vode natapanjem razlikuje se neto voda za natapanje i njezina bruto vrijednost.

Neto je voda za natapanje ona količina koju je potrebno dodati za normalnu biljnu proizvodnju cijelog prostora pod kulturom isključujući doprinos iz drugih izvora. Dok je bruto voda za natapanje ona količina koju je potrebno dodati za

cijelu pokrivenost površine, isključujući doprinos iz drugih izvora, plus gubitak vode u sustavu za natapanje.

Odnos između neto i bruto količine vode može se izraziti:

$$PV_b = PV_n \cdot k_d,$$

gdje je:

PV_b = potrebna voda bruto

PV_n = potrebna voda neto

k_d = koeficijent djelotvornosti natapanja

Koeficijent djelotvornosti natapanja (k_d) uključuje sve gubitke vode koji se pojavljuju pri natapanju. Prema tome, vrijednost tog koeficijenta ovisit će o upravljanju sustavom natapanja. Budući da se pri natapanju kapanjem uglavnom ne pojavljuju gubici vode na procjeđivanje, koeficijent je djelotvornosti natapanja (k_d) za taj način natapanja manji od drugih načina. No, ipak, gubici će ovisiti dobrim dijelom o vrsti tla, pa se vrijednosti koeficijenta " k_d " (xxx, 1984) iznose u tablici 42-20.

Vrijednosti koeficijenta djelotvornosti natapanja " k_d " za različita tla
Tablica 42-20

Tip tla	Koeficijent djelotvornosti (k_d)
Grub pijesak sa šljunkovitom podlogom	1,15
Pjeskovito tlo	1,10
Praškasto tlo	1,05
Ilovasta i glinovita tla	1,00

U sustavu kapanja voda se dovodi cijevima do same biljke. Zbog toga ujednačenost raspodjele vode uglavnom ovisi o stupnju istjecanja na pojedinim mjestima sustava. Razlika u stupnju istjecanja između raznih mjesta (kapaljki) ovisi o razlici u tlaku vode unutar sustava i izljevničkih odlika kapaljki. Treba reći da se pojavljuju razlike u protjecajnom kapacitetu i kod dobro projektiranih sustava kapanja. Zbog toga je odnos između stupnja istjecanja vode kroz kapaljke unutar sustava značajan čimbenik za ujednačenu primjenu (raspodjelu) vode. Te su pojave navele nekoliko autora da bruto količinu vode određenu na prikazani način povećavaju za 10% (xxx, 1984). Prema tome, bruto količina vode ili doza natapanja iznositi će:

$$PV_b = PV_n \cdot k_d \cdot 1,1$$

Iz te vrijednosti može se zaključiti da je:

$$PV_b = ET_{crop} \cdot k_r$$

odnosno:

$$PV_b = ET_{crop} \cdot k_r \cdot 1,1$$

ili:

$$PV_b = E_{pos} \cdot k_p \cdot k_c \cdot k_r \cdot k_d \cdot 1,1$$

Ako osim natapanja, uzgajane kulture koriste vodu i iz drugih izvora, bit će:

$$PV_b = E_{pos} \cdot k_p \cdot k_c \cdot k_r \cdot k_d \cdot 1,1 - R,$$

gdje je:

PV_b = bruto potrebna voda za uzgajanu kulturu

E_{pos} = gubitak vode na evaporaciju

k_p = čimbenik isparitelja

k_c = čimbenik kulture

k_r = redukcijski čimbenik (pokrivenost kulturom)

k_d = koeficijent djelotvornosti natapanja

R = voda koju je biljka primila iz drugih izvora osim natapanja

Ako je pri natapanju potrebno primjenjivati i ispiranje tla (posebno zbog ispiranja suvišnih soli), potrebnoj vodi treba dodati i dio vode u tu svrhu, tj.

$$PV_b + I_t$$

I_t = količina vode potrebna za ispiranje tla.

4.2.4.3. Dnevna potreba za vodom za natapanje

Upotrebljavajući ranije utvrđenu vrijednost evaporacije posude (E_{pos}), dnevna potreba za vodom izražava se:

$$DPV_b = E_{pos} \cdot k_p \cdot k_c \cdot k_r \cdot k_d \cdot 1,1$$

Znači DPV_b vrijednost izražena je u mm/dan ili $l/m^2/dan$.

Međutim, ako imamo površinu koja pripada svakoj biljci u m^2 , dnevna potreba za vodom po biljci bit će:

$$DPV_b = E_{pos} \cdot A \cdot k_p \cdot k_c \cdot k_r \cdot k_d \cdot 1,1$$

gdje je:

DPV_b = potrebna voda u l/dan/biljci
 A = površina po jednoj biljci u m^2
 E_{pos} = evaporacija u mm/dan

Normalno, ako uz natapanje postoje i drugi izvori vode koju biljke mogu iskorišćavati, bit će:

$$DPV_b = E_{pos} \cdot A \cdot k_p \cdot k_c \cdot k_r \cdot k_d \cdot 1,1 - R$$

Ako je potrebno ispirati tlo, tada je konačna formula:

$$DPV_b = E_{pos} \cdot A \cdot k_p \cdot k_c \cdot k_r \cdot k_d \cdot 1,1 - R + I_t$$

Primjer određivanja DPV_b

Za uzgajanu voćarsku kulturu - šljivu, na pjeskovitu tlu. Razmak je biljaka u redu 5 m, a između redova je također 5 m. Pokrivenost je kulturom 85%. Tada biljke iskorišćuju samo vodu koja se dodaje natapanjem. Podaci za evaporaciju određenom posudom klase A kroz 15 godina prikazani su, kao i ostali elementi, u tablici 42-21.

Određivanje potrebne vode (xxx, 1984)

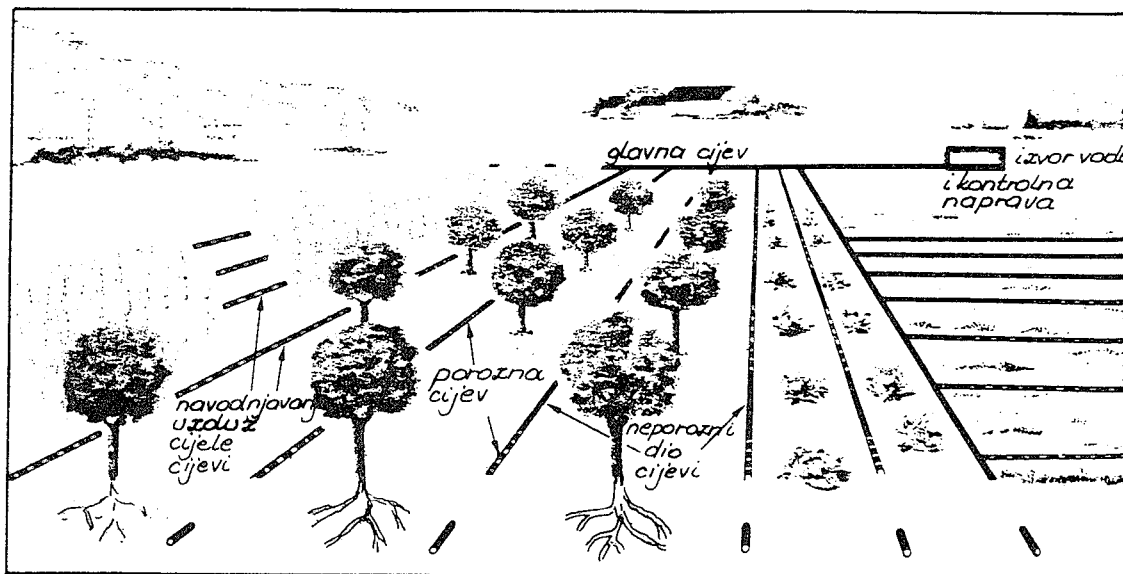
Tablica 42-21

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
E_{pos} , mm/dan	1,4	2,2	3,5	4,6	6,3	8,9	8,6	7,8	6,6	4,3	2,4	1,7
k_p	0,75	0,75	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,75	0,75
k_c	-	-	-	0,45	0,8	1,05	1,15	1,15	1,1	0,85	-	-
k_r	0,85											
ET_{crop} , mm/dan	-	-	-	1,2	3,0	5,6	5,9	5,3	4,3	2,2	-	-
k_d	1,1											
kocf. 1,1	1,1											
DPV_b , mm/dan	-	-	-	1,5	3,7	6,8	7,2	6,5	5,3	2,6	-	-
DPV_b , l/dan/biljci	-	-	-37,6	91,5	169,6	179,6	162,9	131,8	66,4	-	-	-

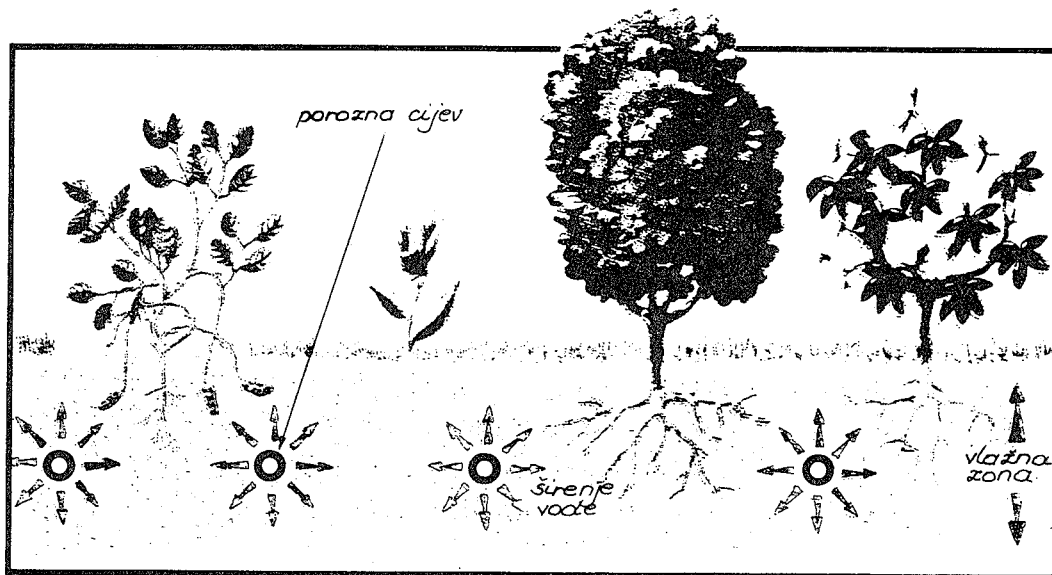
4.2.5. Natapanje podzemnim cijevima

Danas postoje uspješni sustavi za natapanje podzemnim cijevima. Te su cijevi porozne po cijeloj dužini ili na pojedinim mjestima (segmentima), slika 42-25. Cijevi se postavljaju na različitu dubinu, već prema dubini korijena uzgajanih kultura. Obično se postavljaju na dubinu gdje je glavna masa korijenova sustava (slika 42-26). Značajno je da se natapanjem podzemnim cijevima ostvaruje:

- malen utrošak vode
- povećanje prinosa uzgajanih kultura
- mali troškovi održavanja
- mogućnost gnojidbe vodotopivim gnojivima



Sl. 42-25 Skica natapanja podzemnim cijevima (tlocrt)

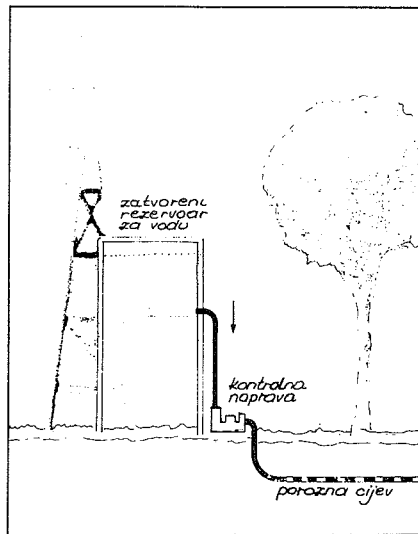


Sl. 42-26 Natapanje podzemnim cijevima (presjek)

Cijevi se postavljaju podzemno između redova biljaka ili udaljeno od biljaka prema potrebi. Voda koja izlazi iz cijevi kapilarnim načinom, vlaži tlo i dolazi do homogene vlažnosti onog dijela tla gdje je zona rizosfere. U tu se svrhu cijevi postavljaju na razmak i dubinu, već prema uzgajanoj kulturi i fizikalnim svojstvima tla.

Sustav za natapanje podzemnim cijevima sastoji se uglavnom od: izvora vode, kontrolne uprave, glavne cijevi i natapne porozne cijevi (slika 42-25).

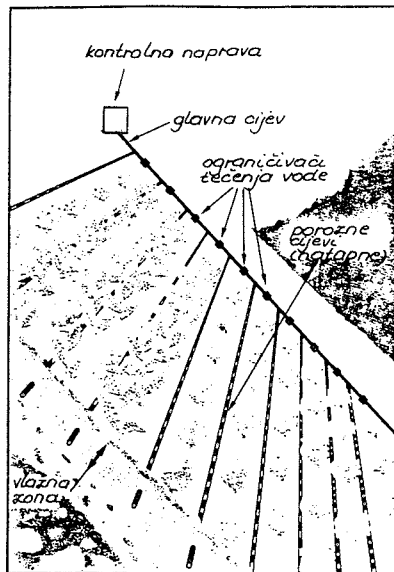
Izvor vode može biti pod niskim tlakom. Zadovoljava tlak od 50 do 400 gr/cm². Kontrolna naprava regulira količinu potrebnog protoka i tlaka vode. Glavna cijev može biti različite dužine, već prema konkretnom slučaju. Jednako tako može biti kruta ili fleksibilna. Ona služi za opću raspodjelu vode od kontrolne naprave do natapnih cijevi. Natapne su cijevi fleksibilne, kontinuirano su porozne ili mjestimično. Na kraju cijevi stavlja se čep za zatvaranje vode. Budući da je dovoljan mali tlak, za taj se sustav može primjenjivati i odgovarajući rezervoar za vodu tako da kapacitet i visina njegova postavljanja ovise o konkretnoj situaciji (slika 42-27).



Sl. 42-27 Skica presjeka natapanja podzemnim cijevima

Taj se sustav može primijeniti na ravnim i neravnim terenima. Može se uspješno upotrebljavati i na nagnutim terenima, kao što je prikazano na slici 42-28. Tada je potrebno ugraditi i naprave za ograničavanje tečenja vode radi osiguravanja ujednačenoga niskog tlaka vode. Za postavljanje cijevi u tlo danas se primjenjuju specijalni jednoplužni ili višeplužni strojevi koji ih lako, brzo i kvalitetno instaliraju.

Sustav se može primijeniti za povrćarske, voćarske pa i ratarske kulture, kao i u zatvorenu prostor (staklenici i plastenici).



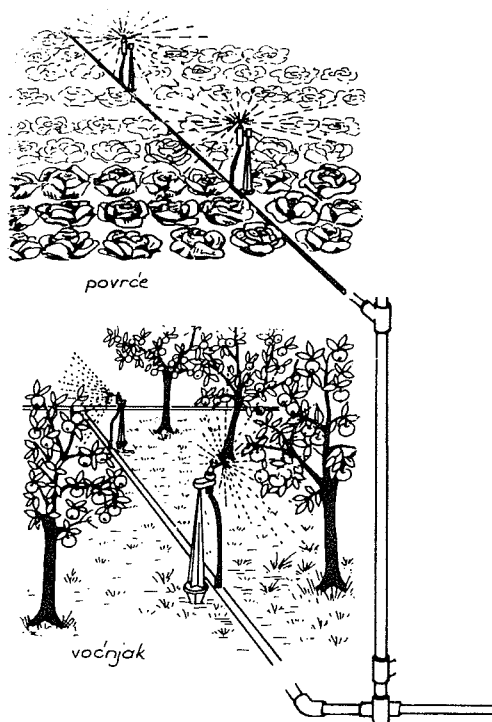
Sl. 42-28 Natapanje podzemnim cijevima (tlocrt)

Postoje uspješna iskustva u svijetu i pri natapanju sportskih terena svih vrsta, u šumarstvu i rasadnicima.

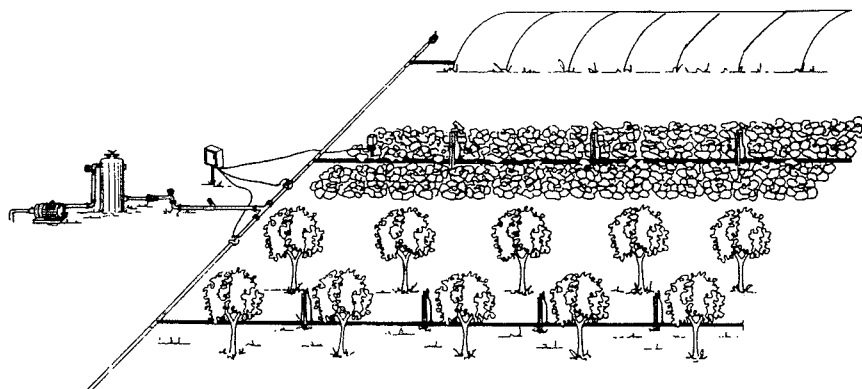
4.2.6. Mini rasprskivači

Istaknuti osnovni nedostaci natapanja kapanjem (moguća začepljenja otvora na kapaljkama, ne poboljšava mikroklimu na proizvodnoj površini, potreban je veći plastični materijal - cijevi, kapaljke i instalirani uređaj kapanja otežavaju kretanje - rad strojeva) utjecali su na razvoj i primjenu natapanja mini rasprskivačima. Budući da se i uređaj za natapanje mini rasprskivačima izrađuje od polimernih materijala, ono je u stvari alternativa kapanju (slika 42-29). To je, dakle, noviji način lokaliziranog natapanja. Pojavio se u posljednjih 15-ak godina. Danas se sve više širi u poljskim uvjetima, naročito pri uzgoju voćarskih i povrćarskih kultura te u rasadnicima. Jednako je tako natapanje mini rasprskivačima pogodno za intenzivan uzgoj povrćarskih i cvjećarskih kultura te rasadnih materijala, u staklenicima i plastenicima (slika 42-30). Uređaj za natapanje mini rasprskivačima identičan je uređaju kapanja. Jedina je razlika u načinu dodavanja vode, odnosno, kapaljke su zamijenjene mini rasprskivačima (slika 42-29). Mini raspršivači raspršuju vodu u obliku sitnih kapi, pod tlakom uglavnom do 3,5 bara i u dometu do 5 metara. Cijeli je uređaj od plastičnih materijala moguće brzo i jednostavno montirati i na kraju sezone natapanja ili u međuvremenu, demontirati. Svi su dijelovi načina natapanja mini rasprskivačima jednaki ili približno jednaki onima koji su opisani pri razradi načina natapanja kapanjem. Dakle, izvor vode te pogonski dio (crpka i motor) identični su kao i pri kapanju. Jednako tako nema većih razlika i u kontrolnoj glavi

uređaja za natapanje (kontrolni ventili, manometar, vodomjer te regulator tlaka vode). Uređaj se za fertilizaciju (gnojidba vodotopivim hranivima) također ne razlikuje. Jedino treba reći da se, pri natapanju mini rasprskivačima, gnojidba vodotopivim hranivima rjeđe primjenjuje od načina kapanjem. Razlog je tome nešto veća površina koju prskaju rasprskivači te se troši i nešto veća količina vode. Što se tiče uređaja za filtriranje vode, također se češće izostavlja. Naime, mini rasprskivači imaju veće prolaze za vodu i rade pod nešto većim tlakom nego kapaljke. Osim toga, suvremeni mini rasprskivači izvedeni su s dijelom koji sprečava začepljenje prolaza za vodu pa su to razlozi zbog kojih se često može izostaviti uređaj za filtriranje vode. No, ako se radi o onečišćenoj vodi kojom se natapa, ne treba isključiti potrebu za instaliranjem unutar sustava, i pojedinačnog filtra ili njegove kombinacije za pročišćavanje vode prije natapanja. Budući da su svi dijelovi kontrolne glave sustava za natapanje i uređaji za fertilizaciju i filtriranje vode opisani u uređaju za kapanje, ovdje ih nije potrebno ponovno navoditi. Glavni je cjevovod i lateralne su cijevi fiksne ili polugipke polietilenske cijevi. Na njih se postavljaju mini rasprskivači ili njihovi priključci. Postoje različiti oblici priključaka i nosača za mini rasprskivače. Oni se lako utisnu u stijenku lateralne cijevi, gdje god je to potrebno. Na priključak rasprskivača može se spojiti svaki tip rasprskivača s različitim protocima. Na te priključke mogu se staviti i čepovi radi zatvaranja otvora i sprečavanje izlaska vode na tome mjestu.



Sl. 42-29 Skica natapanja mini rasprskivačima



Sl. 42-30 Natapanje mini rasprskivačima u intenzivnom bilinogojstvu

Dakle mini rasprskivači mogu se na različite načine spojiti s lateralnom cijevi. Prije svega, moguće ih je spojiti preko priključka na samu cijev. Zatim ih je moguće postaviti na postolje pomoću navoja. Osim toga, mini rasprskivač može se postaviti i na nosač. Tada se komplet povezivanja rasprskivača s lateralnom cijevi sastoji od četiriju elemenata:







- priključka koji se postavlja u cijev
- savitljive cjevčice koja ide od cijevi do rasprskivača
- vezne spojke
- nosača rasprskivača.

Nosač je mini rasprskivača najčešće od plastike, ali može biti i od drugih krutih materijala. Nosač može biti i različite visine. Ako se tome doda da i položaj lateralne cijevi može biti, osim na zemlji, i na različitim visinama, to omogućuje primjenu tog natapanja u raznim uvjetima i za razne kulture te njihove različite faze razvoja. Temeljna je odlika lokaliziranog natapanja (i kapanja i mini rasprskivača) da se svi njegovi dijelovi (elementi) mogu jednostavno i brzo međusobno zamijeniti. Zbog toga je i način natapanja mini rasprskivačima prilagodljiv svim zahtjevima i potrebama, odnosno različitim uvjetima rada. Cijeli je uređaj male težine i predstavlja nadzemnu instalaciju, koja se lako i brzo premješta, ako je potrebno (Tomić, 1990). Mikro rasprskivači imaju različite protoke, domete prskanja vode i prskaju pod različitim tlakom (tablica 42-22). Značajno je što ravnomjerno raspoređuju vodu u cijelom promjeru prskanja. Zbog toga služe ne samo za dodavanje vode nego obavljaju ulogu regulatora mikroklimе jer svojim prskanjem utječu na povećanje relativne vlažnosti zraka na prostoru koji se natapa.

Protok mini rasprskivača u l/h

Tablica 42-22

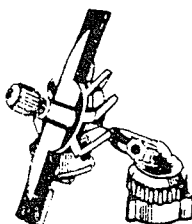
Vrsta mini rasprskivača	Tlak vode u barima							Maksimalni promjer prskanja (m)
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	
plavo-crvena	-	17	20	23	26	28	31	1,8
plavo-plava	-	26	31	34	38	42	45	3,0
sivo-crna	40	51	60	67	74	82	85	3,5
crno-crna	48	59	69	78	85	94	100	4,0
plavo-crna	78	96	110	125	136	147	155	4,5
crveno-crna	84	103	120	136	149	158	168	5,0
smeđe-crna	112	138	160	178	194	211	223	5,5

MINI RASPRSKIVAČ OR (2 bara) 	Domet (m) 0,9 1,5 1,75 2,0 2,25 2,5 2,75	Protok (l/h) 20 35 60 70 105 120 160	MINI RASPRSKIVAČ VJ (1 bar) 	Domet (m) 3,0	Protok (l/h) 70
MINI RASPRSKIVAČ LP (2 bara) 	0,8 1,2 1,85 2,15	20 35 70 120	MINI RASPRSKIVAČ W (2 bara) 	4,5 5,0 6,0	120 160 200
MINI RASPRSKIVAČ VS (2 bara) 	2,5 3,0	50 70	MINI RASPRSKIVAČ TIP 400/120 (2 bara) 	1,25 1,5 2	34 46 57

Sl. 42-31 Tipovi mini rasprskivača

Danas se proizvode različiti tipovi mikro rasprskivača. Ovdje navodimo samo neke od njih. Njihovi su skraćeni nazivi: OR, LP, VJ, W, Tip 400/120 (slike 42-31, 42-32, 42-33, 42-34, 42-35). Osnovne odlike mini rasprskivača OR prikazane su na slici 42-36, a mini rasprskivača LP na slici 42-37 i u tablici 42-23. Odlike mini rasprskivača VJ mogu se vidjeti na slici 42-38 i u tablici 42-24, dok se elementi "Bridge" rasprskivača nalaze u tablici 42-25 te na slici 42-39. U tablici 42-26 navedeni su osnovni elementi za mini rasprskivač W.

RASPRSKIVAČ HRW (2 bara)



Domet (m)	Protok (l/h)
> 10	720
	960
	1180
	1200
	1440
	1520

NISKOTLAČNI RASPRSKIVAČ TIP 700/1400 (1,5 - 3,5 bara)



> 10	576
	1008
	1188
	1512
	1520

NISKOTLAČNI RASPRSKIVAČ TIP 120/200 (2 bara)

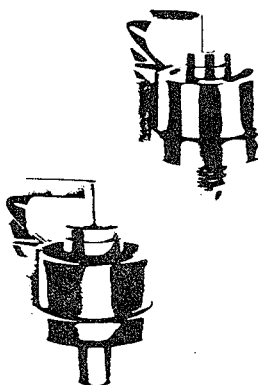


3,8	122
4,5	133
5	154

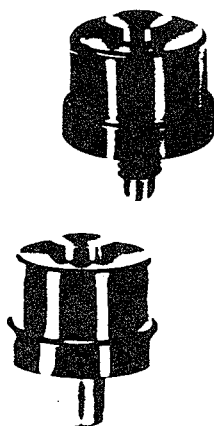
Sl. 42-32 Tipovi niskotlačnih rasprskivača



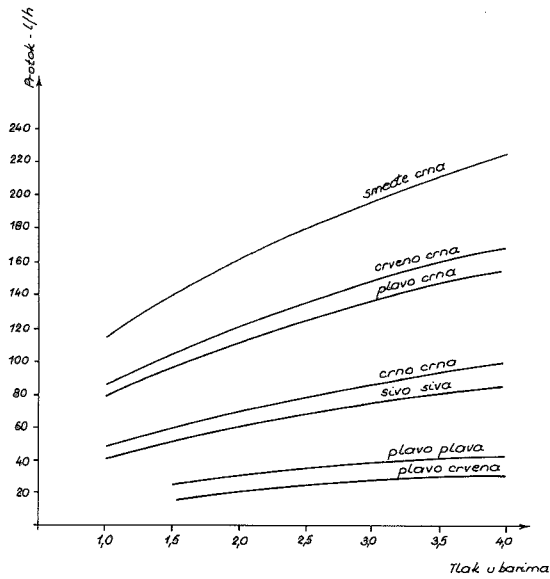
Sl. 42-33 Ray-Jet sprayer



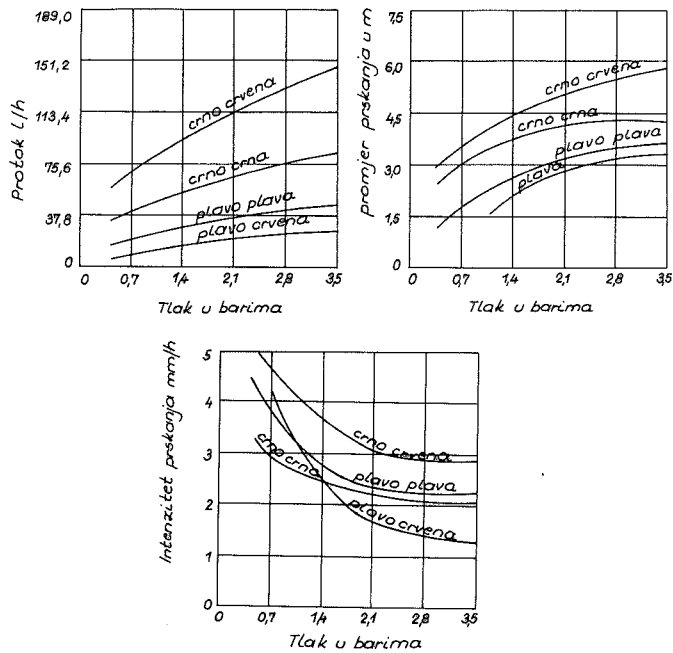
Sl. 42-34 Mini sprinkler



Sl. 42-35 Mist sprayer



Sl. 42-36 Osnovne odlike mini rasprskivača OR

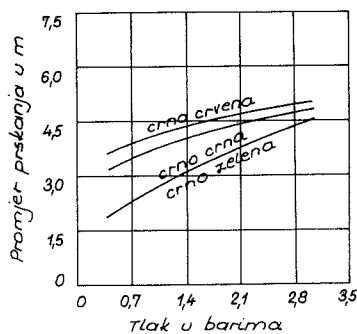
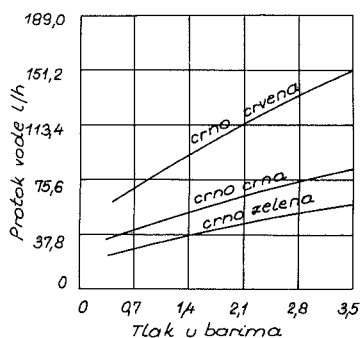


Sl. 42-37 Osnovne odlike mini rasprskivača LP

Mini rasprskivač LP

Tablica 42-23

Vrsta - boja rasprskivača	Efektivni otvor (mm)	Protok	Promjer prskanja
plavo-crveni	0,68	13,2	1,6
plavo-plavi	0,9	23,4	2,1
crno-crni	1,27	49,9	3,72
crno-crveni	1,72	85,4	4,0

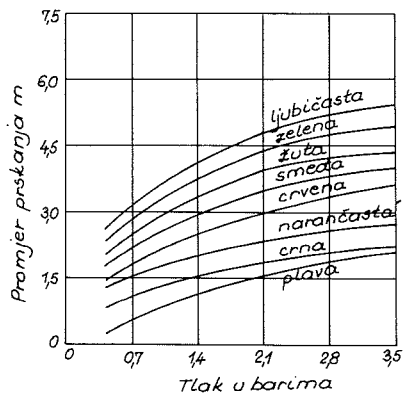
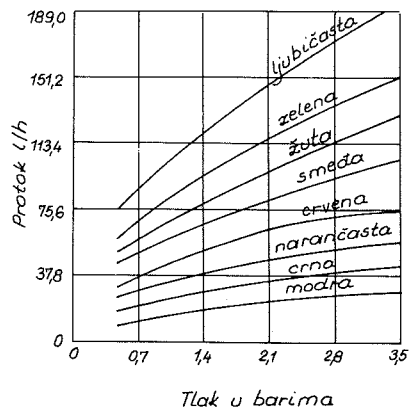


Sl. 42-38 Osnovne odlike mini rasprskivača VJ

Mini rasprskivač VJ

Tablica 42-24

Vrsta - boja raspršivača	Otvor (mm)	Protok (l/h)	Promjer prskanja (m)
crno-zelena	1,0	34,0	2,7
crno-crna	1,3	49,9	3,7
crno-crvena	1,7	85,0	4,0



Sl. 42-39 Osnovne odlike mini rasprskivača "Bridge"

Mini rasprskivač "Bridge"

Tablica 42-25

Vrsta - boja raspršivača	Protok (l/h)	Promjer prskanja (m)
plava	28	5,4
crna	50	6,0
narančasta	65	6,5
crvena	85	7,3
smeđa	112	7,5
žuta	140	7,6
zelena	170	7,6
ljubičasta	210	8,0

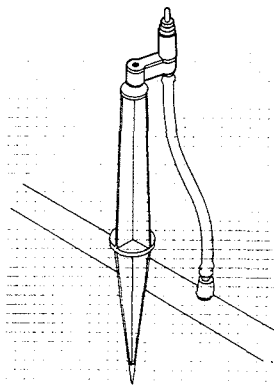
*Mini rasprskivač W**Tablica 42-26**s protokom 120 l/ha*

Tlak (bar)	Protok (l/h)	Promjer prskanja (m)
1,5	109	-
2,0	122	9
2,5	133	10
3,0	145	-
3,5	155	-

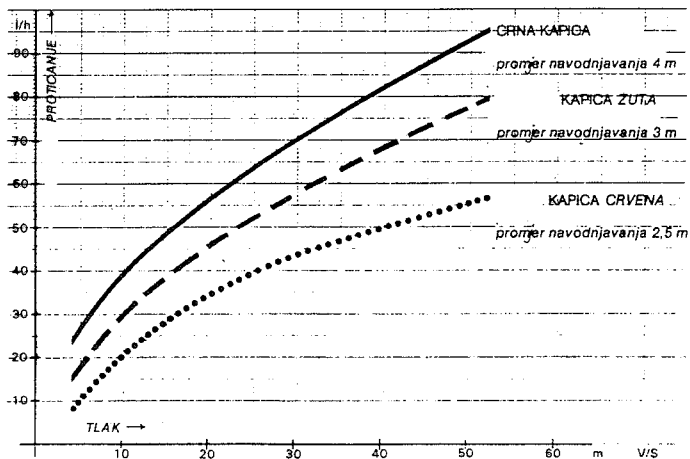
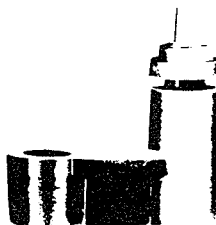
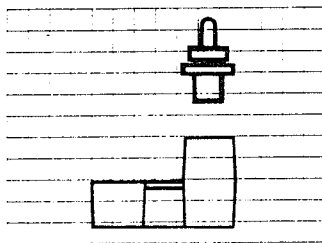
s protokom 160 l/h

Tlak (bar)	Protok (l/h)	Promjer prskanja (m)
1,5	139	-
2,0	161	10
2,5	179	11
3,0	201	-
3,5	215	-

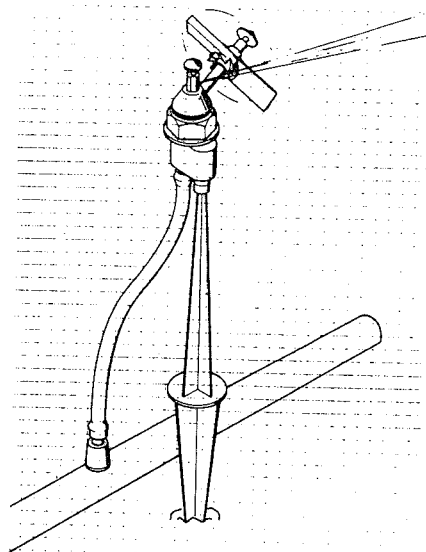
Radi što povoljnijeg izbora mini rasprskivača pokazuju se slike i elementi još i za mini rasprskivače Tip 40/120 (slike 42-40 i 42-41), Tip 120/200 (slike 42-42 i 42-43), Tip 700/1400 (slike 42-44 i 42-45). Tip 120/200 i Tip 700/1400 jesu zapravo rasprskivači. Međutim, oni su također od plastičnih materijala i imaju sve odlike kao i ostali mikro rasprskivači. Uz spomenute, prikazuju se i neki mini rasprskivači koji se proizvode u Izraelu. Na slici 42-34 prikazan je "Mini-sprinkler", a u tablici 42-27 nalaze se njegove odlike. "Mist sprayer" jest na slici 42-35 i u tablici 42-28, a na slici 42-33 prikazan je "Ray-Jet sprayer", uz prikaz njegovih odlika u tablici 42-29.



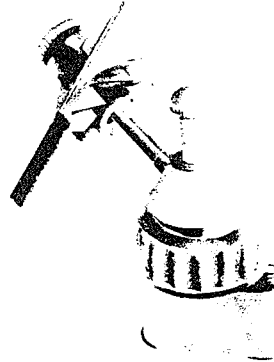
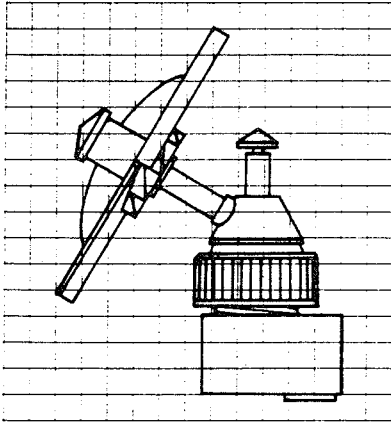
Sl. 42-40 Skica mini rasprskivača tip40/120 s priključkom i držačem



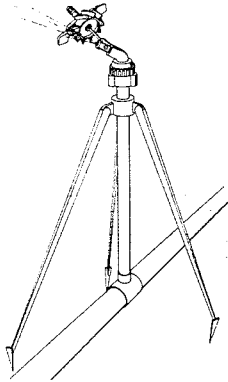
Sl. 42-41 Mini rasprskivač tipa 40/120



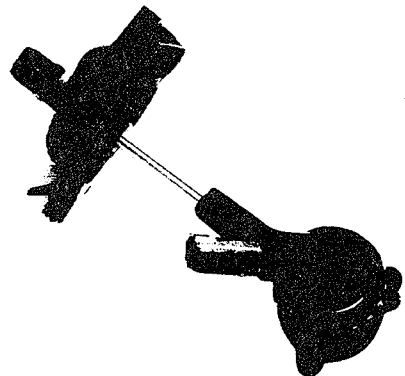
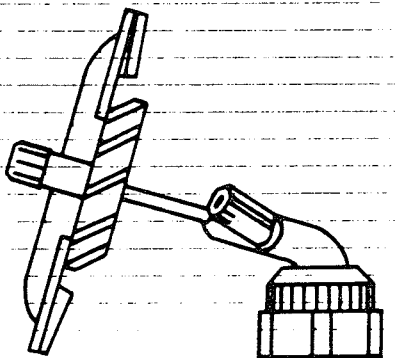
Sl. 42-42 Niskotlačni rasprskivač tipa 120/200



Sl. 42-43 Niskotlačni rasprskivač tipa 120/200



Sl. 42-44 Rotacijski niskotlačni rasprskivač tipa 700/1400



Sl. 42-45 Rotacijski niskotlačni rasprskivač tipa 700/1400

Odlike Mini Sprinklera

Tablica 42-27

Boja	Crna		Plava		Zelena		Crvena		Bijela	
	Tlak	Protok	Promjer pokrivanja	Protok	Promjer pokrivanja	Protok	Promjer pokrivanja	Protok	Promjer pokrivanja	Protok
M/H ₂ O	L/H	M	L/H	M	L/H	M	L/H	M	L/H	M
15	26	2,6	35	3,1	66	3,3	82	4,5	94	4,5
20	32	3,0	41	3,5	76	4,0	95	5,0	112	5,0
25	37	3,5	47	3,9	84	4,5	106	5,6	129	5,4

Odlike Mist Sprayera

Tablica 42-28

Boja	Tlak (m)	Protok (l/h)	Promjer vlaženja (m)	Veličina kapi (μ m)
Crna	30	21	1,5	165
Plava	30	25	1,4	130
Zelena	30	37	1,3	145
Crvena	30	46	1,3	135

Odlike Ray-Jet Sprayera

Tablica 42-29

Boja	Crna		Plava		Zelena		Crvena	
	Tlak	Protok	Promjer pokrivanja	Protok	Promjer pokrivanja	Protok	Promjer pokrivanja	Protok
M/H ₂ O	L/H	M	L/H	M	L/H	M	L/H	M
10	22	2,6	32	3,0	47	4,0	58	4,2
15	28	3,3	37	3,9	58	4,5	68	5,0
20	32	3,8	4,7	4,4	68	4,9	80	5,7

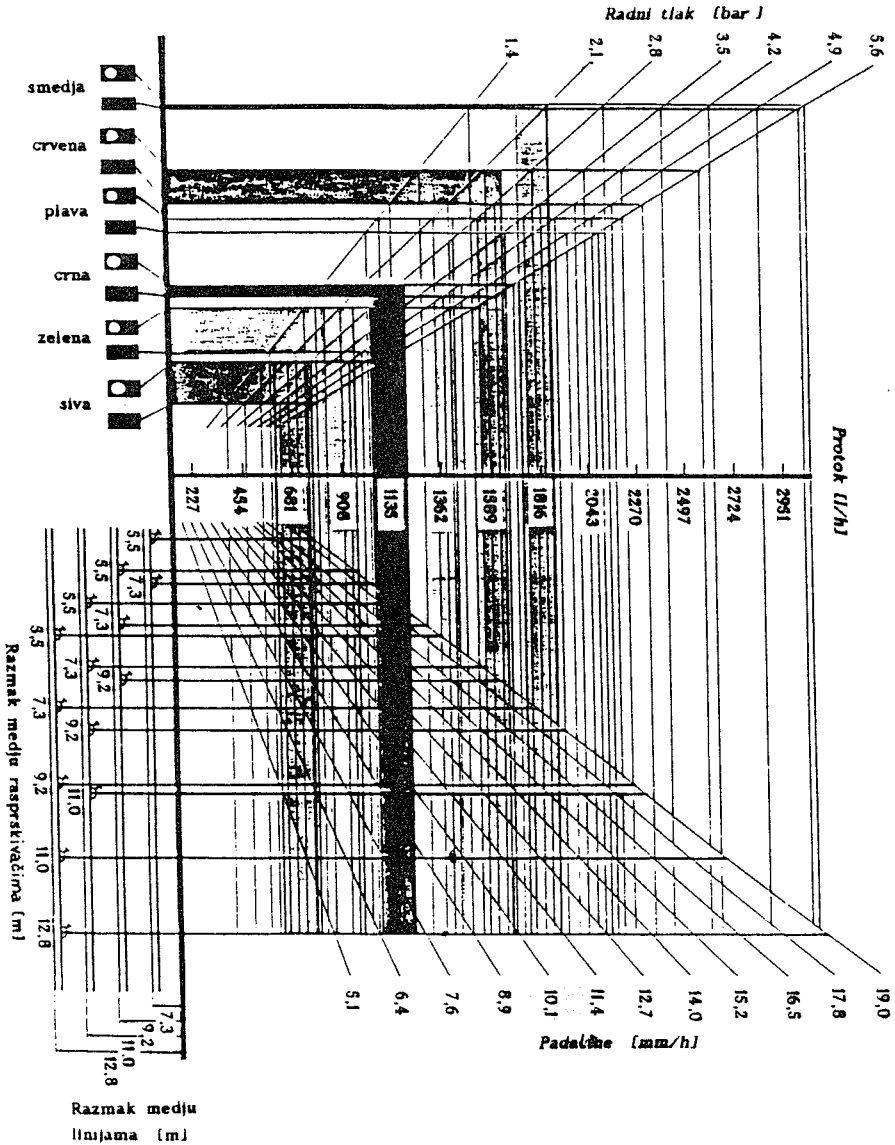
Pojedini rasprskivači posjeduju vlastite odlike, koje mogu raznoliko poslužiti u različitim uvjetima natapanja. Stoga je značajno pravilno izabrati mini rasprskivač za određene uvjete u praksi.

U nastavku se navodi način postupka izbora mini rasprskivača na primjeru "IRW" rasprskivača (slika 42-32).

Primjer: Mlaznica je plava s duplim otvorom, tlak je od 2,1 bara, razmak između linija je 2,8 m, a razmak je između rasprskivača 11,0 m.

Do izbora rasprskivača dolazi se tako da se na slici 42-46 slijedi horizontalna crta koja pripada plavoj mlaznici. Kada ta crta siječe kosu crtu koja odgovara tlaku od 2,1 bara, mijenja se smjer povlačenja crte. Povlačeći crtu vertikalno prema dolje, nailazi se na crtu s vrijednosti protoka od 1362 l/h. Nastavljajući crtu dalje (vertikalno prema dolje), nailazi se na horizontalne crte koje označavaju razmak

između rasprskivača i natapnih cijevi (linija). Tada je razmak rasprskivača 11,0 m, a linija 12,8 m. Na mjestu gdje se te crte sijeku odgovara vrijednosti intenzitetu oborina (prskanju) od 9,7 mm/h. Dakle, za te uvjete odgovara rasprskivač koji ima kapacitet od 1362 l/h ili intenzitet prskanja od 9,7 mm/h.



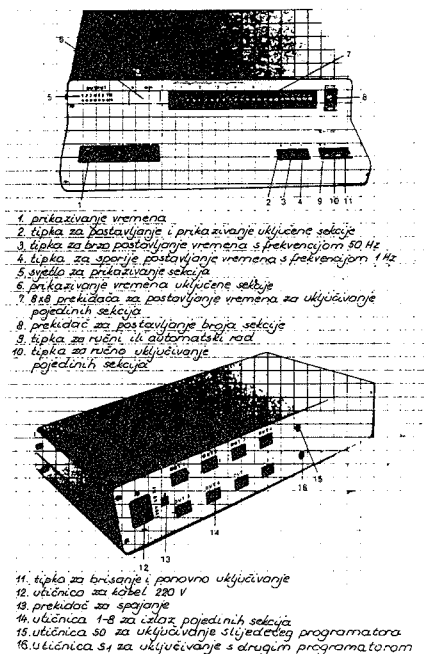
Sl. 42-46 Izbor odgovarajućeg rasprskivača IIRW

4.2.7. *Automatika u sustavima lokaliziranog natapanja*

Za automatsko izvođenje lokaliziranog natapanja primjenjuje se odgovarajući programator. Programator upravlja elektromagnetnim ventilom koji regulira rad (natapanje) pojedinih sekcija natapnog sustava. Programator na slici 42-47, može upravljati natapanjem na osam sekcija s različitim vremenom. Vrijeme rada može se postaviti od jedne minute do 9 sati i 59 minuta za svaku sekciju posebno. Izlazi sekcija učinjeni su na taj način da se izravno upravlja elektromagnetnim ventilom s izmjeničnim naponom 24 V, 50 Hz. Svaki izlaz može se lako napuniti s 24 VA (1A strujni tlak). Programatorska naprava ima ugrađen suhi olovni akumulator sa štedljivim izvorom napajanja. Ako slučajno nestane električne energije, osigurano je najmanje 12-satno djelovanje programatora tim akumulatorom.

"Tehnički podaci:

- digitalno postavljanje vremena od 1 min. do 9 h 59 min. u skladu s narudžbom
- vrijednost može postaviti samo proizvođač ili ovlaštenu servis
- ura (24 sata)
- izlazi sekcija upravljaju se pomoću 24 V \wedge X 1A (24 VA)
- punjenje 220 V, 50 Hz, 30 VA
- dimenzije programatora: 33,5 cm x 31,3 cm x 8,2 cm
- težina programatora 5 kg



Sl. 42-47 Programator EP-02 za automatsko lokalizirano natapanje

4.2.8. *Zaključne napomene*

Sustavi kapanja i mini rasprskivača, koji se izrađuju od plastičnih polimernih materijala, izazvali su revoluciju u natapanju poljoprivrednih kultura. Može se slobodno reći da ti sustavi predstavljaju ne samo novu tehniku nego i novu filozofiju natapanja. Oni svakako omogućuju primjenu novih suvremenih tehnologija u bilinogojstvu.

Lokalizirano natapanje ima više prednosti u odnosu prema ostalim metodama natapanja. Osnovne su prednosti: sustavi lokaliziranog natapanja mogu se primijeniti na svim tlima, svim topografskim prilikama, na prostorima raznih oblika i dimenzija te za sve uzgajane kulture u poljskim uvjetima i zaštićenom prostoru. Ti sustavi štede pogonsku energiju i vodu te precizno doziraju vodu. Vrlo su funkcionalni, pouzdani, uz mogućnost elektronske regulacije cijelog sustava natapanja i automatske kontrole pojedinih njegovih dijelova. Lokalizirano natapanje omogućuje ostvarivanje optimalne vlažnosti tla i prihranjivanje vodotopivim gnojivima. Pri natapanju sustavima kapanja i mini rasprskivačima ostvaruju se visoki kvalitetni prinosi poljoprivrednih kultura.

4. OPREMA ZA NATAPANJE

*Prof.dr. Franc Tomić
Dr. Davor Romić
Agronomski fakultet
Sveučilišta u Zagrebu*

*Prof.dr. Stjepan Mađar
Poljoprivredni fakultet
Sveučilišta u Osijeku*

4.3. OPREMA ZA NATAPANJE KIŠENJEM

4.3.1. Vrste sustava i uređaja za natapanje kišenjem

Zadaća je svakoga uređaja i opreme za natapanje kišenjem da crpi vodu, zatim da je tlači kroz cjevovod i pomoću rasprskivača raspodjeli što ravnomjernije po površini tla u obliku kapljica.

Prema načinu izgradnje, uporabi i kombinaciji elemenata te organizaciji rada sustavi za natapanje kišenjem mogu se razvrstati u (Obelić, V. 1960., Marasović, A. 1962., Mađar, S. 1986.):

- Nepokretne ili stabilne uređaje,
- polupokretne ili polustabilne uređaje,
- Pokretne ili prenosive uređaje,
- Samopokretne ili samohodne uređaje.

Natapanje kišenjem naglo se širi u poljoprivredi nakon II. svjetskog rata i ima svoj razvojni slijed. Suvremena tehnologija i primjena raznih materijala u natapanju (laki metali, plastika) razvila je nove uređaje i opremu.

Prvi uređaji i oprema za kišenje bili su uglavnom nepokretni ili polupokretni, što je tada bila "klasika" natapanja umjetnom kišom. Nepokretni sustavi bili su skupi u izgradnji, a polupokretni i prenosivi uređaji zahtijevali su znatnu uporabu radnika za prenošenje kišnih krila i rasprskivača po polju. Budući da je bilo sve manje raspoložive radne snage, koja je postajala istovremeno i sve skupljom, poljoprivrednici i proizvođači opreme za natapanje težili su za novim rješenjima i usavršavanjima. Tako su se razvili samopokretni ili samohodni uređaji za kišenje, koji se danas uglavnom primjenjuju na većini natapnih polja širom svijeta i kod nas.

4.3.1.1. Nepokretni ili stabilni uređaji

Nepokretni ili stabilni uređaji za natapanje kišenjem imaju izgrađene crpke u građevinskom objektu (crpna stanica) koji je smješten na izvorištu vode. Glavni i tlačni cjevovodi ukopani su u zemlju, a također i razvodne cijevi. Rasprskivači su pomoću priključnih cijevi trajno fiksirani na razvodnim cijevima i kišnim krilima i mogu se uključivati u rad u svakome trenutku kada je to potrebno. Svi su sastavni elementi nepokretnoga sustava kišenjem (crpke, glavni i razvodni cjevovodi, spojni komadi, rasprskivači) nepokretni i trajno ugrađeni. Svi se sustavi grade za posebne namjene natapanja višegodišnjih kultura koje su akumulativne i profitabilne kao što su voćnjaci, rasadnici i vinogradi. Nepokretni uređaji za kišenje mogu se postavljati i na sportska igrališta, parkove, zelene površine ili na pokusne parcele, gdje se obavljaju višegodišnja znanstvena istraživanja s natapanjem poljoprivrednih kultura. Zahtijevaju velika investicijska ulaganja (kapitalno su vrijedna i intenzivna) u opremu i građevinske radove te imaju znatne troškove rada i održavanja.

Pomoću nepokretnih sustava kišenja, u modernim se nasadima voćnjaka osim natapanja obavlja i zaštita od kasnih proljetnih mrazeva. Za tu je svrhu potrebno nepokretni sustav posebno projektirati i izgraditi tako da se rasprskivači postavljaju iznad krošnji voćaka. Zaštita od mraza voćnjaka obavlja se finim kapljicama vode koje stvaraju rasprskivači malih intenziteta kišenja (3-5 mm/h) u kritičnim trenucima cvatnje voćaka.

Bit zaštite od mraza kišenjem nastoji se u tome što se pri hlađenju vode koja se prelijeva preko cvjetova voćaka oslobađa izvjesna količina toplinske energije. Ona se djelomično prenosi kroz lišće i cvjetove te u okolni zrak, što je dovoljno da zaštiti voćke od slabijih mrazeva. Kišenje se mora obavljati cijelo vrijeme dok traje opasnost od mrazeva i smrzavanja cvjetova.

4.3.1.2. Polupokretni ili polustabilni uređaji

Polupokretni ili polustabilni uređaji za kišenje sastoje se od ugrađene i stabilne crpne stanice na izvorištu vode, ukopane mreže dovodnih i razvodnih cijevi te pokretnih kišnih krila i prenosnih rasprskivača. Dovodni su cjevovodi najčešće od željeznih, betonskih ili azbestno-cementnih cijevi, koje podnose visoke tlakove vode (5-15 bari). Pokretna su kišna krila od aluminijskih legura sa brzo spajajućim spojkama, koje se pomoću hidranata priključuju na razvodne cijevi.

Kišenje se pomoću ovih uređaja obavlja na jednome radnom položaju u vremenu potrebnome da se realizira obrok natapanja. Raspored rasprskivača i pomicanje kišnih krila obavlja se zatvaranjem vode na hidrantima i premještanjem cijevi i rasprskivača u novi radni položaj. Za taj je posao

potreban određeni broj radnika koji su obučeni za poslove spajanja, razdvajanja i prijenos cijevi kišnih krila. Rad je uređaja i ljudi nekontinuiran i stalno treba ponavljati operacije zatvaranja i otvaranja vode te prijenosa kišnih krila sa rasprskivačima.

Polupokretni uređaji za kišenje pogodni su za natapanje većih ratarskih i krmnih površina i kultura kao što su: kukuruz, soja, suncokret i slične kulture te lucerna, livade i pašnjaci. Također se mogu natapati sve povrćarske kulture i voćnjaci te voćni i šumski rasadnici.

Danas su polupokretni uređaji za kišenje već starija koncepcija i izvedba natapanja. Zahtijevaju vrlo precizno projektiranje i dimenzioniranje crpki i cjevovoda prema površini i kulturama koje se natapaju. A budući da je struktura sjetve ili sadnje poljoprivrednih kultura na imanjima vrlo promjenjiva i zasniva se na zahtjevima tržišta, to su i polupokretni sustavi natapanja kišenjem teže prilagodljivi za brze promjene u natapanoj poljoprivredi i gospodarenju.

4.3.1.3. Pokretni ili prenosivi uređaji

Pokretni ili prenosivi uređaji za natapanje kišenjem sastoje se od opreme i dijelova koji se u cijelosti mogu premještati tijekom rada. Svi su elementi sustava pokretni - crpka, dovodni cjevovodi, kišna krila i rasprskivači. Time je utrošak ljudskoga rada ovdje i najveći, a investicijska ulaganja nešto manja u odnosu prema nepokretnim i polupokretnim uređajima za kišenje.

Poslije natapanja površine na jednome mjestu, svi se elementi i dijelovi prenose na novu radnu poziciju. Crpka je ugrađena na motor na pokretnom postolju (crpni agregat) ili se pogoni traktorom preko priključnoga vratila. Lako se premješta uzduž prirodnoga ili umjetnoga vodotoka, iz kojega se crpi voda za natapanje. Sve su dovodne i razvodne cijevi i kišna krila od lako prenosivih i brzo spajajućih cijevi. Prenosivi rasprskivači nalaze se na kišnim krilima i mogu se mijenjati prema potrebama kulture i tla koje se natapaju. I kod pokretnih uređaja primjenjuju se cijevi za kišna krila od aluminijske (promjera 50, 60, 80, 110 mm) jer su lake za prijenos. No, mogu se upotrebljavati i plastične cijevi manjih promjera (1-3 cm), na koje se priključuju mikrorasprskivači. To su rasprskivači posebne konstrukcije s malim intenzitetima kišenja (2-4 mm/h) i maloga dometa (2-5 m). Oni su pogodni za lokalizirano natapanje pojedinih kultura, kao npr. voćaka, povrtnjaka te staklenika i plastenika. Danas se sve više primjenjuju u praksi natapanja i imaju tendenciju širenja.

Pokretni su uređaji za natapanje kišenjem pogodni za gotovo sve kulture ratarske, povrćarske, voćarske, cvjećarske i na svim terenima i tipovima tala. Prikladni su za natapanje manjih parcela u individualnom vlasništvu seljaka,

vikendaša i svih onih koji žele na maloj površini zemljišta intenzivirati biljnu proizvodnju. U proizvodnim programima tvornica opreme za natapanje mogu se naći pokretne crpke, cijevi, sve vrste spojnih komada i rasprskivača za uporabu malih, individualnih proizvođača i farmera. S jednim kompletom pokretne opreme za kišenje može raditi sam vlasnik, jedna osoba bez dodatne radne snage.

4.3.1.4. Samopokretni ili samohodni uređaji

U posljednjih dvadesetak godina razvili su se samopokretni ili samohodni strojevi i uređaji za natapanje kišenjem. Njihovom se primjenom smanjilo sudjelovanje ljudskoga rada i troškova premještanja na minimum, a postignuto je učinkovitije i bolje natapanje. Teži se gotovo potpunom isključenju radne snage tijekom rada uređaja, a čovjek, stručnjak samo nadzire operacije uređaja.

Danas ima različitih tehničkih izvedbi i konstrukcija samopokretnih uređaja za kišenje koje se izrađuju u specijaliziranim tvornicama. Bit je rada svih uređaja da se nakon pripreme i montaže na oranicama sami pokreću i obavljaju kišenje. Samopokretni uređaji za kišenje postavljeni su na točkovima ili pokretnim šasijama te se pomiču linijski (naprijed-nazad) ili kružno. Pogodni su za natapanje svih poljoprivrednih kultura, pa čak i voćnjaka i vinograda. Budući da su uređaji sa rasprskivačima izdignuti visoko iznad zemlje, omogućeno je natapanje visokih ratarskih kultura kao što su kukuruz, suncokret i ostale kulture visokoga habitusa.

Suvremena industrija uređaja i opreme za natapanje razvila je vrlo moderne samopokretne strojeve velikih zahvata i učinaka te visoke kvalitete kišenja. Neki od njih natapaju površine veličine 150-200 ha i više, potpuno su automatizirani i programirani tako da bez prisustva čovjeka izvode radne operacije na parceli. S pravom se kod njih može govoriti o mehaniziranom natapanju, odnosno o strojevima za natapanje.

Prema tehničkoj izvedbi i konstrukciji, načinu kretanja i automatiziranosti rada, razlikuju se sljedeće vrste samopokretnih uređaja za natapanje kišenjem:

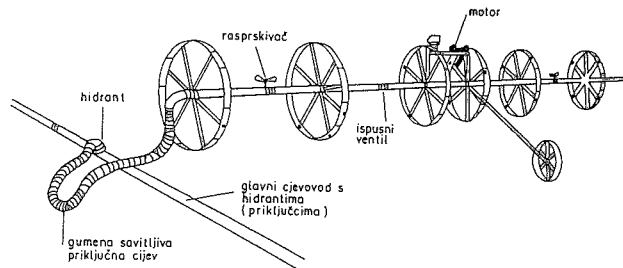
1. Samohodno bočno kišno krilo
2. Samohodna kružna prskalica
3. Samohodni sektorski rasprskivač
4. Samohodno vučeno kišno krilo
5. Samohodni automatizirani uređaji za linearno i kružno kretanje

4.3.1.4.1. Samohodno bočno kišno krilo (BK-krilo)

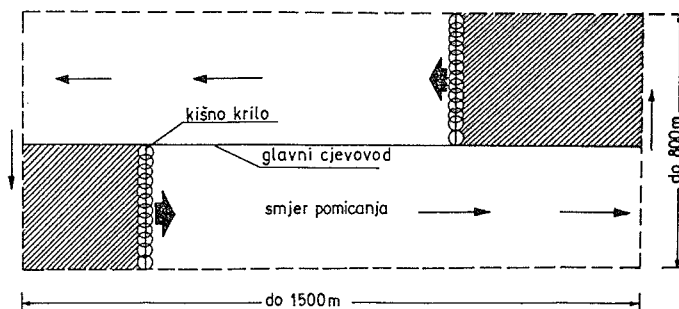
Samohodno bočno kišno krilo (skraćeno: bočno krilo) sastoji se od aluminijskih cijevi, kotača i pogonskoga motora. Cijevi su obično promjera 110-150 mm, dužine 10-12 m koje su postavljene na kotače promjera 1,2-2,0 m (najčešće 1,5 m). Te su cijevi ustvari osovine kotača koji se nalaze na razmaku od 15-20 m.

Rasprskivači su postavljeni na svaku cijev ili svaku drugu cijev, koja ima i ispusni ventil za pražnjenje vode prije pomicanja u sljedeći radni položaj. Širina je zahvata krila promjenjiva, a prilagođava se obliku i veličini parcele i kreće se između 200-400 m. Stroj radi s radnim pritiscima od 3,5-4,5 bari i intenzitetima kišenja 10-15 mm/h.

Bočno kišno krilo spaja se s hidrantima na glavnom cjevovodu pomoću savitljive priključne gumene cijevi. Glavni ukopani cjevovod može biti postavljen u sredini ili sa strane. U radu se može primjenjivati i prijenosni glavni cjevovod od brzospajajućih cijevi, koje imaju priključke u obliku slova "T" sa zasunom (slike 43-1 i 43-2).



Sl. 43-1 Skica samohodnog kišnog krila



Sl. 43-2 Skica natapanja samohodnim kišnim krilom

Razmak priključaka najčešće odgovara razmaku radnoga položaja bočnoga krila. Pri tome treba potpuno osigurati pokrivanje natapne površine, odnosno ravnomjernu raspodjelu vode po cijeloj površini.

Bočno se krilo kreće u smjeru "naprijed-nazad". Nakon okišenja površine početnoga položaja i realizacije obroka natapanja, uređaj se pomiče u novi radni položaj. Isključuje se dovod vode na priključnom mjestu te dolazi do pada tlaka vode u cijevima i automatskoga otvaranja ispusnih ventila na donjoj strani cijevi. Nakon ispuštanja vode, sustav je znatno lakši i može se lakše premještati u novi radni položaj. Kad bi se izvodilo pomicanje krila punih vodom, moglo bi doći do oštećenja i lomova uređaja.

Za premještanje bočnoga krila služi mali motor snage 4-5 kW koji je postavljen u sredini uređaja.

Nakon završetka natapanja jedne kulture ili dolaska uređaja do kraja parcele, on se vraća nazad obavljajući svoje operacije na jednak način u povratku. Moguć je prijenos bočnoga krila i na druge lokacije, odnosno drugu parcelu. U tom je slučaju potrebno uređaj demontirati, prenijeti, a i ponovno montirati, što je dosta naporan zadatak i traži uporabu kvalificirane radne snage.

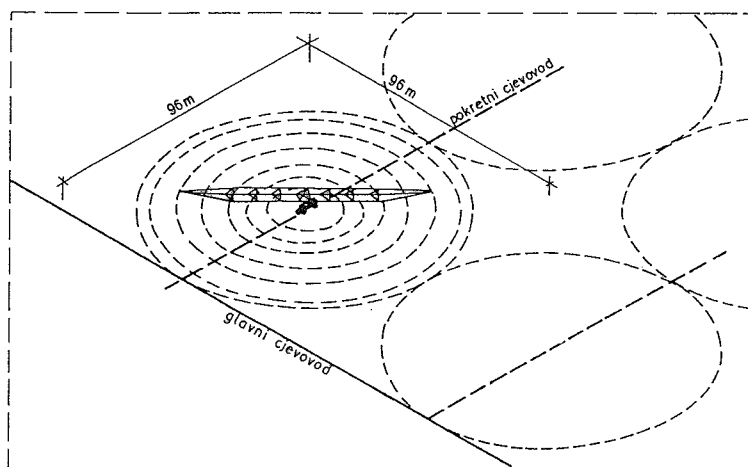
Bočno krilo može se upotrijebiti na svim terenima i parcelama pravilnoga oblika te za kulture niskog uzrasta. Vrlo se uspješno upotrebljava za natapanje povrćarskih kultura, šećerne repe, soje, lucerne, pašnjaka i livada. Jedan uređaj može natapati površinu od 30 do 50 ha s turnusom od 5 do 7 dana.

Pri natapanju na tlima teškoga mehaničkog sastava, često dolazi do propadanja kotača i otežanoga kretanja pa je uređaj pogodniji za tla lakše teksture. Pri natapanju kultura gustoga sklopa dolazi do oštećenja određenoga broja biljaka gaženjem kotačima. Za kulture u redovima mogu se prilagoditi širina i trasa kotača tako da se biljke ne oštećuju.

4.3.1.4.2. Samohodna kručna prskalice ("Boom" uređaj)

Samohodna kručna prskalice (kružna prskalice ili po prototipu Boom uređaj) sastoji se od velikoga kišnoga krila koje je u sredini spojeno u masivan centralni toranj i voznoga postroja na kotačima. Dužina je kišnoga krila različita i kreće se od 38 do 86 m, što uređaju daje velike dimenzije. Krilo se kružno okreće na visini od oko 5 m iznad zemlje, što omogućuje natapanje visokih kultura: voćnjaka, vinograda, kukuruza, suncokreta i drugih visokih kultura.

Uzdruž velikoga kišnoga krila postavljeni su rasprskivači, a zadnji imaju veće domete mlaza vode, što povećava okišenu površinu (slika 43-3).



Sl. 43-3 Skica natapanja pomoću kružne prskalice ("Boom" sustav)

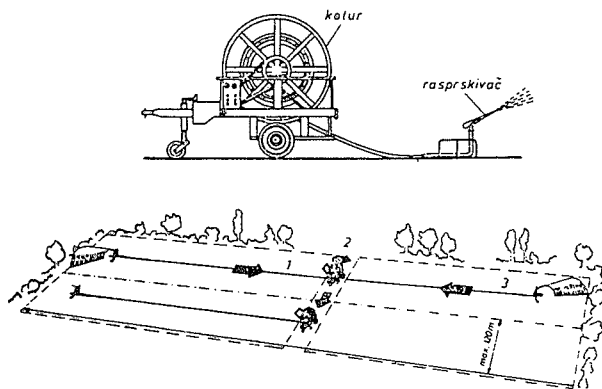
Prema dometu krajnjih rasprskivača i dužini krila, kružna prskalica može natapati parcelu od 0,5 do 1,5 ha iz jednoga radnog položaja. Uređaj radi s velikim radnim tlakom vode (4-7 bari), po čemu je veliki potrošač energije pri dobavi vode i intenziteta kišenja 10-12 mm/h. Vodu sa izvorišta zahvaća i tlači prema kružnoj prskalici vlastiti crpni agregat, koji se može pomicati uzduž vodotoka ili kanala.

Nakon kišenja dijela parcele, premješta se pomoću vlastitoga pogonskog motora (20-30 kw) u sljedeći radni položaj. Postoje i uređaji koji se povlače na novu poziciju traktorom. Stroj se može postaviti po različitim rasporedima natapanja, a najčešće u kvadrat od 90 x 90 m ili 114 x 114 m.

Kružne se prskalice primjenjuju uglavnom na ravnim terenima jer na kosinama i nagnutim površinama postoji opasnost od prevrtanja tih masivnih uređaja. Dobra je strana tog uređaja što omogućuje natapanje svih poljoprivrednih kultura, niskoga i visokoga habitusa. Nedostatak mu je što se uređaj kreće po natopljenoj, raskvašenoj površini pa zbog svoje velike mase i glomaznosti često zapada u blato, pogotovo na težim tlima. Tada dolazi do otežanoga kretanja pa čak i lomova konstrukcije, što je uvjetovalo da se taj stroj za natapanje sve rjeđe upotrebljava.

4.3.1.4.3. Samohodni sektorski rasprskivač ("Tifon" uređaj)

Samohodni sektorski rasprskivač može se još nazvati i samohodni vučeni rasprskivač (ili tifon prema prototipu). To je uređaj za natapanje koji se pokreće povlačenjem cijevi, a kiši samo dio kruga iza sebe (slika 43-4).



Sl. 43-4 Samohodni sektorski rasprskivač tipa "Tifon"

Uređaj se sastoji od velikoga kolotura s namotanom plastičnom cijevi i jednoga rasprskivača velikoga dometa i intenziteta. Kolotur je postavljen na pokretnoj šasiji u obliku prikolice koja služi za prijevoz uređaja na oranicu te na sljedeće radne položaje.

Rasprskivač je priključen na kraju cijevi, a nalazi se na pomičnom postolju u obliku skija (saonica) ili na kotačima. Namješten je tako da može kišiti određeni sektor površine, a ne cijeli krug, što mu omogućuje uvijek kretanje po suhome tlu. Na taj način nema opasnosti od propadanja u mokro i raskvašeno tlo.

Na početku natapanja pomično postolje sa vučenim rasprskivačem odvlači se na suprotni kraj parcele traktorom. Pri tome se plastična cijev odmata s kolotura sve do kraja svoje dužine. Uređaj se pomoću savitljive cijevi spaja na hidrant cjevovoda koji dovodi vodu na parcelu. Sustav se stavlja u pogon pokretanjem crpnog agregata na izvorištu i tlačenjem vode prema rasprskivaču. Okretanjem kolotura sada dolazi do namatanja i povlačenja cijevi koja prema prikolici vuče rasprskivač. Pokretanje kolotura obavlja voda iz sustava pod tlakom (klipni cilindar ili vodena turbina), tako da nije potrebna posebna energetska jedinica za namatanje cijevi.

Kada rasprskivač stigne do kolotura, penje se na šasiju i automatski prestaje raditi, odnosno cijeli uređaj zastaje u radu. Iza toga se može cijeli uređaj okrenuti na suprotnu stranu parcele i traktorom odvući rasprskivač u novi radni položaj lagano odmatajući cijev. Nakon obavljena kišenja na obje strane staze po kojoj se kreće tifon, on se premješta na novo stajalište također traktorom.

Cijevi koje se primjenjuju kod tifona, od tvrde su plastike (PE) raznoga promjera od 90 do 140 mm te dužina od 200 do 500 m.

Brzina namatanja cijevi na kolotur može se prilagoditi i kreće se od 15 do 50 m/h, tako da se za 22 sata rada može s jednim uređajem okištiti površina od 0,7 do 5,0 ha obrokom natapanja od 10 do 40 mm vode. Intenzitet kišenja i količine vode prilagođuju se pomoću brzine namatanja cijevi, a time i vrijeme potrebno za izvođenje obroka natapanja.

Vučeni rasprskivač ima zahvat kišenja od 80 do 140 m, radni tlak 4-7 bari na rasprskivaču, protok vode od 35 do 130 m³/h i intenzitet kišenja između 12 i 50 mm/h. To su rasprskivači s jednom mlaznicom promjera 22-36 mm, koji stvaraju krupne kapljice umjetne kiše i dometom mlaza od 40 do 70 m i više. Mogu biti postavljeni na različitim visinama iznad terena, a u zavisnosti od kulture koja se natapa. Na primjer, za ratarske se kulture rasprskivači nalaze na visini od oko 1,0-1,5 m, za natapanje voćnjaka iznad krošnje drveća 3,0-3,5 m, a za kišenje vinograda i voćnjaka ispod krošnji na 0,5-0,7 m.

Samohodni sektorski rasprskivači primjenjuju se sve više za natapanje svih vrsta poljoprivrednih kultura. Naročito su pogodni za kulture u širokim redovima (voćnjaci, vinogradi, voćni i šumski rasadnici) i za većinu ratarskih, povrćarskih i krmnih kultura. Zbog svoje pokretljivosti, praktičnosti i jednostavnosti rukovanja, danas se masovno primjenjuju gotovo na svim kulturama. S tim uređajima mogu raditi sami proizvođači, farmeri i seljaci ne koristeći se tuđom radnom snagom. Jedan čovjek s traktorom može posluživati nekoliko tifona tijekom njihova rada na poljima.

Radno su ekstenzivni jer je potrebno vrlo malo radne snage po jedinici natapane površine, ali su veliki potrošači energije jer uređaji rade s visokim tlakovima (6-12 bari) u cijevnom sustavu.

Posljednjih se nekoliko godina sve više primjenjuju i kod nas na poljoprivrednim kombinatima, velikim imanjima, ali i na privatnom posjedu. Jedan uređaj može natapati parcele različitih veličina od 3 do 50 ha i više, s promjenjivim turnusima i obrocima natapanja.

Danas se sigurno najviše upotrebljava samohodni vučeni rasprskivač za natapanje na poljoprivrednim parcelama u svijetu, Europi a i kod nas u Hrvatskoj. Tifoni se proizvode i u "mini" izvedbi s promjerom cijevi od 40 do 50 mm i dužinama oko 150 m do velikih strojeva promjera cijevi do 140 mm i dužina do 500 m.

Problemi u kišenju sa tifonom nastaju pri vjetrovitu vremenu. Tada dolazi do skraćivanja mlaza i nejednolike raspodjele vode te je potrebno izbjegavati (prekinuti) rad za vjetrovita vremena.

Do problema pravilnoga kišenja dolazi već kod vjetra ugodne jačine od 3 bofora (brzine 3,6-5,4 m/s), te se predlaže prekid natapanja ili noćni rad kada je manja vjetrovitost i isparavanje vode.

4.3.1.4.4. Samohodno vučeno kišno krilo ("Dusenwagen" uređaj)

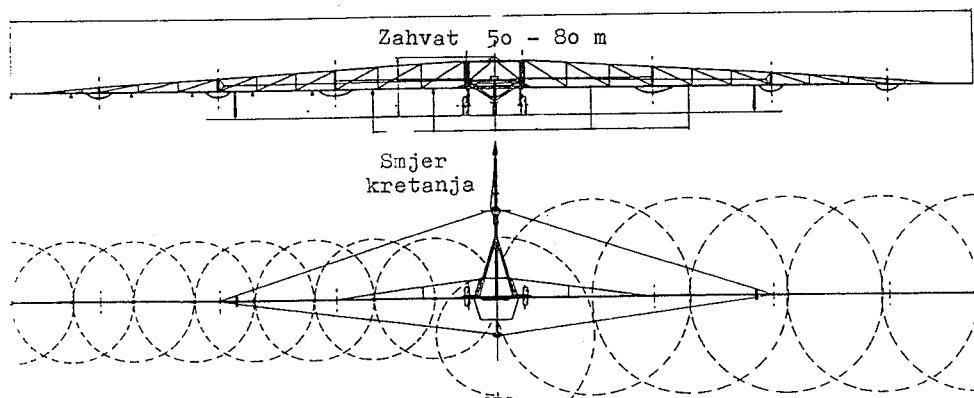
Samohodno je vučeno kišno krilo (skraćeno: vučeno kišno krilo) poboljšana konstrukcija uređaja vučenoga, sektorskog rasprskivača. Sastoji se od velikoga kolotura s namotanom plastičnom cijevi i kišnoga krila priključenoga na kraju cijevi. Kišno krilo instalirano je na postolju s tri kotača koje pokreće (vuče) cijev pri namatanju na kolotur. Princip rada i osnovna konstrukcija vučenoga kišnoga krila jednaki su kao kod samohodnoga sektorskoga rasprskivača (tifon). Taj je stroj ustvari rezultat razvoja i poboljšanja uređaja za natapanje kišenjem. Umjesto jednoga sektorskog rasprskivača kod tifona, tu je na pokretnom postolju učvršćena aluminijska cijev (promjera 50-80 mm), na kojoj se nalazi serija rasprskivača maloga intenziteta kišenja.

Širina (zahvat) vučenoga kišnoga krila jest 50-80 m, a rasprskivači (mini rasprskivači-dizne) rade s malim tlakovima od 1,0 do 1,5 bari. Oni daju vrlo sitne kapljice vode i finu kišu, maloga do srednjeg intenziteta (5-15 mm/h).

Svi tipovi uređaja za kišenje traže znatno manje energije (1 do 50%) od samohodnih kružnih prskalica i sektorskih rasprskivača te su zato pogodniji u primjeni. Osim što štede energiju, vučena kišna krila zbog bolje raspodjele kiše troše oko 25% manje vode u odnosu prema drugima samohodnim uređajima. Raspored je vode po širini zahvata krila vrlojednačen, a vjetar manje utječe na ravnomjernost kišenja. Visina je vučenoga kišnoga krila iznad zemlje od 0,5 do 1,0 m, a kod najnovije opreme može se i prilagoditi prema kulturama koje se natapaju (do 3,0 m visine). Budući da se voda daje odmah iznad samih biljaka i u obliku fine kiše, sve biljke dobivaju podjednaku količinu vode.

Jedan uređaj vučenoga kišnoga krila može natapati parcele veličine 25-70 ha raznolikih kultura. Rasprskivači (dizne) različitih promjera otvora mogu se mijenjati, odnosno finoća kapljica kiše može se prilagođivati prema kulturama koje se uzgajaju. Intenziteti kišenja i količine dodane vode na površinu tla mogu se prilagoditi promjenom brzine kretanja (povlačenja) kišnoga krila (slika 43-5).

Rad je uređaja na tabli jednak ili sličan prilagođivanju i rada tifona. Na početku natapanja vučeno kišno krilo dovlači se traktorom suprotni kraj parcele u polazni položaj. Spajanjem uređaja na hidrante ili ventile preko savitljive cijevi i stavljanjem vode u sustavu pod tlak, započinje kišenje uzduž krila. Zbog namatanja cijevi na kolotur, dolazi do povlačenja kišnoga krila prema prikolici tako da se operacija kišenja odvija neprekinuto u kretanju. Brzina kretanja vučenoga kišnoga krila može se prilagođivati između 20 i 50 m/h.



Sl. 43-5 Skica samohodnoga vučenoga kišnoga krila - Dusenwagena

Prilazom kišnoga krila do prikolice s koloturom, isključuje se uređaj iz rada i premješta traktorom na suprotnu stranu parcele ili u novi radni položaj.

Samohodna vučena kišna krila mogu se priključiti na svaki kompatibilan tifton uređaj, odnosno, moguća je kombinacija sektorskoga rasprskivača ili vučenoga kišnog krila na istu osnovicu stroja.

4.3.1.4.5. Samohodni automatizirani uređaji za kišenje (Hidromatici)

Samohodni automatizirani uređaji za kišenje jesu strojevi velikih radnih učinaka, a pogodni su za natapanje velikih parcela (100-300 ha). Primjenjuju se za natapanje velikih i pravilnih površina poljoprivrednih kombinata ili velikih imanja farmera. Svi su uređaji za natapanje vrlo glomazni i oni su najveći strojevi na poljoprivrednim površinama, te najsuvremenija dostignuća tehnike i elektronike. U radu su potpuno automatizirani i kompjutorizirani pa se zato i nazivaju i hidromaticima, vodomaticima ili elektromaticima.

Uređaji se sastoje od sljedećih glavnih dijelova: pokretnih tornjeva (segmenata) na kotačima, cijevi kišnoga krila, rasprskivača malog intenziteta i radnoga tlaka na kišnome krilu. Pokretni su tornjevi visine 3-5 m postavljeni na gumenim kotačima, a svaki se pokreće pomoću vlastitog elektromotora. Brzina je kretanja svakoga tornja individualno regulirana i sinhronizirana kompjutorski s ostalim tornjevima hidromatika.

Uređaji kiše tijekom neprekinutoga kretanja, a pomicanje tornjeva prema naprijed odvija se vrlo polagano i jednolično da ne bi došlo do lomova konstrukcije stroja te da bi se održao pravac kretanja. Tornjevi se nalaze na određenim razmacima jedan od drugoga (30-50 m) i može ih biti više (5-20 komada). Širina zahvata hidromatika, koja može iznositi od 400-1000 m, ovisi o njihovom broju. Na pokretnim je tornjevima ovješena posebnom konstrukcijom cijev kišnoga krila, koja napaja rasprskivače vodom. Danas se upotrebljavaju cijevi od čvrstog aluminijskog ili limene pocinčane cijevi, promjera 12-150 mm. Na cijevima su ugrađeni rasprskivači na određenim razmacima od 10 do 15 m.

Rasprskivači koji su danas u upotrebi na hidromaticima, maloga su intenziteta (5-15 mm/h) i protoka vode, a rade s malim tlakovima vode (0,7-1,5 bari). Zato su ti strojevi za natapanje mali potrošači energije, što im daje dodatnu prednost pred drugom opremom u praksi.

Samohodni automatizirani uređaji za natapanje kišenjem dijele se prema načinu kretanja tijekom rada na linearne i kružne. Tako su u praksi natapanja danas poznata dva osnovna tipa hidromatika;

- uređaj za linearno kišenje,
- uređaj za kružno kišenje

Sastavni su elementi i dijelovi obaju tipova hidromatika jednaki ili slični, a razlikuju se samo u načinu kretanja. Međutim, oba su tipa automatizirana i kompjutorizirana te se svi tehnički parametri rada mogu programirati na zapovjednom mjestu. Na početku rada programira se brzina kretanja uređaja, a time intenzitet kišenja i vrijeme realizacije obroka natapanja. Oni rade bez prisustva čovjeka, odnosno on ih samo nadzire i programira prema agronomskim zahtjevima kulture koja se natapa. Mogu raditi non-stop, neprekinuto danju i noću te tako maksimalno iskoristiti svoje tehničke kapacitete.

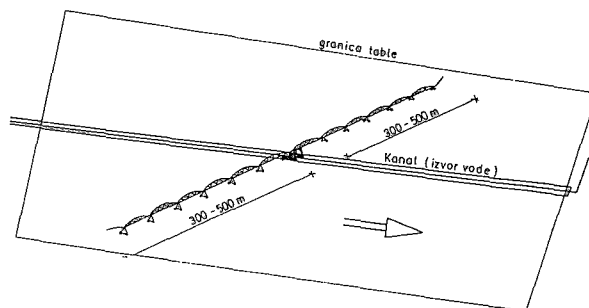
Samohodni i automatizirani uređaji za linearno i kružno kretanje mogu natapati gotovo sve vrste poljoprivrednih kultura, i niskoga i visokoga uzrasta, ali uglavnom na ravnijim terenima.

Uređaj za linearno kišenje (linearni ili "renger" tip)

Linearni strojevi za automatizirano natapanje kreću se pravocrtno uzduž parcele koju kiše ("naprijed-nazad" kretanje). Kao izvorište vode služi im obično otvoreni kanal koji je po sredini table ili uz jednu njenu stranicu. No, postoje i linearni strojevi za kišenje koji se vodom napajaju dovodnim cjevovodima (pod tlakom), a priključuju se na hidrante automatizirane tijekom kretanja uređaja.

Ako se uređaji snabdijevaju vodom iz otvorenih kanala, tada imaju posebnu energetska jedinicu sa dizel-motorom, koji pokreće crpku za vodu i

elektrogenerator za stvaranje električne struje. Energetska je jedinica na voznoj šasiji (na kotačima), koja se kreće poljskim putem uz otvoreni kanal i vođena je "pipanjem" čeličnog užeta razapete uzduž puta (slika 43-6).



Sl. 43-6 Skica samohodnoga automatiziranoga stroja za natapanje kišnjem linearnoga kretanja

Tijekom kretanja crpni agregat uzima vodu iz kanala, stavlja je pod tlak i tlači kroz kišno krilo do rasprskivača. Istovremeno proizvodi električnu struju koja preko releja pogoni elektromotore na tornjevima te se tako odvija ravnomjerno pomicanje stroja prema naprijed.

Uređaji za linearno kišenje mogu se sastojati od jednoga ili dvaju dijelova (jednoga ili dvaju krila), a tada zahvaćaju tablu širine do 2 x 500 m i dužine do 2000 metara i više, što znači da jedan stroj natapa površinu od oko 200 ha. Stroj zahtijeva parcele pravilnog oblika (pravokutnoga) te se ona tako projektira i priprema prije postavljanja uređaja na terenu. Također se mora načiniti i poljski put uz kanal, po kojemu se kreće crpni agregat s generatorom električne energije.

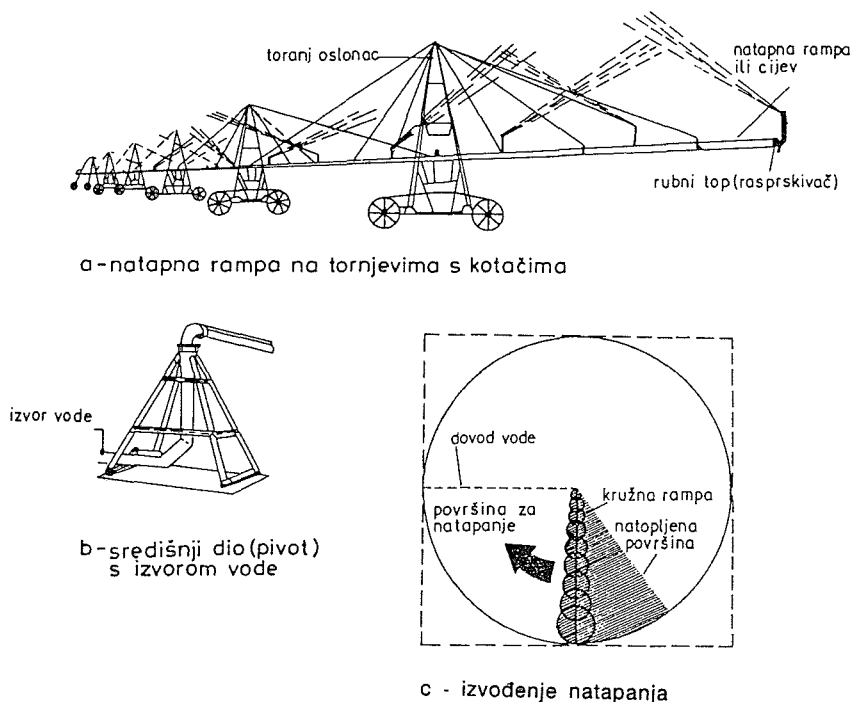
Uređaj za kružno kretanje ("centar pivot" tip)

Kružni strojevi za automatizirano natapanje učvršćeni su jednim krajem kišnoga krila, koje rotira oko svog centra (kreću se u krug) kišćeci kružnu površinu. Izvorište je vode u središtu (stožer) sustava, a obično je to hidrant ili crpni agregat (slika 43-7).

Središnji dio stroja ili "pivot" postavljen je na betonsko postolje, u središtu kružnice, gdje su dostupni voda i struja potrebni za pokretanje tornjeva. Cijeli se uređaj pokreće tako što svaki toranj (segment) ima svoj elektromotor, a njihove su brzine sinhronizirane.

Širina je zahvata uređaja za kružno kretanje raznolika i uobičajeno se projektira prema topografiji i veličini parcele te iznosi od 300 do 500 m i

više. Dužina je kišnoga krila ustvari polumjer kruga koji taj stroj okišava, a može natapati kružnice površine 30-200 ha. Između dva centar pivot stroja ostaje neokišena površina, što je nedostatak tih uređaja. No, s druge strane mogu se primjenjivati na lagano nagnutim terenima (nagiba 5-7%), što nije moguće s linearnim tipovima strojeva.



Sl. 43-7 Skica samohodnoga automatiziranoga stroja za natapanje kišnjem kružnoga kretanja

I strojevi kružnoga kretanja programiraju se također na zadani intenzitet kišenja i obrok natapanja regulacijom brzine okretanja kišnoga krila te rade samostalno i bez prisustva čovjeka. Zbog svoje izuzetne praktičnosti u radu, uređaji su za kružno kretanje vrlo rasprostranjeni na velikim površinama širom svijeta na različitim poljoprivrednim kulturama.

2. Neke usporedbe tehničkih i ekonomskih parametara između samohodnih uređaja za kišenje

Samohodni uređaji za kišenje razlikuju se međusobno po konstrukciji, izvedbi, načinu kretanja i natapanja. Ali se također razlikuju u nekim tehničkim i ekonomskim parametrima. To su potrošnja energije i vode te vrijednosti uloženoga kapitala u opremu i potrebi ljudskoga rada tijekom

operacije natapanja na parceli. Zato je značajno za projektante sustava kišenja, agronome, poljoprivrednike i farmere poznavati neke osnovne poredbene podatke između pojedinih suvremenih uređaja za kišenje.

Sve zainteresirane stručnjake, vlasnike imanja i opreme za kišenje ponajprije zanimaju sljedeći podaci o samohodnim strojevima za kišenje:

- potrošnja energije i vode
- potrebe za radnom snagom i uloženi kapital u opremu

Za međusobno uspoređivanje tih podataka i odnosa mogu poslužiti pokazatelji iz istraživanja asortimana i izbora uređaja za kišenje na svjetskom i europskom tržištu (prema Sourell, II. i sur. 1989).

Potrošnja energije i vode

Najveći su potrošači energije samohodni sektorski rasprskivači (Tifon) i samohodna kružna prskalica (Boom) jer rade s vrlo visokim tlakovima vode, koji se kreću od 6 do 12 bari na crpnom agregatu pa do 4-7 bari na rasprskivačima. Oba ta uređaja troše i znatne količine vode (100-120 mm/ha) tijekom vegetacije jer im je koeficijent iskorištenja vode malen, oko 0,6-0,7.

Samohodno vučeno kišno krilo (Dusenwagen) troši znatno manje energije (oko 50%) nego prva dva stroja jer radi s manjim tlakovima vode u cijevima (1,0-1,5 bari). Njegova potrošnja energije iznosi približno 400-500 kw/ha, uz manju količinu vode koja se kreće između 80-90 mm/ha tijekom vegetacije intenzivnijih kultura. To znači da je koeficijent iskorištenja vode bolji za oko 25% i iznosi 0,7-0,8.

Samohodni automatizirani uređaji za kišenje (linearni i kružni) troše najmanje energije jer rade s vrlo malih tlakovima u cijevnim sustavima (0,7-1,5 bari). Njihova je potrošnja 300-350 kw/ha površine koja se natapa a za približno jednake količine vode kao kod vučenoga kišnoga krila, 80-90 mm/ha. Koeficijent je iskorištenja zahvaćene vode također jednak i kreće se između 0,7-0,8.

Od ukupno uložene energije na motoru crpke kod samohodnih uređaja za kišenje, oko 40% se troši na zahvaćanje vode i stvaranje pritiska u sustavu. Nešto oko 25% energije gubi se na savladavanje otpora tečenju kroz gubitke tlaka i pokretanju uređaja po parceli tijekom rada. Dakle, svega 30% korisne energije dolazi do rasprskivača, gdje služi za njegov rad i raspodjelu vode u obliku kišnih kapljica.

Potreba za radnom snagom i kapital uložen u opremu

Vrijednost uloženoga kapitala u opremu te cijena uređaja po jedinici površine, vrlo je značajan ekonomski parametar, a zavisi od veličine parcele koja se natapa.

Najveća su kapitalna ulaganja (investicije) po jedinici natapne površine kod samohodnih automatiziranih uređaja linearnoga i kružnoga tipa. To je zbog tehničke složenosti, glomaznosti sustava i potpune automatizacije svih operacija. Kapitalna ulaganja pri opremanju natapnih polja se kreću od 4000-4500 DM/ha. To su značajne investicije u opremu, koja zahtijeva i prikladno održavanje. Ali su zato ti strojevi radno ekstenzivni i neznatno iskorištavaju ljudski rad u vrijednostima 0,4-0,6 h/ha u cijeloj vegetaciji intenzivnih kultura koje se natapaju.

Samohodno vučeno kišno krilo (Dugenwagen) ima kapitalno ulaganje između 1500-2000 DM/ha natapane površine. Budući da je ono sastavljeno iz kolotura na prikolici kao i sektorski rasprskivač te širokozahvatnoga kišnoga krila, to je i nešto skuplje od tifon stroja. Potrebe za ljudskim radom kreću se od 1,8 do 2,2 h/ha u cijeloj vegetaciji.

Samohodni sektorski rasprskivač (Tifon) košta oko 1200-1500 DM/ha natapane površine, a potrebe su za ljudskim radom pri posluživanju stroja između 1,5-1,8 h/ha u vegetaciji kulture koja se natapa.

LITERATURA

1. Achtnich, W. : Beweserungslandbau. Ulmer, Stutgard 1980.
2. Sceratzki, W.: Methoden zur Bestimmung von Bodenkennwerten und Einsatzzeitpunkt für die Beregnung. Wasser und Boden 18 (1966.), H.4, s 95-98.
3. Constantinidis, C.: Bonifiche 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., s. 488-508.
9. Sourell, H., Thormann, H.: Verfahren der Feldberegnung-Rationalisierung. Kuratorium für Landwirtschaft (RKL), s. 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.