

DRUŠTVO ZA ODVODNJAVANJE I NAVODNJAVANJE HRVATSKE
Z A G R E B

PRIRUČNIK
ZA HIDROTEHNIČKE MELIORACIJE

I KOLO
ODVODNJAVANJE

KNJIGA 4.
DETALJNA MREŽA

Z A G R E B 1987

DRUŠTVO ZA ODVODNJAVANJE I NAVODNJAVANJE HRVATSKE — ZAGREB

P R I R U Č N I K
ZA HIDROTEHNIČKE MELIORACIJE

KNJIGA 4.

Glavni i odgovorni urednik:
Prof. dr ZORKO KOS, dipl. inž. građ.

Redakcijski odbor:
prof. dr ZORKO KOS, dipl. inž. (predsjednik); prof. dr BOŽIDAR EKL, dipl. inž.;
prof. dr FRANE TOMIĆ, dipl. inž.; dr JOSIP MARUŠIĆ, dipl. inž.;
IVAN OCELIĆ, dipl. inž.; BRANKO PEJAKOVIĆ, dipl. inž.

Izdavač:
DRUŠTVO ZA ODVODNJAVANJE I NAVODNJAVANJE HRVATSKE — ZAGREB
Proleterskih brigada 220

Izdavački savjet:
BRANKO BERGMAN, dipl. inž. (predsjednik); IVAN GIGIĆ, dipl. inž.; MLADEN
MARIĆ, dipl. inž.; MARTIN PILAR, dipl. inž.; TOMISLAV RAMLJAK, dipl. inž.;
JOSIP RECHNER, dipl. inž.; ROKO ŠKERGO, dipl. inž.; ANTON ŠVARC, dipl. inž.;
dr JOSIP ZMAIĆ, dipl. inž.

Recenzenti:
Doc. dr STJEPAN MAĐAR
MARTIN PILAR, dipl. inž. građ.

Tehnički urednik:
BRANKO VUJASINOVIĆ, dipl. inž.

Lektor:
IVANKA GALOVIĆ, prof.

Naklada 1000 primjeraka

Tisak:
RO »TIPOGRAF« — Rijeka

DRUŠTVO ZA ODVODNJAVANJE I NAVODNJAVANJE HRVATSKE — ZAGREB

PRIRUČNIK

ZA HIDROTEHNIČKE MELIORACIJE

I kolo
ODVODNJAVANJE

Knjiga 4.
DETALJNA MREŽA

ZAGREB, 1987.

PREDGOVOR

Kao što je u predgovoru trećoj knjizi bilo najavljeno, ona s ovom, koja se sada predstavlja javnosti, čini u nekim područjima jedinstvenu cjelinu. To se u prvom redu odnosi na građu koja obrađuje osnovnu koncepciju planiranja, te na zajedničke podloge za definiranje kapaciteta pojedinih građevina, kao i sustava u cjelini. Iz skupa hidroloških podloga predstavlja se metoda koja uključuje zajedničko djelovanje volumena osnovne i detaljne mreže na kapacitet sustava, koja je do sada u nas malo primjenjivana. Dakako, u tom području postoji veći izbor, kako metoda koje su već korištene kod nas u praksi, tako i onih koje se mogu naći u literaturi, na što se po potrebi čitalac upućuje.

Posebno su detaljno obrađeni različiti faktori sredine, naročito tla, na izbor tipa detaljnog odvodnog sustava, odnosno drenaže. Ako se uzme u obzir građa koja je o toj temi već objavljena u prethodnim izdanjima, posebno u knjizi 2, onda se slobodno može konstatirati da opseg obrade ove teme zadovoljava okvire Priručnika. Uredništvo je smatralo potrebnim ovu materiju obraditi s obzirom da su u našoj zemlji, posebno u Hrvatskoj, u toku veliki radovi ove vrste koji će se nastaviti bar kroz još dva desetljeća. Čitalac će ocijeniti da li je u tome postignut planirani cilj.

Čitalac će primijetiti da se u ovom broju po prvi puta pojavila tema koja obrađuje problematiku i opisuje radove koji nisu karakteristični za našu zemlju. S obzirom na značajnu ulogu i veliku aktivnost naše zemlje na azijsko-afričkom kontinentu, vjerojatno će se ovakve teme i ubuduće pojavljivati kao odraz sve tješnje suradnje s tim područjem i na privrednom planu.

S ovom knjigom završava se dio prvog kola koji se odnosi na planiranje i projektiranje odvodnih melioracijskih mreža. Preostale dvije knjige koje će obrađivati građenje i održavanje bit će osobito korisne vodoprivrednim radnim organizacijama, pa se već duže vremena očekuju s velikim zanimanjem.

U Zagrebu, veljače 1987.

Prof. dr Zorko Kos

ZDRUŽENO DIMENZIONIRANJE OSNOVNE I DETALJNE OTVORENE ODVODNE MREŽE

Prof. dr ZORKO KOS, dipl. ing. građ.
EDO KOS, dipl. ing. građ.

1. OPĆENITO

Za proračun odvodnih melioracijskih mreža danas se u svijetu najviše primjenjuje tzv. kinematska metoda, kojoj je temelje postavio još 1879. god. poznati hidrotehničar Domenico Turazza, pa se često naziva i njegovim imenom. Po toj se metodi kanalska mreža smatra kao niz puteva koje voda prevaljuje od trenutka kada padne na površinu tla sve dok ne napusti završni presjek hidromelioracijske mreže. Budući da joj je osnovna koncepcija translatorno gibanje vode, često se naziva kinematskom metodom. Od tada pa do danas ova se metoda u osnovi nije izmijenila, ali se u znatnoj mjeri usavršio postupak za određivanje pojedinih parametara, posebno mjerodavne oborine, što je dijelom i rezultat savršenijih mjerenja podataka, te razvoj ove znanosti u cjelini.

Godine 1923. drugi poznati hidrotehničar Umberto Puppini objavio je osnove nove metode proračuna melioracijskih mreža koja uzima u obzir da se, uspoređo s protjecanjem vode kroz neki presjek uzvodni dio mreže postepeno puni vodom, pa je, prema tome, odvodna mreža, ne samo niz puteva koje voda prelazi za vrijeme protjecanja, već istovremeno fungira kao veliki razgranati rezervoar koji ublažuje vrh maksimalnog vodnog vala. Ova se metoda u znatnoj mjeri približava stvarnim uvjetima protjecanja i daje realnije rezultate od prve, pa se u zadnje vrijeme sve više upotrebljava.

2. OSNOVNI ELEMENTI KINEMATSKE METODE

Radi boljeg razumijevanja prikaza ove metode najprije ćemo u najkraćim crtama prikazati osnove proračuna po metodi Turazze. Osnovni izraz za specifični protok, odnosno modul odvodnje ima slijedeći već dobro poznati oblik:

$$q = 0,1157 \frac{K \cdot m \cdot h}{t_p + t_k} [1/s/ha] \quad (1)$$

gdje je:

q — specifični dotok u 1/s/ha (ako se želi računati u m³/s/km², onda treba izraz podijeliti s 10)

K — koeficijent otjecanja

m — koeficijent maksimalnog vodnog vala

- h — mjerodavna oborina u m/m iz funkcije $h = a \times t_p^n$
 t_p — vrijeme trajanja oborine (kiše)
 t_k — kritično vrijeme (vrijeme koncentracije)

U nastavku ćemo ukratko opisati značaj i način proračuna ovih veličina, kako bi njihova primjena bila što jednostavnija.

Koeficijent otjecanja je, kao što je poznato, odnos između ukupno palog i ukupno oteklag volumena vode sa slivnog područja koje gravitira nekom određenom prosjeku odvodnog kanala, a u vremenu od $t_p + t_k$. Prema nekim mjerenjima u Italiji koje prikazuje Pasini, u vremenu $(t_p + t_k)$ otječe 90 % palih oborina, odnosno protok na promatranom presjeku, a na kraju perioda $(t_p + t_k)$ bit će svega oko 1/10 od maksimalno zabilježenog. Za praktične se potrebe ovo može zanemariti, a ova vrijednost prihvatiti kao konačni koeficijent otjecanja. Velik broj faktora koji utječu na veličinu koeficijenta otjecanja, kao i njegova zavisnost u vremenu, posve onemogućuju da se izrazi algebarskom formulom, te ga za svako područje treba odrediti mjerenjem.

Kritično vrijeme, odnosno vrijeme koncentracije je, po definiciji, ono vrijeme koje je potrebno da neka vodena čestica pređe put od najudaljenije točke slivnog područja do promatranog presjeka. To zavisi od velikog broja činilaca od kojih su najvažniji veličina, oblik i pad slivne površine. Za izračunavanje ove veličine (u pomanjkanju mjerenja) do sada je predložen velik broj izraza, od kojih su, čini se, za prilike Padske nizine najuspjeliji slijedeći:

$$t_k = 0,315 \sqrt{F} \quad (\text{Ventura}) \quad (2)$$

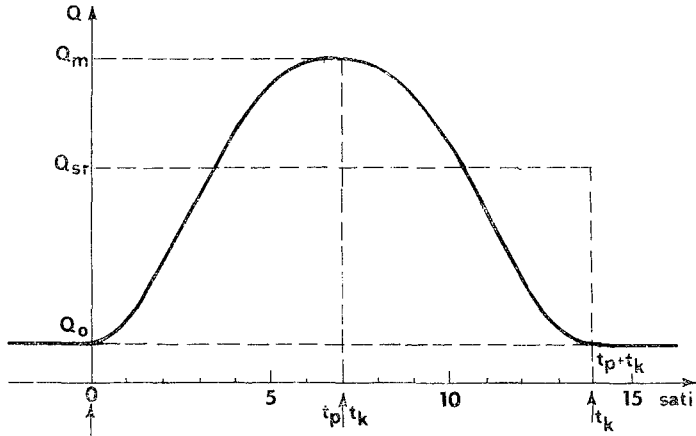
$$t_k = 0,24 \sqrt{F \cdot L} \quad (\text{Pasini}) \quad (3)$$

$$t_k = 0,0053 \frac{\sqrt{F}}{\sqrt{J}} \quad (\text{Ventura}) \quad (4)$$

$$t_k = 0,0045 \frac{\sqrt{F \cdot L}}{\sqrt{J}} \quad (\text{Pasini}) \quad (5)$$

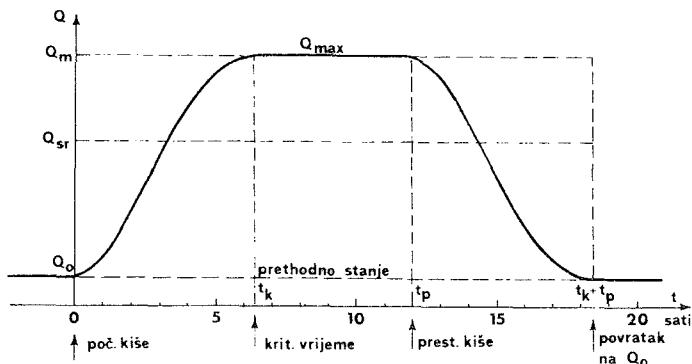
U gornjim izrazima t_k je izraženo u danima, F u kvadratnim kilometrima, a L (dužina toka) u kilometrima. Prve dvije formule daju dobre rezultate za terene s ravničastom konfiguracijom, dok druge dvije za terene sa znatnijim padom. Rezultati dobiveni po prednjim formulama su utoliko točniji, ako se otjecajne prilike promatranog područja više približavaju onima na kojima su te formule dobivene. Prema G. Ongaru svi ovi izrazi daju dovoljno točne rezultate za slivna područja veća od 40 km^2 , osrednje točne rezultate za površine između 40 i 20 km^2 , dok za sve površine manje od 20 km^2 dobiveni rezultati nisu pouzdani; tada treba račun dopuniti eksperimentalnim podacima. Kod moderno izgrađenih odvodnih melioracijskih mreža i uređenog tla po suvremenim principima za visoke prinose, stvarno kritično vrijeme bit će redovito manje od onog izračunatog po ovim formulama, budući da su današnji elementi odvodnje (dubina kanala, sniženje podzemne vode, ravnanje parcela i sl.) mnogo efikasniji od onih na kojima su te formule izvedene (u vremenu između 1890. i 1910). U kasnijim istraživanjima pokušalo se kritično vrijeme izraziti kao interval između maksimuma pljuska i maksimuma protoka. Treba, međutim, naglasiti da ova veli-

čina ne bi odgovarala definiciji kritičnog vremena koje se navodi u osnovnom izrazu Turazze, i da bi, prema tome, izmijenila rezultate. Slični pokušaji da se kritično vrijeme izrazi kao interval prestanka kiše i kraja vodnog vala, ostali su bezuspješni.



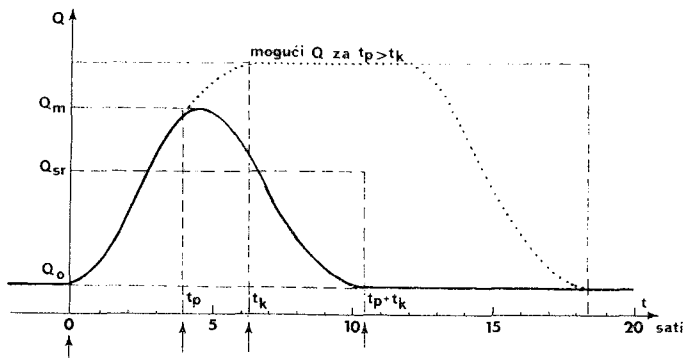
Sl. 1. Dijagram otjecanja za slučaj $t_p = t_k$

Koeficijent maksimalnog vodnog vala predstavlja $\frac{Q_{\max}}{Q_{sr}} = m$ (odnos maksimalnog i srednjeg protoka) za odabrani presjek, a u trajanju ($t_p + t_k$). Shodno osnovnoj koncepciji kinematske metode, njegova se vrijednost mijenja u ovisnosti o trajanju kiše t_p i kritičnog vremena t_k . Ne ulazeći potanje u analizu tih mogućnosti, ovdje ćemo samo napomenuti da za osnovna tri slučaja, tj. kada je trajanje kiše jednako, veće ili manje od kritičnog vremena koeficijent m bit će jednak 2, odnosno nalazit će se između 1 i 2, tj. za $t_p = t_k$, $m = 2$, dok za $t_p > t_k$ i $t_p < t_k$ m je uvijek između 1 i 2. Ova tri karakteristična slučaja prikazana su na slikama 1, 2 i 3.



Sl. 2. Dijagram otjecanja za slučaj $t_p > t_k$

Prema mnogobrojnim ispitivanjima u Italiji dokazano je da se vrijednost ovog koeficijenta kreće između 1,3 i 1,6, pa se preporuča primjena vrijednosti od 1,5. Ipak, treba naglasiti da to i nije najkritičniji slučaj. Projektirana odvodna mreža bit će proračunata na najopasniji mogući slučaj maksimalnog protoka jedino u slučaju ako je $m = 2$, odnosno kada imamo poznato otjecanje po trokutu (sl. 1). Dakako, iz ekonomskih razloga se to najčešće ne primjenjuje.



Sl. 3. Dijagram otjecanja za slučaj $t_p < t_k$

3. OSNOVNE POSTAVKE METODE AKUMULACIJE

Već je u uvodu istaknuto da ova metoda polazi od činjenice da pojavljivanju nekog vodnog vala (npr. maksimalnog) prethodi postepeno punjenje dionica kanala ili mreže uzvodno od promatranog presjeka. U stvari, pojava vodnog vala je nemoguća bez prethodnog punjenja mreže, jer to daje potreban hidraulički tlak protjecanju. Stoga teoretsku osnovu za izvod izraza ove metode čini poznata jednadžba kontinuiteta primijenjena na maksimalni protok neke određene melioracijske mreže. Po tom principu ukupni volumen vode koji je otekao s razmatrane melioracijske površine u nekom određenom vremenskom razdoblju jednak je zbroju volumena koji je u istom vremenu protekao kroz promatrani presjek i koji se akumulirao u uzvodnom dijelu mreže.

3.1. Jednadžba kontinuiteta

Radi pojednostavljenja problema pretpostavit ćemo da je u svim presjecima mreže osiguran jednolik tok vode, kao i jednaki ostali hidraulički uvjeti.

Slijedom toga, osnovna diferencijalna jednadžba kontinuiteta ima slijedeći oblik:

$$p \cdot dt = q \cdot dt + dv \quad (6)$$

gdje je:

p — dotok vode iz melioracijske površine u odvodnu mrežu u trenutku dt

q — otok vode iz promatranog presjeka u istom trenutku dt
 v — volumen uskladištene vode u mreži.

Razmotrimo najprije pojedine elemente ovog izraza kao i njihovu međusobnu zavisnost. Dotok vode $p \cdot dt$ ovisi o slivnoj površini, intenzitetu kiše i o koeficijentu dotjecanja. Možemo napisati:

$$p = k \cdot F \cdot i \quad (7)$$

gdje je:

k — koeficijent dotjecanja

F — slivna površina

$i = \frac{h}{t_p}$ — intenzitet kiše

Pretpostavka je da je dotok za vrijeme trajanja oborine t_p konstantan. Koeficijent dotjecanja k nije jednak koeficijentu otjecanja K — to proizlazi i iz njihove definicije: dok se K odnosi na ukupno vrijeme otjecanja ($t_p + t_k$), dotle se k odnosi samo na vrijeme t_p (te na dotjecanje vode iz polja u kanal).

Uvrstimo li u izraz (7) vrijednost za i , dobivamo:

$$p = k \cdot F \cdot \frac{h}{t_p} = k \cdot F \cdot \frac{a \cdot t_p^n}{t_p} = k \cdot F \cdot a \cdot t_p^{n-1} \quad (8)$$

Drugi član jednadžbe označen s dv predočuje promjenu volumena vode akumulirane u mreži u vremenu dt . Slijedi da je za ovaj proračun potrebno poznavati dimenzije mreže, tj. da ju je prethodno potrebno proračunati po nekoj približnoj metodi — recimo kinematskoj. Daljnja je pretpostavka da je kanalska mreža na početku kiše bila prazna. U volumen mreže dv ulazi količina vode uskladištena u osnovnoj i detaljnoj odvodnoj mreži, zatim u jarcima, depresijama, retencijama kao i na površini zemlje (tekuća i stagnirajuća).

Pretpostavlja se nadalje da postoji linearna zavisnost između količine akumulirane vode u mreži v i omočene površine poprečnog presjeka kanala, odnosno:

$$\frac{v}{f} = \frac{V}{F}, \text{ odnosno } v = V \frac{f}{F} \quad (9)$$

gdje je:

V — ukupni volumen akumulirane količine vode za usvojeno punjenje mreže

F — površina omočenog poprečnog presjeka kanala kroz koji voda istječe iz područja, a koje odgovara volumenu V

v, f — odgovarajuće elementarne vrijednosti za stanje punjenja u nekom trenutku dt .

Razmotrimo na kraju i posljednji član jednadžbe (6) označen s $q \cdot dt$, a koji predstavlja količinu vode koja je otekla kroz promatrani presjek u vremenu dt . Napišimo najprije jednadžbu za jednoliko tečenje vode:

$$q = f \cdot c \sqrt{RJ}$$

Članovi ove jednadžbe su poznati, pa ih nećemo opisivati. Napisat ćemo je u drugačijem obliku, odnosno

$$q = \mu \cdot f^m \quad (10)$$

gdje je:

μ — neki parametar, neovisan o q i f , ali ovisan o koeficijentu hrpa-
vosti i o obliku i dimenzijama presjeka

m — neki parametar također neovisan o q i f , ali ovisan samo o obliku
i veličini presjeka korita.

Formula (10) je modul protoka za odabrani presjek i površinu. Para-
metar m za kanale uobičajenog trapeznog presjeka redovito ima vrijednost
između 1,33 i 1,66 s prosjekom 1,5. Određivanje točnijih vrijednosti obavlja
se grafičkim putem u logaritamskom koordinatnom sustavu. Za taj slučaj
formula (10) poprima oblik

$$\log q = \log \mu + m \cdot \log f$$

te je predočena pravcem kod kojeg je $m = \operatorname{tg} \alpha$, a μ predstavlja odsječak na
ordinati.

Ovako opisani modul protoka za elementarne vrijednosti q i f vrijedi
i za maksimalni protok i protjecajnu površinu, jer su parametri μ i m
konstantni.

Dakle imamo:

$$Q = \mu \cdot F^m \quad (11)$$

odnosno ako ovo podijelimo s (10), dobivamo:

$$q = Q \left(\frac{f}{F} \right)^m$$

te zamjenom iz formule (10) imamo:

$$q = Q \left(\frac{v}{V} \right)^m \quad (12)$$

što konačno predstavlja ovisnost između otjecanja q i volumena akumula-
cije v jednadžbe kontinuiteta.

3.2. Integracija jednadžbe kontinuiteta

Ranije opisanu jednadžbu kontinuiteta izrazit ćemo u slijedećem obliku:

$$p = q + \frac{dv}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} \quad (13)$$

Integracija ove jednadžbe bit će lako provediva ako se usvoje slijedeće
pretpostavke:

a) da vrijede odnosi izraženi formulom (12) koju pišemo u obliku:

$$v = V \left(\frac{q}{Q} \right)^{\frac{1}{m}}$$

a koja derivirana po q daje:

$$\frac{dv}{dq} = \frac{1}{m} \cdot \frac{V}{Q} \left(\frac{q}{Q} \right)^{\frac{1-m}{m}} \quad (14)$$

b) da je dotok vode u mrežu jednoličan u vremenu t_p i da počinje u vremenu $t = 0$. To znači da je intenzitet kiše konstantan, a dotok vode u mrežu počinje s početkom padanja kiše. Interval između početka kiše i početka dotoka vode u mrežu se zanemaruje;

c) da je na početku kiše odvodna mreža prazna, odnosno da je za $t = 0$ i $q = 0$ i da u tom trenutku počinje otjecanje kroz promatrani presjek.

Uvrštavanjem (14) u (13) dobivamo:

$$p = q + \frac{1}{m} \cdot \frac{V}{Q} \left(\frac{q}{Q} \right)^{\frac{1-m}{m}} \cdot \frac{dq}{dt}$$

odakle:

$$(p - q) dt = \frac{1}{m} \cdot \frac{V}{Q^{\frac{1}{m}}} \cdot \frac{dq}{q^{\frac{m-1}{m}}}$$

a budući da je, prema usvojenim uvjetima p konstantan, dobivamo:

$$dt = \frac{V}{m \cdot Q^{\frac{1}{m}} \cdot p^{\frac{m-1}{m}}} \cdot \frac{\left(\frac{q}{p} \right)^{\frac{1-m}{m}}}{1 - \frac{q}{p}} \cdot d\left(\frac{q}{p} \right)$$

Uvrštavanjem za $\frac{q}{p} = y$, izlazi:

$$dt = \frac{V}{m \cdot Q^{\frac{1}{m}} \cdot p^{\frac{m-1}{m}}} \cdot \frac{y^{\frac{1-m}{m}}}{1 - y} dy$$

Integrirajući ovu jednadžbu u granicama između t_1 i t_2 za koje odgovaraju protoci q_1 i q_2 , odnosno:

$$Y_1 = \frac{q_1}{p}, \quad Y_2 = \frac{q_2}{p}$$

dobivamo

$$t_2 - t_1 = \frac{1}{m} \cdot \frac{V}{Q^{\frac{1}{m}}} \cdot \frac{1}{p^{\frac{m-1}{m}}} \cdot \int_{Y_1}^{Y_2} \frac{y^{\frac{1-m}{m}}}{1 - y} dy \quad (15)$$

što određuje zakonitost po kojoj se otjecanje q povećava u vremenu ($t_2 - t_1$) između q_1 i q_2 uslijed dotoka p koji počinje u trenutku $t = 0$.

Ako u jednadžbi (15) uvrstimo za $t_1 = 0$ za koji slučaj $q_1 = 0$ i $y_1 = 0$, dobivamo:

$$t_2 = \frac{V}{m \cdot Q^m \cdot p^{\frac{m-1}{m}}} \int_0^{y_2} \frac{y^{\frac{1-m}{m}}}{1-y} dy \quad (16)$$

što daje potrebno vrijeme t_2 da se dostigne protok q_2 u presjeku mreže prethodno prazne.

Da bi mogli odrediti vrijeme punjenja mreže do pretpostavljene razine (hidrauličkog stanja), odnosno onaj t (ovdje označen sa T_p), koji nam daje protok Q , upotrijebit ćemo izraz (16) u koji ćemo za y_2 uvrstiti vrijednost $\frac{Q}{p}$. Ovu ćemo vrijednost označiti sa Z , odnosno:

$$y_2 = \frac{Q}{p} = Z$$

pa imamo:

$$T_p = \frac{V}{m \cdot Q^m \cdot p^{\frac{m-1}{m}}} \int_0^Z \frac{y^{\frac{1-m}{m}}}{1-y} dy = \frac{V}{m \cdot p \cdot Z^m} \int_0^Z \frac{y^{\frac{1-m}{m}}}{1-y} dy$$

i ako usvojimo da je

$$\phi_m(Z) = \frac{1}{m \cdot Z^m} \int_0^Z \frac{y^{\frac{1-m}{m}}}{1-y} dy,$$

dobivamo

$$T_p = \frac{V}{p} \phi_m(Z) \quad (17)$$

Budući da je $\frac{1}{p} = \frac{Z}{Q}$, konačno dobivamo:

$$T_p = \frac{V}{Q} Z \phi_m(Z) \quad (18)$$

u kojoj integral funkcije $\phi_m(Z)$ ima poznatu vrijednost.

To je konačno formula koju smo tražili. S pomoću nje računamo potrebno vrijeme da se kanalska mreža uzvodno od promatranog presjeka napuni vodom do neke razine (za pretpostavljeno hidrološko stanje) kojem odgovaraju maksimalni protok Q promatranog presjeka, te volumen V akumulirane vode u mreži uslijed konstantnog dotoka p , s time da je mreža u trenutku t_p bila prazna.

Postoji nekoliko postupaka za integraciju funkcije $\phi_m(Z)$, ali mi ćemo ovdje samo ukratko spomenuti metodu Puppinija. Funkciju $\phi_m(Z)$ je najprije napisao u obliku:

$$\begin{aligned}\phi_m(Z) &= \frac{1}{m \cdot Z^{\frac{1}{m}}} \int_0^Z y^{\frac{1-m}{m}} (1 + y + y^2 + y^3 + \dots) dy = \\ &= \frac{1}{m \cdot Z^{\frac{1}{m}}} \int_0^Z y^{\frac{1-m}{m}} dy + \frac{1}{m \cdot Z^{\frac{1}{m}}} \int_0^Z (y^m + y^{m+1} + y^{m+2} + \dots) dy\end{aligned}$$

a budući da je izraz pod znakom integrala u drugom dijelu drugog člana za $0 < y < 1$, kao što je to ovdje slučaj, jednoliko konvergentan, može se integrirati po serijama, pa konačno dobivamo:

$$\phi_m(Z) = 1 + \frac{Z}{m+1} + \frac{Z^2}{2m+1} + \frac{Z^3}{3m+1} + \dots$$

Radi pojednostavljenja primjene u praksi, izračunate su najvažnije vrijednosti ove funkcije, i to za $m = 1,00, 1,25, 1,50, 1,75$ i $2,00$, te za $Z = 0$ do $Z = 1$ i prikazane u tablici 1.

VRIJEDNOSTI FUNKCIJE $\phi_m(Z)$

Tablica 1

Z	$\phi_{1,00}(Z)$	$\phi_{1,25}(Z)$	$\phi_{1,50}(Z)$	$\phi_{1,75}(Z)$	$\phi_{2,00}(Z)$
0,00	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,10	1,0536	1,0475	1,0427	1,0388	1,0355
0,20	1,1157	1,1023	1,0917	1,0831	1,0760
0,30	1,1889	1,1665	1,1490	1,1347	1,1231
0,40	1,2771	1,2434	1,2171	1,1960	1,1787
0,50	1,3863	1,3380	1,3006	1,2708	1,2464
0,60	1,5272	1,4590	1,4069	1,3655	1,3319
0,70	1,7187	1,6242	1,5492	1,4918	1,4454
0,75	1,8484	1,7419	1,6437	1,5758	1,5203
0,80	2,0118	1,8692	1,7629	1,6802	1,6140
0,84	2,1816	2,0111	1,8849	1,7873	1,7094
0,87	2,3451	2,1471	2,0014	1,8892	1,8000
0,90	2,5584	2,3236	2,1519	2,0207	1,9168
0,92	2,7454	2,4776	2,2828	2,1347	2,0177
0,94	2,9930	2,6807	2,4550	2,2843	2,1499
0,96	3,3530	2,9745	2,7032	2,4993	2,3395
0,98	3,9920	3,4930	3,1410	2,8750	2,6700
0,99	4,6520	4,0250	3,5870	3,2610	3,0080
1,00	∞	∞	∞	∞	∞

Kod međuvrijednosti, kako za m tako i za Z može se provesti linearna interpolacija.

Tablica 1 može se upotrijebiti za proračun vremena ($t_2 - t_1$) kao i vremena t_2 u kom slučaju bi odgovarajuće izraze trebalo donekle transformirati, slično kao i kod T_p .

3.3. Primjena formula

Formula (18) daje maksimalnu moguću vrijednost trajanja kiše T_p intenziteta i u kom će se uzvodna mreža napuniti do predviđene kote. To, u stvari, dopustivo trajanje kiše u izvjesnom smislu kazuje o efikasnosti kanalske mreže u odnosu na trajanje kiše t_p . Zbog toga treba razmatrati odnos između T_p i t_p , tj. odnos između dopustivog i vjerojatnog trajanja kiše (T_p — vrijeme punjenja mreže) istog intenziteta i predočene istom krivuljom $h = a \cdot t^n$. U vezi s tim moguća su tri slučaja:

a) $T_p < t_p$; odvodna mreža bit će ispunjena (do pretpostavljenog nivoa) prije prestanka kiše, te su prema tome njene dimenzije nedovoljne;

b) $T_p > t_p$; u ovom slučaju će kiša prestati prije negoli se dostigne dopustivo punjenje mreže. Slijedom toga odvodna mreža je predimenzionirana;

c) $T_p = t_p$; odvodna mreža je ispunjena u trenutku prestanka kiše, što znači da su joj dimenzije optimalne. Projektant mora uvijek težiti da odabere takve dimenzije kanala, kako bi se što više približio ovom slučaju.

4. MODUL ODVODNJE

Prikazanu metodu provjeravanja dimenzija odvodne kanalske mreže u osnovi je razradio Puppini i prvi puta je objavljena 1923. On je sličnu metodu, koju je Fantoli razradio za proračun kanalizacije, primijenio na melioracijske mreže. Kao što se može vidjeti iz ovog skraćenog prikaza, ovo je prilično dugotrajan i opsežan postupak, budući da se temelji na indirektnom proračunu.

Kasnije su ovu metodu usavršili mnogi znanstvenici (Massari, Supino, Del Pra) a i Puppini, i to radi pronalazjenja nekog direktnog načina proračuna, sličnog onome kod kinematske metode. U nastavku ćemo prikazati neka razmatranja.

Vratimo se ponešto unazad i započnimo razmatranje kod izraza (18). Ako u ovu formulu uvrstimo vrijednost za p iz izraza (8), dobivamo:

$$Z = \frac{Q}{p} = \frac{Q}{k \cdot A \cdot a \cdot t_p^{n-1}} \quad (19)$$

Kao što smo malo prije dokazali, odvodna će mreža imati optimalne dimenzije za slučaj $T_p = t_p$, te, prema tome, ako u (18) T_p zamijenimo s t_p i eliminiramo t_p u (19), dobivamo:

$$Q \cdot V^{\frac{1-n}{n}} = Z [\phi_m(Z)]^{\frac{n-1}{n}} \cdot (k \cdot A \cdot a)^{\frac{1}{n}} \quad (20)$$

Ova jednadžba prikazuje vrijednost što mora imati $Q \cdot V^{\frac{1-n}{n}}$ na kraju kiše (t_p , h) da bi se postiglo pretpostavljeno stanje punjenja koje odgovara

vrijednostima Q i V. Usvojena veličina kiše ne ovisi o parametrima A, a, n, m, k već samo parametar Z, odnosno funkcija $Z [\phi_m(Z)]^{\frac{n-1}{n}}$. Da bi se osiguralo da vrijeme potrebno za punjenje mreže do predviđene razine, ne samo za jednu već za bilo koju kišu izraženu funkcijom $h = a \cdot t_p^n$ neće biti nikada manje (može biti samo jednako) od odgovarajućeg trajanja same kiše, potrebno je da proizvod $Q \cdot v^{\frac{n-1}{n}}$ poprimi maksimalnu vrijednost, odnosno Z da ima takvu vrijednost koja daje maksimum funkcije $Z [\phi_m(Z)]^{\frac{n-1}{n}}$, a koja je pozitivna za $0 < Z < 1$ te daje nulu za $Z = 0$ i $Z = 1$.

Prema tome mora biti:

$$\frac{d}{dz} \left\{ Z [\phi_m(Z)]^{\frac{n-1}{n}} \right\} = 0.$$

Ne ulazeći u detalje ovog proračuna napomenut ćemo da je Supino izračunao vrijednosti ove funkcije za najvažnije slučajeve, koje prikazujemo u tablici 2.

VRIJEDNOST Z KOJA DAJE MAKSIMUM FUNKCIJI $Z [\phi_m(Z)]^{\frac{n-1}{n}}$
I VRIJEDNOST SAME FUNKCIJE

Tablica 2

	Z					$Z [\phi_m(Z)]^{\frac{n-1}{n}}$				
n/m	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
0,50	0,715	0,740	0,760	0,755	0,790	0,409	0,433	0,458	0,478	0,494
0,33	0,531	0,562	0,590	0,612	0,633	0,260	0,285	0,304	0,321	0,340
0,25	0,423	0,453	0,477	0,502	0,525	0,193	0,209	0,225	0,242	0,261

Na temelju rezultata navedenih u ovoj tablici, nekoliko je autora predložilo vrlo jednostavne izraze za proračun vrijednosti Z, koji redovito daju odstupanja manja od 2 %, što je za praksu sasvim zadovoljavajuće. Spomenut ćemo samo Supinovu formulu koja glasi:

$$Z [\phi_m(Z)]^{\frac{n-1}{n}} = (0,221 m + 0,574) n \quad (21)$$

koja vrijedi u području za $1 \leq m \leq 2$ i za $0,25 \leq n \leq 0,50$.

Uvrštavajući ovu vrijednost u (20) dobivamo:

$$Q \cdot V^{\frac{1-n}{n}} = (0,221 m + 0,574) n (k \cdot A \cdot a)^{\frac{1}{n}} \quad (22)$$

koja kazuje kolik utjecaj na efikasnost odvodne mreže ima propusna moć kanala Q i volumen akumulacije u mreži V.

Tako će npr. lijevi član za $n = 0,5$ glasiti $Q \cdot V$, za $n = 0,33$, $Q \cdot V^2$, dok će ta vrijednost za $n = 0,25$ iznositi $Q \cdot V^3$, itd. Dakle, utjecaj volumena akumulacije više raste od utjecaja propusne moći kanala.

Ako izraz (22) podijelimo s $\frac{1}{A^n}$ i uvrstimo:

$$u = \frac{Q}{A} \text{ — specifično otjecanje na promatranom presjeku, i}$$

$$v = \frac{V}{A} \text{ — jedinična akumulacija mreže, odnosno volumen u odnosu na jediničnu slivnu površinu, dobivamo:}$$

$$u \cdot v^{\frac{1-n}{n}} = (0,221 \text{ m} + 0,574) n (k \cdot a)^{\frac{1}{n}}$$

odakle slijedi:

$$u = (0,221 \text{ m} + 0,574) n \cdot v^{\frac{n-1}{n}} (k \cdot a)^{\frac{1}{n}}$$

Ova formula izražava maksimalno specifično otjecanje na promatranom presjeku kanala za najopasniju kišu predočenu funkcijom $h = a \cdot t_p^n$ za mrežu jediničnog volumena v . Ako pak ovu formulu izrazimo u formi modula odvodnje, odnosno specifičnog otjecanja u $1/s/ha$ izraz (23) mora se pomnožiti s 10^7 i podijeliti s 86.400, odnosno pomnožiti sa 115,74, pa dobivamo:

$$u = (26 \text{ m} + 66) n \cdot v^{\frac{n-1}{n}} (k \cdot a)^{\frac{1}{n}} \quad (24)$$

odnosno prema jednoj drugoj varijanti:

$$u = (30 \text{ m} + 60) n \cdot v^{\frac{n-1}{n}} (k \cdot a)^{\frac{1}{n}} \quad (25)$$

koje daju gotovo jednake rezultate. Ova se formula u literaturi pojavljuje pod nazivom »Specifično otjecanje prema Puppiniju«.

Kao što smo vidjeli, formula (25) proizlazi iz (18) ako stavimo da je $T_p = t_p$ i ako tražimo maksimum funkcije, te prema tome dobiveni modul odvodnje i jedinična akumulacija imaju maksimalnu vrijednost na kraju mjerodavne kiše. Dakle, potrebno je da presjek kanala ima kapacitet $Q = u \cdot A$, za koju je vrijednost akumulacija $V = v \cdot A$. Proračun pojedinih elemenata mreže dalje se obavlja na uobičajeni način: počinje se s elementima nižeg reda, dok se ne stigne do zadnjeg presjeka odvodnog kolektora. U jednadžbi (25) imamo sve poznate veličine, osim jediničnog volumena $v = \frac{V}{A}$. Za proračun nepoznate vrijednosti v možemo koristiti slijedeći obrazac:

$$v = \frac{v_s \cdot A \cdot V_p + F \cdot L}{10.000 \cdot A} \quad (26)$$

gdje je:

v_s — volumen detaljne odvodne mreže i sloja vode na površini tla

V_p — volumen pritoka (kanali koji su već dimenzionirani i koji utječu u razmatrani; dakle, za prvi element $V_p = 0$)

L — dužina kanala presjeka F .

Dimenzioniranje presjeka je najbolje obavljati metodom sukcesivne aproksimacije koja se može korisno primijeniti na slijedeći način: najprije

se usvoji neka približna vrijednost za modul odvodnje, ili još bolje, njegova se vrijednost približno izračunava po ranije opisanoj kinematskoj metodi, tako dobivamo u' . Sada se računa približan poprečni presjek na temelju vrijednosti $Q = u' \cdot A$ i tako dobivamo F' . Sada prelazimo na proračun vrijednosti v' s pomoću formule (26), a iza toga konačno iz (25) ili njoj analogne, dobivamo u'' . Ako je $u'' = u'$, problem je riješen; u protivnom ponavljamo čitav postupak i u drugoj aproksimaciji računamo s novom vrijednošću za u . Postupak se ponavlja sve dotle dok razlika između dviju zadnjih rezultata nije veća od 5 %. Za uobičajene slučajeve (kolektore širine dna do 10 metara) koeficijent m se može usvojiti s $m = 1,50$, dok u suprotnom njegovu točnu vrijednost treba izračunati kako je ranije opisano.

Polazeći od formule (18) Puppini je na način sličan ranije opisanom došao do izraza po kojima je moguće izračunati najopasniju (mjerodavnu) kišu i za već postojeće mreže (poznatih dimenzija). Ovi izrazi za trajanje kiše t_p i visinu oborine h u uobičajenim dimenzijama (h u metrима, t_p u danima i u 1/s/ha) glase:

$$t_p = (300,82 \cdot n - 4,63) \frac{V}{u} \quad (27)$$

$$h = (1,52 \cdot n + 0,91) \frac{V}{k}$$

Kako je ovdje nepoznata veličina u , jednadžbu nije moguće riješiti na direktan način, već će se i ovdje primijeniti metoda sukcesivne aproksimacije.

5. NEKI POSEBNI SLUČAJEVI

Pri proračunu odvodnih melioracijskih mreža mogu se, dakako, u praksi pojaviti i drugi slučajevi od prije pretpostavljenih. To su npr. konstantni protok u mreži prije početka kiše, zatim djelomična ispunjenost mreže stajaćom vodom (npr. ljeti za potrebe natapanja i slično). Za takve specifične slučajeve razrađene su odgovarajuće metode proračuna, odnosno, ovo osnovno razmatranje prilagođeno je svakom konkretnom slučaju. Zbog pomanjkanja prostora ovdje nećemo ulaziti u detaljniji prikaz tih posebnih slučajeva, već ćemo samo, i to u najsžetijem obliku, prikazati dva koja se u praksi često susreću, i to konstantni protok i akumulirana voda stajaćica koji su prethodili dolasku vodnog vala.

Kao što smo spomenuli, kod integriranja jednadžbe kontinuiteta, među ostalim, pretpostavljeno je da je na početku kiše odvodna mreža potpuno prazna, odnosno da je njen ukupan volumen raspoloživ za akumulaciju. Puppini i Supino su razradili metode proračuna za dva ovdje spomenuta izuzetka.

a) U slučaju da razmatranim kanalom protječe konstantna količina vode (npr. od nekog izvora) visine H_0 , kojoj odgovara protjecajna površina F_0 , imamo protok

$$Q_0 = Q \left(\frac{F_0}{F} \right)^m,$$

odnosno akumulaciju $V_0 = \frac{F_0}{F}$ [vidi izraz (12) + (9)]. Prema Puppiniju izraz (8) za ovaj slučaj poprima oblik:

$$p = Q_0 + k \cdot A \cdot a \cdot T^{n-1} \quad (28)$$

a odatle s pomoću izraza (15) izračunava se vrijeme T_p koje sada izražava prijelaz od protoka Q_0 na protok Q . Ako se usvoji da je:

$$y_1 = \frac{Q_0}{p}, \quad y_2 = \frac{Q}{p} = Z, \quad t_2 - t_1 = T_p,$$

konačno dobivamo:

$$T_p = \frac{V}{p} \left[\phi_m(Z) - \left(\frac{y_1}{Z} \right)^{\frac{1}{m}} \phi_m(y_1) \right], \quad (29)$$

odnosno:

$$T_p = \frac{V}{Q} Z \left[\phi_m(Z) - \left(\frac{y_1}{Z} \right)^{\frac{1}{m}} \phi_m(y_1) \right]. \quad (30)$$

Iz izračunatih i grafički predočenih vrijednosti ove funkcije pokušalo se pronaći izraz koji bi po formi bio potpuno sličan izrazu (17), odnosno (18), a davao bi iste vrijednosti kao i ove formule. To je uspjelo samo za $m = 1,5$. Ako u izraz (18) uvrstimo za vrijednost V fiktivnu akumulaciju:

$$V_1 = V \left[1 - \left(\frac{V_0}{V} \right) \right]^{3/2} \quad (31)$$

dobivamo:

$$T_p = \frac{V}{p} \left[1 - \left(\frac{V_0}{V} \right)^{3/2} \right] \phi_m(Z), \quad (32)$$

odnosno:

$$T_p = \frac{V}{Q} \left[1 - \left(\frac{V_0}{V} \right)^{3/2} \right] Z \phi(Z). \quad (33)$$

Puppini je ovaj problem riješio u obliku modula odvodnje koji glasi:

$$u = (30 \cdot m + 60) n (k \cdot \sigma \cdot a)^{\frac{1}{n}} \cdot v_1^{\frac{n-1}{n}} \quad (34)$$

gdje je:

v_1 — jedinična fiktivna akumulacija koja se dobiva iz (31)

$$v_1 = \frac{V_1}{A} = \frac{V}{A} \left[1 - \left(\frac{V_0}{V} \right)^{3/2} \right] \quad (35)$$

σ — neki koeficijent koji se dobiva iz formule

$$\sigma = \frac{Q_0 + k \cdot A \cdot a \cdot t_p^{n-1}}{k \cdot A \cdot a \cdot t_p^{n-1}} \quad (36)$$

Postupak proračuna je slijedeći: najprije se odredi v_1 , te se u prvoj aproksimaciji stavi $\sigma = 1$ i izračuna se u_1 . Sada se iz tablice 2 uzme vrijednost Z koja daje maksimalne vrijednosti funkcije $Z [\phi_m(Z)]^{\frac{n-1}{n}}$ u izrazu (22). Zatim se izračuna dotok $p_1 = \frac{u_1 \cdot A}{Z}$ i pristupa se proračunu izraza (34) u drugoj aproksimaciji i tako redom dok se ne dostigne zadovoljavajući rezultat.

b) U drugom slučaju, tj. kada u mreži imamo izvjestan sloj stagnirajuće vode, naprijed opisane formule nisu upotrebljive, pa će se morati primijeniti druge (nije npr. ispunjen uvjet izraza (11) jer za $F_0 > 0$ imamo $Q_0 = 0$). Ukupno vrijeme T_p potrebno za punjenje mreže može se izvesti u obliku razlike između vremena potrebnog za postizanje volumena V_0 stagnirajuće vode s dotokom p . Prema tome imamo:

$$T_p = \frac{V}{Q} \cdot Z \cdot \phi_m(Z) - \frac{V_0}{p} \quad (37)$$

Za ovaj konkretan slučaj, za sada, još ne postoji adekvatna formula za modul otjecanja, pa u nedostatku toga može se račun mreže obaviti po metodi prethodnog slučaja uzimajući za $\sigma = 1$, kada je $Q_0 = 0$. Dobiveni će rezultati biti u granicama dopustivog odstupanja. U svakom slučaju uputno je vrijeme punjenja provjeriti po formuli (37).

6. ZAKLJUČAK

Na temelju prikazanog postupka proračuna kinematske metode i metode akumulacije zaključuje se da među njima ne postoji nikakva organska veza. Dok se prva temelji na vremenu koje je potrebno da voda, koja je pala na različitim točkama sliva utroši da bi stigla do promatranog presjeka, dotle se druga bazira na ublažavajućem djelovanju volumena odvodne mreže na vodni val. Iako je bilo nekoliko pokušaja da se nađe neki postupak proračuna koji bi spojio obje metode, odnosno koji bi udovoljio uvjetima i jedne i druge, do sada još nisu postignuti rezultati koji bi se u praksi mogli primjenjivati.

Pitanje se postavlja kojoj od ovih metoda treba dati prednost. Da bismo mogli odgovoriti na to, najprije ćemo ukratko dati kritički osvrt na obje metode.

Kinematskoj se metodi, među ostalim, daju ovi prigovori:

1. Za vrijeme neke kiše, paralelno s povećanjem dotoka imamo i pojavu povećanja volumena vode akumulirane u odvodnoj mreži. Zato je osnovni nedostatak ove metode da ne uzima u obzir ublažavajuće djelovanje volumena akumulacije na stvaranje vodnog vala, koje je to jače što je volumen mreže veći. Iako je ovaj prigovor potpuno prihvatljiv, praktički se to zbiva malo drugačije. Naime, porastom protoka raste i visina vode u kanalima, odnosno akumulacija, što izaziva smanjenje brzine toka vode u kanalima u odnosu na slučaj da postoji čisto translatorno gibanje vode. Smanjenje brzine utječe na povećanje kritičnog vremena, odnosno smanjenje specifičnog

otjecanja. Time se u izvjesnoj mjeri, mada indirektno, ipak uzima u obzir utjecaj volumena akumulacije.

2. Drugi je značajan prigovor što je to empirijska formula, pa ima sve nedostatke kao i sve druge empirijske formule. Taj se nedostatak »uvlači« kroz formulu za proračun kritičnog vremena, koja je osnova svih kasnijih proračuna. Iz toga slijedi da će proračun biti točniji, ukoliko su fizičke osobine sliva i mreže sličnije istim osobinama područja na kome je ta formula izvedena.

Metodi akumulacije daju se ovi prigovori:

1. Primjećuje se da se vrh maksimalnog vodnog vala uvijek ne poklapa s prestankom kiše, već se može pojaviti ranije ili kasnije. Mjerenja koja su obavljena da se utvrdi stvarno odstupanje od računskog, dokazala su da je neznatno i u granicama dozvoljenih odstupanja za ovu vrstu proračuna.

2. Druga primjedba odnosi se na činjenicu da metoda akumulacije daje vrijednosti modula odvodnje koji se znatno razlikuju od onih računatih po kinematskoj metodi. Kod velikih površina, gdje se volumen akumulacije može dosta točno proračunati, ove razlike nisu znatne. Zato je neophodno tom dijelu proračuna posvetiti pažnju.

U svakom slučaju, metoda akumulacije ima znatne prednosti jer se isključivo temelji na zakonima matematike, pa stoga spada u grupu racionalnih metoda. Osim toga, ona slijedi realnu pojavu vodnog vala i u proračunu ne unosi nikakve nejasne parametre bazirane na analognim karakteristikama slivova, već isključivo specifične i konkretne fizičke osobine mreže.

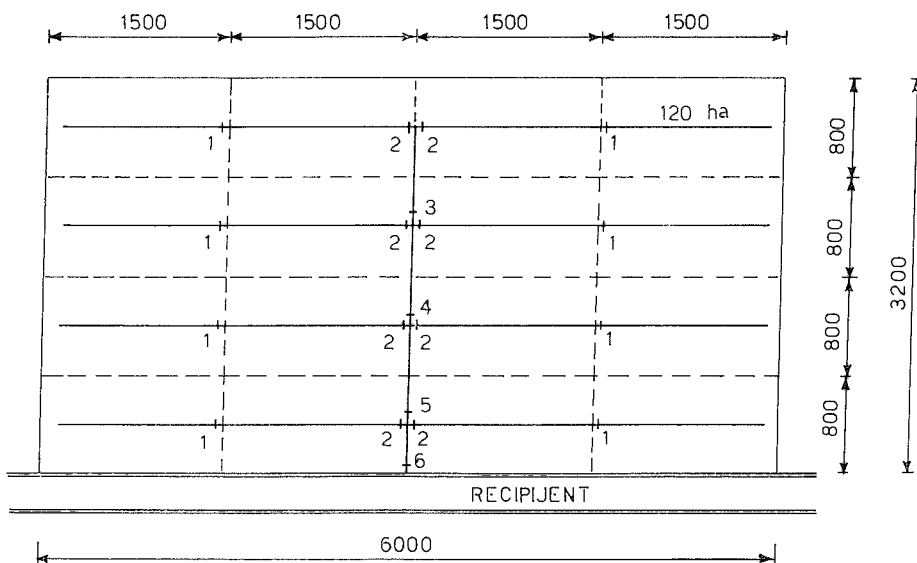
I na kraju, napominje se da obje ove metode mogu biti korisno primijenjene za proračun bilo koje mreže, s time što će se kinematskom metodom određivati samo približne vrijednosti, a metodom akumulacije definitivne dimenzije elemenata mreže.

7. RAČUNSKI PRIMJER

Da bismo dobili jasniju predodžbu o razlikama između ovih dviju metoda, izračunat ćemo po obim metodama odvodnu mrežu prikazanu na sl. 4. Ukupna melioracijska površina iznosi 1920 ha, a nalazi se u slivu rijeke Mirne čija je funkcija učestalost — trajnost — ponavljanje (klimatska funkcija vjerojatnosti, odnosno $h = a \cdot t_k^n$) predočena nastavno prikazanom formulom. Detaljna odvodna mreža sastoji se od mreže sisavaca prosječne dubine 0,90 m i trapeznog presjeka. Detaljna se mreža ovdje neće proračunavati, jer je to detaljno obrađeno u ostalim poglavljima ove knjige. Za predviđene usjeve, podzemna se voda mora nalaziti na dubini ne manjoj od 0,8 m ispod površine terena. Pretpostavlja se da je kod nailaska maksimalnog vodnog vala mreža ispunjena vodom do razine koja se poklapa s dopuštenim nivoom podzemne vode, odnosno koji se nalazi 0,80 m ispod kote terena. Srednja protjecajna brzina vode u kanalima ne treba da pređe vrijednost od $v = 0,5$ m/s.

Klimatska funkcija vjerojatnosti za odabrani sliv (Mirna) uz povratni period od 10 puta u jednom stoljeću (osiguranje 10 %) glasi:

$$h = 26,3 t_k^{0,42}.$$



Sl. 4. Shema odvodne mreže iz računskog primjera

Približne vrijednosti dimenzija kanalske mreže dimenzionirat ćemo po kinematskoj metodi, a definitivne po metodi akumulacije.

a) Približan proračun po kinematskoj metodi

Upotrebom formule (3) za kritično vrijeme, a za presjek 1 imamo:

$$t_k = 0,24 \sqrt{1,2 \cdot 1,9} = 0,316 \text{ dana,}$$

odakle izlazi da je

$$h = 26,3 \cdot 0,316^{0,42} = 16,2 \text{ m/m.}$$

Na temelju formule Turazze (1) izračunat ćemo modul odvodnje u prvj aproksimaciji:

$$u_1 = 0,1157 \frac{0,70 \cdot 2 \cdot 16,2}{2 \cdot 0,316} = 4,16 \text{ l/s/ha.}$$

Po istom postupku izračunati su moduli odvodnje za sve ostale karakteristične presjeke, te su dobiveni rezultati prikazani u tablici 3. Kako su parametri klimatske funkcije vjerojatnosti $h = a \cdot t^n$ računati na temelju mjerenja oborina na pojedinim točkama — stanicama, preporučljivo ih je reducirati za veće slivove. Za tu svrhu možemo primijeniti Puppinijeve obrasce:

$$a' = a \left[1 - 0,084 \frac{A}{100} + 0,007 / \left(\frac{A}{100} \right)^2 \right]$$

$$n' = n + 0,014 \frac{A}{100}$$

U ovom primjeru parametri a i n reducirani su po ovim formulama samo za slivne površine veće od 1000 ha (koeficijenti prikupljanja).

Nakon proračuna modula odvodnje određuju se dimenzije pojedinih karakterističnih presjeka. Usvaja se trapezni oblik kanala, nagib pokosa $1:1,5$ i $\gamma = 1,75$ u Bazinovoj formuli uz maksimalnu dozvoljenu brzinu $v = 0,50$ m/s.

Kao što je vidljivo, proračun je proveden uz pretpostavku da se raspolaze s dovoljno pada terena, pa su korištene maksimalne dozvoljene brzine. Nadalje, promatrano područje ima niske kišne intenzitete, pa su i specifična otjecanja relativno mala.

b) Definitivan proračun po metodi akumulacije

Kao što je već ranije spomenuto, račun će se provesti upotrebom formule (34) uz $\sigma = 1$, jer se ovdje radi o vodi u kanalima koja se ne kreće, te primjenom formule (35) za jedinični fiktivni volumen. Pretpostavlja se da su kanali, u trenutku kulminacije vodnog vala, ispunjeni do kote terena. U formulu će se unijeti i koeficijent prikupljanja ξ (prema gornjim izrazima) koji je ranije izostavljen. Račun se počinje s presjekom 1, koristeći prethodno određene dimenzije.

Kanali

$$V = \frac{1,0 + 5,2}{2} \cdot 1,4 \cdot 1400 = 6080 \text{ m}^3$$

Sisavci

Uz pretpostavljeni razmak sisavaca od 50 m, prosječnu dubinu vode od 0,6 m, u njima će se akumulirati 90 m³/ha. Ova će se količina smanjiti za 30 % zbog zamuljenosti, urušavanja i sl., te ćemo konačno dobiti 60 m³/ha.

$$V = 60 \text{ m}^3 \cdot 120 \text{ ha} = 7200 \text{ m}^3$$

PRVA APROKSIMACIJA

Tablica 3

Karakt. presjek	A ha	L km	a'	n'	t_k dana	h m/m	u_1 l/s/ha
1	120	1,9	26,3	0,42	0,316	16,2	4,16
2	240	3,4	26,3	0,42	0,483	19,4	3,25
3	480	4,2	26,3	0,42	0,657	22,0	2,71
4	960	5,0	26,3	0,42	0,873	24,8	2,30
5	1440	5,8	26,1	0,42	1,050	26,8	2,07
6	1920	6,2	25,9	0,42	1,185	28,3	1,93

PRVA APROKSIMACIJA

Tablica 4

Karakt. presjek	$-u'$ l/sec/ha	A ha	Q m ³ /sec	H' m	l' m	v m/sec	i'	Potez m
1	4,16	120	0,499	0,60	1,0	0,50	0,00159	1400
2	3,25	240	0,780	0,70	1,2	0,50	0,00106	1500
3	2,71	480	1,301	0,80	2,0	0,50	0,00072	800
4	2,30	960	2,208	1,00	3,0	0,50	0,00048	800
5	2,07	1400	2,981	1,20	3,5	0,50	0,00039	800
6	1,93	1920	3,667	1,30	4,0	0,50	0,00030	400

Površina tla

Možemo usvojiti prosječnu akumulaciju na površini tla od 10 m³/ha.

$$V = 10 \text{ m}^3 \cdot 120 \text{ ha} = 1200 \text{ m}^3$$

Volumen akumulirane stagnirajuće vode u kanalima u trenutku nailaska maksimalnog vodnog vala iznosi:

$$V_o = \frac{1,0 + 2,8}{2} \cdot 0,6 \cdot 1400 = 1600 \text{ m}^3,$$

dok se za taj slučaj sisavci i površina tla mogu smatrati praznima.

Prema tome imamo slijedeće fiktivne jedinične volumene

$$V' = \frac{6080}{1200000} \left[1 - \left(\frac{1600}{6080} \right)^{1,5} \right] = 0,00439,$$

DRUGA APROKSIMACIJA

Tablica 5a

Presjek	V _{parc}	V _{uk}	V _o	v _i '	v _i ''	v _i '''	v _i
1	6080	6080	1600	0,00439	0,00600	0,00100	0,01139
2	7780	13860	3940	0,00493	0,00600	0,00100	0,01193
3	5630	33350	9925	0,00583	0,00600	0,00100	0,01283
4	8220	69290	21425	0,00598	0,00600	0,00100	0,01298
5	10420	107430	34395	0,00611	0,00600	0,00100	0,01311
6	6000	141150	45370	0,00601	0,00600	0,00100	0,01301

DRUGA APROKSIMACIJA

Tablica 5b

Presjek	v_1	k	ξ	m	u_2
1	0,01139	0,70	1,000	1,5	1,59
2	0,01193	0,70	1,000	1,5	1,48
3	0,01283	0,70	1,000	1,5	1,34
4	0,01298	0,70	1,000	1,5	1,31
5	0,01311	0,70	0,992	1,5	1,28
6	0,01301	0,70	0,983	1,5	1,26

DRUGA APROKSIMACIJA

Tablica 5c

Presjek	u_2	A	Q'	H	l	v	i	Potez
1	1,59	120	0,191	0,3	0,8	0,5	—	1400
2	1,48	240	0,355	0,5	0,8	0,5	—	1500
3	1,34	480	0,644	0,6	1,2	0,5	—	800
4	1,31	960	1,260	0,8	1,8	0,5	—	800
5	1,28	1440	1,845	1,0	2,2	0,5	—	800
6	1,26	1920	2,420	1,2	2,4	0,5	—	400

dok će se za sisavce i površinu tla uzeti efektivne vrijednosti, budući da tu nije bilo nikakve prethodne akumulacije.

$$\text{sisavci} \quad v_1'' = 60 \text{ m}^3/\text{ha} = 0,00600$$

$$\text{površina} \quad v_2'' = 10 \text{ m}^3/\text{ha} = 0,00100$$

Prema tome bit će:

$$v_1 = v_1' + v_1'' + v_1''' = 0,00439 + 0,00600 + 0,00100 = 0,01139$$

$$\text{Za } \sigma = 1, K = 0,70, \xi = 1,00, m = 1,50$$

a uz upotrebu formule (34) imamo:

$$u_2 = (30 \cdot 1,5 + 60) 0,42 \cdot 0,01139^{\frac{0,42-1}{0,42}} \cdot (0,70 \cdot 1,00 \cdot 0,0263)^{\frac{1}{0,42}}$$

$$u_2 = 1,59 \text{ l/s.}$$

Na isti način računaju se moduli odvodnje u drugoj aproksimaciji za sve karakteristične presjeke, te popune tablice 5. S obzirom na to da se ove vrijednosti znatno razlikuju od onih računatih po približnoj metodi, račun

treba ponavljati sve dok se ne postigne zadovoljavajuća točnost. Zbog toga prelazimo na proračun treće aproksimacije, uz korištenje podataka dobivenih u drugoj. Svi se rezultati daju tabelama.

TREĆA APROKSIMACIJA

Tablica 6a

Presjek	V_{pare}	V_{uk}	V_o	v_2'	v_2''	v_2'''	v_2
1	3775	3775	525	0,00280	0,00600	0,00100	0,00980
2	5360	9135	1685	0,00350	0,00600	0,00100	0,01050
3	3700	21970	4380	0,00416	0,00600	0,00100	0,01116
4	5380	45620	9670	0,00430	0,00600	0,00100	0,01130
5	7060	70950	16000	0,00441	0,00600	0,00100	0,01141
6	4320	93540	20910	0,00436	0,00600	0,00100	0,01136

TREĆA APROKSIMACIJA

Tablica 6b

Presjek	v_2	k	ξ	m	u_3
1	0,00980	0,70	1,000	1,5	1,94
2	0,01050	0,70	1,000	1,5	1,76
3	0,01116	0,70	1,000	1,5	1,63
4	0,01130	0,70	1,000	1,5	1,59
5	0,01141	0,70	0,992	1,5	1,55
6	0,01136	0,70	0,983	1,5	1,52

TREĆA APROKSIMACIJA

Tablica 6c

Presjek	u_3	A	Q	H	l	v	i	Potez
1	1,94	120	0,233	0,3	1,0	0,5	0,00377	1400
2	1,76	240	0,422	0,5	1,0	0,5	0,00189	1500
3	1,63	480	0,782	0,6	1,6	0,5	0,00106	800
4	1,59	960	1,530	0,8	2,6	0,5	0,00065	800
5	1,55	1440	2,230	1,0	3,0	0,5	0,00048	800
6	1,52	1920	2,920	1,2	3,2	0,5	0,00038	400

Rezultati druge i treće aproksimacije razlikuju se u prosjeku za oko 20 %, pa bi račun trebalo ponoviti. Kontrolnim proračunom za dva presjeka utvrđeno je da vrijednosti četvrte aproksimacije ne odstupaju više od 5 % od ovih u trećoj, pa se postupak neće ponoviti, već će se treća smatrati konačnom.

Može se uočiti kako su osobito velika odstupanja ovih dviju metoda kod malih slivnih površina (čak preko 100 %), dok se vrijednosti za velike slivove manje razlikuju (odstupanja oko 20 %). Razlog leži u nepodesnosti formule za kritično vrijeme, koja kod malih slivova daje prevelika odstupanja. Ponekad se vrijednosti u prvoj aproksimaciji ne računaju po kinematskoj metodi, nego se pretpostave — za male površine to može biti čak povoljnije, jer se prije može doći do rezultata. Da bi se olakšao proračun, odnosno da se eventualne zabune i greške svedu na minimum, dobro je sve parcijalne rezultate prikazati tabelarno. Osim toga, kod velikog broja presjeka račun se može pojednostaviti i znatno ubrzati izradom prikladnih grafikona i nomograma za pojedine parcijalne vrijednosti te korištenjem kompjutorske tehnike.

Nije potrebno dokazivati kolike se uštede postižu računom po ovoj metodi. Dok je ukupni volumen osnovne mreže iz primjera po kinematskoj metodi prelazio 140.000 m³ iskopa, dotle metoda akumulacije u trećoj aproksimaciji daje nešto preko 100.000 m³, a u četvrtoj bi se ta količina još nešto i smanjila. Ako tome dodamo i prateće objekte, obaloutvrde i sl. što dolazi u mreži, slobodno se može reći da uštede na investicijama prelaze vrijednost od 40 %. Prema tome ova se metoda proračuna u svakom slučaju može preporučiti.

LITERATURA:

1. *Constantinidis, C.*: Bonifica ed irrigazione, Edagricole, Bologna, 1970.
2. *De Marchi, G.*: Nozioni di idraulica, Bologna, 1953.
3. *Kos, Z.*: Proračun odvodne melioracione mreže, Građevinar 2/67.
4. *Ongaro, G.*: Il calcolo delle reti idrauliche di bonifica, Edagricole, Bologna, 1958.
5. *Zampighi, A., Fanelli, L.*: Idraulica applicata con particolare riguardo alle bonifiche, Hoepli, Milano, 1954.

HIDRAULIKA OTVORENIH KANALA

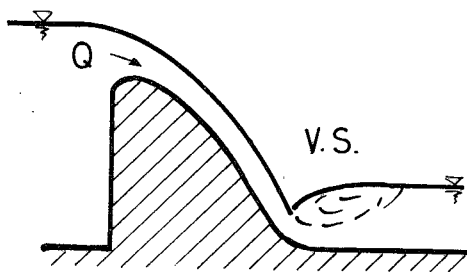
— II dio

Mr KREŠIMIR ŽIC, dipl. inž. građ.

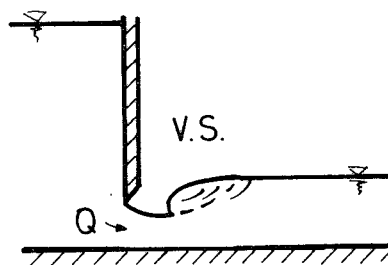
I VODNI SKOK

Vodni skok predstavlja diskontinuitet u liniji vodnog lica, a javlja se na mjestu prijelaza iz silovitog u mirno strujanje. Vodni skok je i mjesto velike disipacije energije.

Na slikama 1. i 2. prikazana su uobičajena mjesta pojave vodnoga skoka.



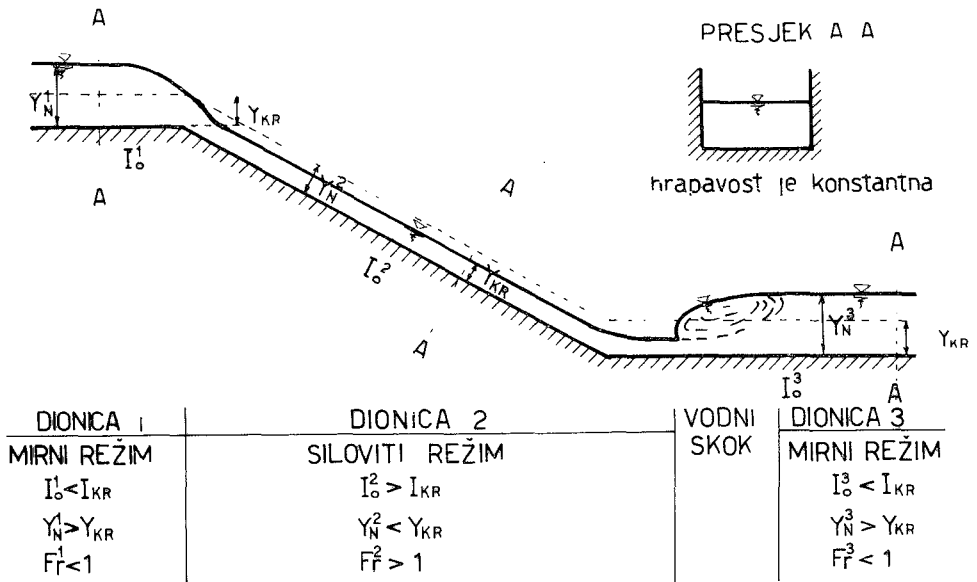
Slika 1.



Slika 2.

U cilju potpunijeg sagledavanja vodnog skoka kao jednog od elemenata koji se javlja kod strujanja sa slobodnim vodnim licem prodiskutirajmo sliku 3.

Pođemo li od uzvodne dionice 1, vidimo da je tu mirni režim; normalna dubina y_{N1} je veća od kritične dubine presjeka y_{kr} . Kako je naredna dionica sa $I_0 > I_{kr}$, dakle dionica sa silovitim režimom strujanja, tu je normalna dubina y_{N2} manja od kritične dubine y_{kr} . Prijelaz iz jednog režima u drugi odvija se kroz kritičnu dubinu koja se formira na mjestu promjene režima (opisano u knjizi 3, Priručnika). Nakon dionice sa silovitim strujanjem ponovo dolazi dionica s mirnim režimom strujanja. Ovaj prijelaz iz silovitog u mirno strujanje nije putem nekog glatkog oblika krivulje slobodne površine. Treba napomenuti da zbog energije dolaznog toka i kada se prijeđe na dionicu sa $I_0 < I_{kr}$ još je neko vrijeme $y_N < y_{kr}$, međutim kada se količina gibanja i hidrostatički pritisak nizvodnog strujanja (određeno nizvodnim uvjetima) izjednači s uzvodnim, tada će doći do vodnog skoka.



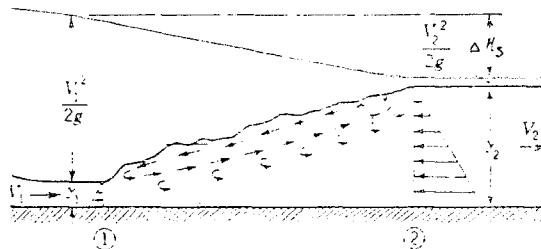
Slika 3.

Kod vodnog skoka razlikujemo nekoliko elemenata:

1. konjugirane dubine u vodnom skoku,
2. tipovi vodnog skoka,
3. gubitak energije u vodnom skoku,
4. položaj vodnog skoka,
5. potopljenost vodnog skoka,
6. dužina vodnog skoka,
7. slapište ili bučnica.

1. KONJUGIRANE DUBINE U VODNOM SKOKU

1.1. Pravokutni presjek na horizontalnoj podlozi



Slika 4.

Već je rečeno da se vodni skok događa na mjestu uravnoteženja količine gibanja i pritiska uzvodnog i nizvodnog toka. Ako napišemo te vrijednosti

za uzvodni tok — presjek 1—1 i za nizvodni tok — presjek 2—2, prema slici 4, te ih izjednačimo, dolazimo do relacije:

$$\rho g \frac{y_1^2}{2} + \rho \frac{q^2}{y_1} = \rho g \frac{y_2^2}{2} + \rho \frac{q^2}{y_2} \quad (1)$$

gdje je:

- q — protok po jedinici širine, $q = \frac{Q}{B}$
- ρ — gustoća vode
- g — akceleracija sile teže
- y_1, y_2 — dubine vode u presjecima 1 i 2.

Sređivanjem izraza 1 dolazi se do relacije za dubinu poslije skoka u pravokutnom kanalu:

$$y_2 = \frac{y_1}{2} (-1 + \sqrt{1 + 8 Fr_1}) \quad (2)$$

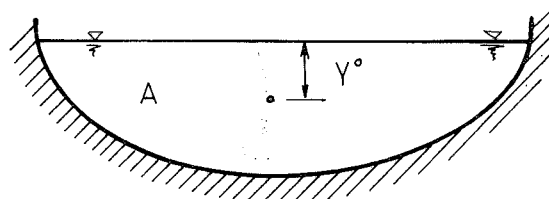
gdje je:

$$Fr_1 \text{ — Froudeov broj za presjek 1; } Fr_1 = \frac{v_1^2}{gy_1} = \frac{q^2}{gy_1^3}$$

Dubine y_1 i y_2 se zovu spregnute ili konjugirane dubine vodnog skoka, y_1 je prva, a y_2 druga konjugirana dubina. Dubina y_1 je određena uzvodnim uvjetima strujanja, a y_2 je ona dubina uz koju bi se uzvodna energija uravnotežila (ne znači da postojeći nizvodni uvjeti formiraju baš tu dubinu — vidi potopljenost vodnog skoka). Jednadžba 2 daje dobre rezultate za padove kanala manje od 0,05. Za veće padove trebalo bi uključiti i komponente gravitacije u jednadžbu 1.

1.2. Presjek općeg oblika na horizontalnoj podlozi

Jednadžba 1 se odnosi na pravokutni poprečni presjek. Za poprečni presjek različit od pravokutnog, prema slici 5, postavili bismo jednadžbu analognu jednadžbi 1, tj.:



Slika 5.

$$\rho g A_1 y_1^\circ + \rho \frac{Q^2}{A_1} = \rho g A_2 y_2^\circ + \rho \frac{Q^2}{A_2} \quad (3)$$

gdje su:

A_1 i A_2 — površine poprečnih presjeka 1 i 2

y_1°, y_2° — težišta površina A_1 i A_2 u odnosu na slobodnu površinu

Q — ukupna protoka.

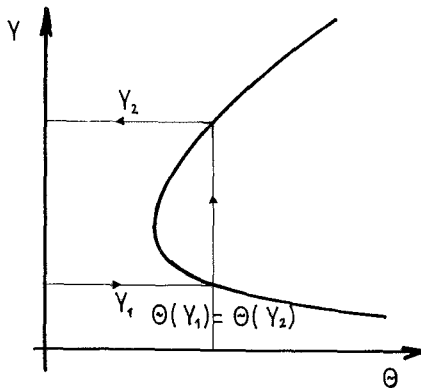
Jednadžba 3 može se pisati u obliku

$$\Theta(y_1) = \Theta(y_2) \quad (4)$$

gdje je s Θ obilježen izraz

$$\Theta(y) = \frac{Q^2}{gA} + Ay^\circ \quad (5)$$

i koji se naziva funkcija skoka.



Slika 6.

Očito je da za korito datog oblika, uz konstantan proticaj za koji tražimo konjugirane dubine Θ zavisi samo od y . Postupak određivanja konjugiranih dubina provodi se na slijedeći način:

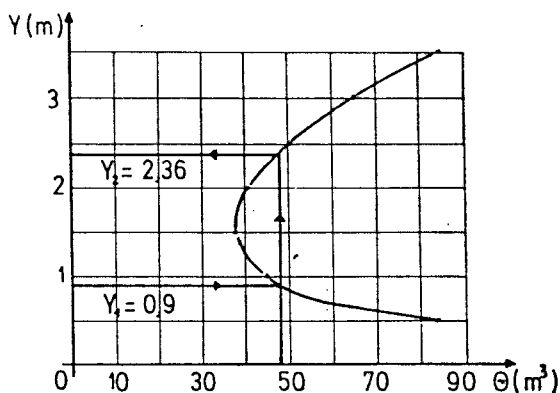
- za razne vrijednosti y , a za datu protoku Q , izračuna se niz vrijednosti funkcija skoka Θ
- proračunate vrijednosti se zatim ucrtaju i dobiva se graf kao na slici 6.
- za y_1 se proračuna $\Theta(y_1)$ i s te točke na krivulji podigne se vertikala opet do krivulje; ta točka predstavlja $\Theta(y_2)$; iz slike se sada očita i y_2 .

Primjer 1:

Za trapezni kanal širine u dnu $b = 10,0$ m, nagiba strana 1 : 1, kroz koji protječe $Q = 65,0$ m³/s, treba naći drugu konjugiranu dubinu u vodnom skoku u slučaju ako je prva konjugirana dubina neposredno ispred skoka poznata i iznosi $y_1 = 0,9$ m.

Tabela 1

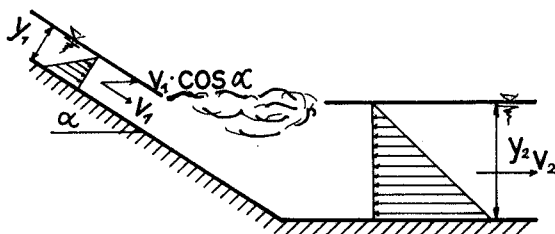
y (m)	y ^o (m)	A (m ²)	Q (m ³)
0.5	0.25	5.25	83.33
1.0	0.48	11.00	44.49
1.5	0.72	17.25	37.34
2.0	0.94	24.00	40.61
2.5	1.17	31.25	50.24
3.0	1.38	39.00	65.04
3.5	1.60	47.25	84.66



Slika 7.

1.3. Kosa podloga

U slučaju da su uvjeti toka takvi da će se vodni skok desiti na kosoj podlozi kako je prikazano na slici 8, tada se veza između konjugiranih dubina može dati relacijom



Slika 8.

$$y_2 = \frac{y_1}{2 \cos \alpha} \left(\sqrt{\frac{8 F_1 \cos^3 \alpha}{1 - 2 \phi \operatorname{tg} \alpha} + 1} - 1 \right) \quad (6)$$

gdje je ϕ empirijski koeficijent koji se može u zavisnosti od pada dna $I_0 = \operatorname{tg} \alpha$ i F_1 odrediti iz dijagrama datog na slici 9.

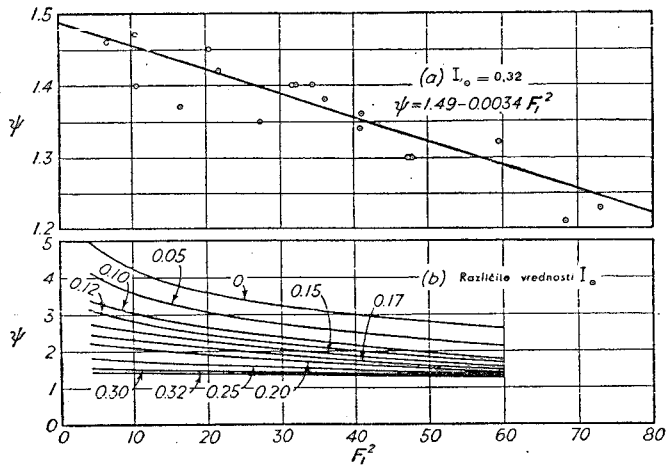
Na slici 10. su date eksperimentalne vrijednosti između F_1 i y_2/y_1 ili d_2/d_1 u vodnom skoku ako je cijela dionica pod padom.

1.4. Prostorni vodni skok

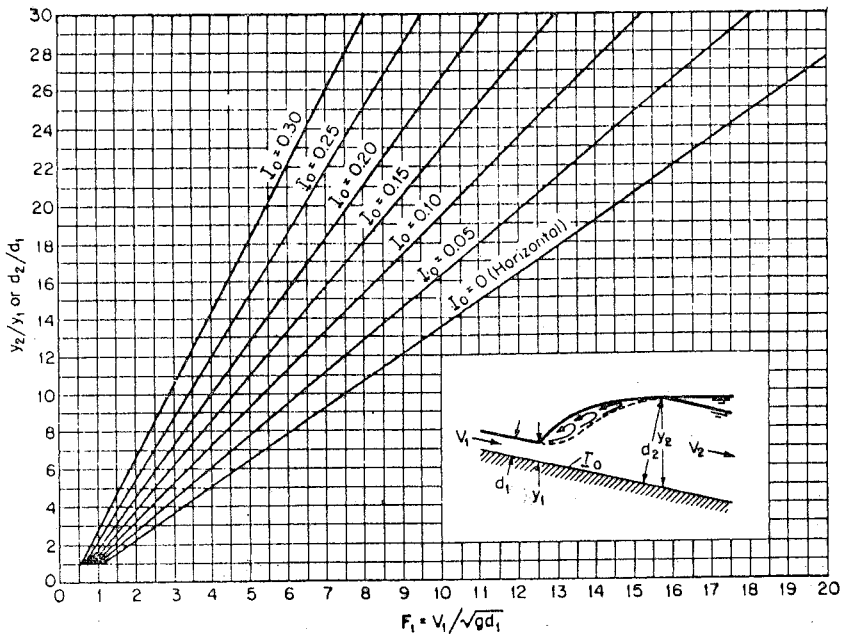
U slučaju prostornog vodnog skoka (slika 11) je druga (ili nizvodna) konjugirana dubina manja negoli kod ravninskog slučaja. Ako drugu konjugiranu dubinu u tom slučaju označimo s y_2' , možemo pisati

$$y_2' = y_2 \beta \quad (7)$$

gdje koeficijent β vadimo iz tabele 2 u funkciji odnosa širine slapišta prema širini uzvodnog kanala.



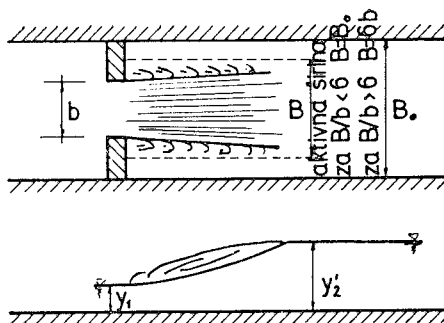
Slika 9.



Slika 10.

Tabela 2

B/b	1	2	3	4	5	6
β_g	1.0	0.39	0.79	0.72	0.67	0.63



Slika 11.

2. TIPOVI VODNOG SKOKA

Na slici 12 su dati karakteristični tipovi vodnog skoka, a u funkciji Froudeovog broja u nešto drugačijem obliku nego što smo ga do sada koristili, tj.

$$F_1 = \sqrt{Fr_1} = \frac{v_1}{\sqrt{gy_1}}$$

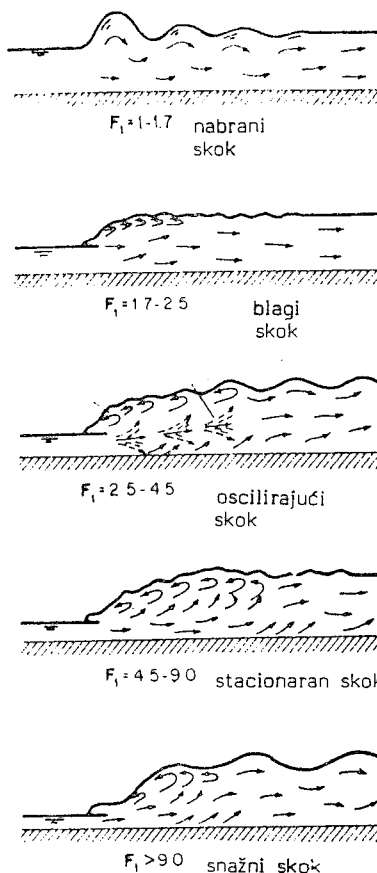
Ovo je oblik koji se obično sreće u zapadnoj literaturi. Razlikujemo:

a) $F_1 = 1-1,7$ nabrani vodni skok; nema karakterističnog valjka i brzine dosta pulziraju.

b) $F_1 = 1,7-2,5$ nestaje nabiranje površine i nastaje karakteristično miješanje vode i zraka s blagim povratnim strujanjem; profil brzina je jednolik, a gubici energije su mali. Ovaj se vodni skok zove blagi.

c) $F_1 = 2,5-4,5$ javlja se oscilirajući mlaz u skoku koji ide od površine do dna bez nekog određenog ciklusa. Oscilacije uzrokuju valove različitog perioda koji, obično u kanalima, putuju nizvodno praveći štetu na obalama. Ovaj se skok zove oscilirajući.

d) Za $F_1 = 4,5-9,0$ strujanja u vodnom skoku i njegov položaj najmanje su osjetljivi na variranje donje vode. Vodni skok je dobro izbalansiran i ima najbolje osobine. Disipacija energije se kreće od 45 % do 70 %. Ovaj se skok zove stacionaran (stabilan).



Slika 12.

e) Za $F_1 > 9,0$ je potrebna velika nizvodna dubina da drži ravnotežu unutar vodnog skoka. Disipacija energije može doći i do 85 %. Ovaj se skok zove snažni vodni skok.

Svakako da treba napomenuti da je F_1 definiran uzvodnim uvjetima toka.

3. GUBITAK ENERGIJE U VODNOM SKOKU

Gubitak energije u vodnom skoku jednak je razlici energija u presjecima prije i poslije skoka. Označimo li sa ΔH_s taj gubitak, tada prema oznakama na slici 4. možemo napisati Bernoullijevu jednadžbu

$$y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = y_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta H_s \quad (8)$$

pri čemu je za pravokutno korito

$$\Delta H_s = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4 y_1 y_2} \quad (9)$$

4. POLOŽAJ VODNOG SKOKA

Već smo rekli da se vodni skok javlja na prijelazu iz silovitog u mirni tok, i to na onom mjestu gdje se količina gibanja i pritisak uzvodnog toka izjednači s količinom gibanja i pritiskom nizvodnog toka. Iz ovoga smo uvjeta došli i do izraza za konjugirane dubine, a njegovim se korištenjem dolazi i do mjesta vodnog skoka. Jednostavno ćemo proračunati vodno lice uzvodnog toka (silovitog — treba se podsjetiti da se ovo vodno lice treba računati od nekog uzvodnog rubnog uvjeta, tj. u nizvodnom smjeru). U svakom presjeku u kojem računamo dubinu izračunat ćemo i funkciju skoka — jed. 5 — koja predstavlja zbir količine gibanja i pritiska u svakom presjeku. Na isti ćemo način proračunati i vodno lice nizvodnog mirnog toka (njega računamo od nekog nizvodnog rubnog uvjeta, tj. uzvodno), te isto tako za svaki presjek gdje računamo dubinu vode računat ćemo i funkciju skoka. Zatim ćemo nacrtati na jednoj slici obje te krivulje s uzvodnim i nizvodnim funkcijama skoka; tamo gdje se te krivulje sijeku izjednačuje se energija uzvodnog i nizvodnog toka, tj. tu se događa vodni skok.

Primjer 2:

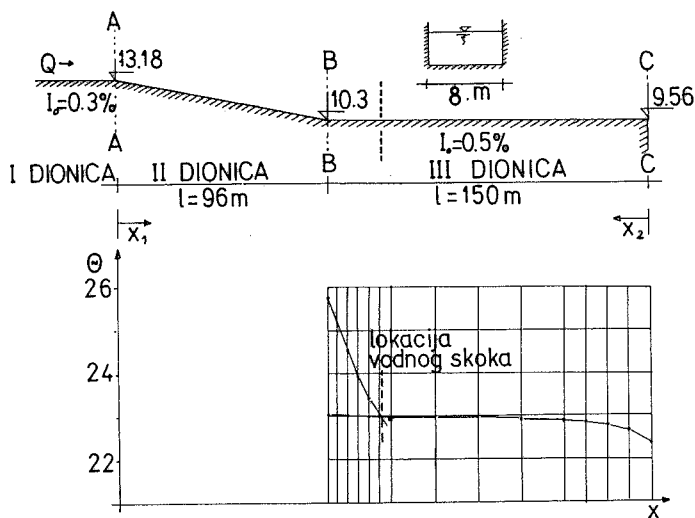
Proračunaj položaj vodnog skoka u kanalu pravokutnog poprečnog presjeka s elementima datim na slici 13.

Zadano:

$$Q = 40 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$K = 40$ — Stricklerov koeficijent hrapavosti

Ako prvo proračunamo kritičnu dubinu, dobijemo $y_{kr} = 1,37$ m. Nakon toga proračunat ćemo normalne dubine na pojedinim dionicama i dobivamo $y_{NI} = 1,93$ m, $y_{NII} = 0,89$ m i $y_{NIII} = 1,60$ m, iz čega slijedi da je na prvoj i trećoj dionici mirni tok (normalna je dubina veća od kritične), a na drugoj dionici silovito (normalna dubina manja od kritične).



Slika 13.

Na osnovi prethodno proračunatog i zaključenog možemo prijeći na proračun vodnog lica na dionici II i III koje su nam interesantne, jer znamo da će se negdje na njihovu prijelazu dogoditi vodni skok. Pored vodnog lica, računat ćemo i funkciju skoka. Dionicu II ćemo računati nizvodno, od presjeka A—A u kojem znamo da će biti kritična dubina (prijelaz iz mirnog u silovit tok); a dionicu III ćemo računati uzvodno od presjeka C—C u kojem će se također formirati kritična dubina. Rezultati proračuna dati su u tablici 3.

5. POTOPLJENOST VODNOG SKOKA

Za drugu konjugiranu dubinu y_2 vodnog skoka kazali smo da je to dubina nizvodnog toka uz koju bi se uravnotežile sile uzvodnog i nizvodnog toka. Može se kazati da bi nam ta (ili bar ta) dubina trebala da se uzvodni siloviti tok smiri. Međutim, nizvodni uvjeti toka mogu, ali ne moraju omogućiti postizanje te dubine. Na slici 14. dati su karakteristični slučajevi koji se mogu javiti.

Na sl. 14. je s »t« označena dubina donje vode koju diktiraju nizvodni uvjeti.

Kazali smo već da je vodni skok mjesto velike disipacije (trošenja) energije koja se odvija kroz izraženo turbulentno strujanje, pulzaciju brzina i slično. Takvu veliku disipaciju energije mi praktično koristimo u cilju smirivanja silovitog strujanja. Međutim, ne smijemo dozvoliti da se takvo veliko vrtloženje odvija izvan naše kontrole, pa u tom svjetlu moramo i promatrati vodni skok, odnosno u tom smislu ćemo prokomentirati i sliku 14. Zapažaju se tri karakteristična slučaja.

U prvom slučaju je dubina donje vode t jednaka drugoj konjugiranoj dubini y_2 . Ovakav vodni skok se zove normalni vodni skok. U ovom

Tabela 3.

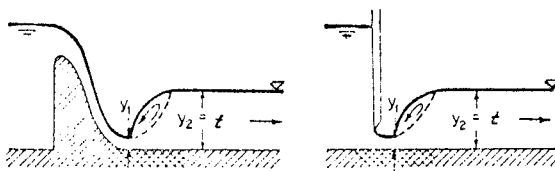
x_1	y	Q
m	m	m ³
0.0	1.37	
10.0	1.10	
20.0	1.02	
30.0	0.98	
40.0	0.95	
60.0	0.93	
80.0	0.91	
90.0	0.91	
96.0	0.91	25.72
100.0	0.94	25.22
105.0	0.99	24.51
110.0	1.04	23.93
115.0	1.09	23.46
120.0	1.15	23.02

x_2	y	Q
m	m	m ³
0.0	1.37	22.39
10.0	1.53	22.69
20.0	1.56	22.80
30.0	1.57	22.85
40.0	1.58	22.89
60.0	1.59	22.93
80.0	1.60	22.98
100.0	1.60	22.98
120.0	1.60	22.98
130.0	1.60	22.98
140.0	1.61	23.03
150.0	1.61	23.03

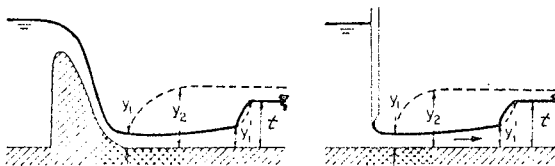
slučaju vrijednosti Fr_1 , y_1 i $t (= y_2)$ zadovoljavaju jed. 2, i vodni skok će se desiti neposredno nizvodno od objekta. S obzirom na kontrolu vodnog skoka, ovo je idealan slučaj za jednu rezervu. Kako su ovdje sve vrijednosti u ravnoteži, to se u slučaju mogućih izvjesnih odstupanja između stvarnih i računskih vrijednosti može desiti i premještanje položaja vodnog skoka. Ovakav se vodni skok još zove nestabilan ili kritičan.

U drugom slučaju je donja voda t niža od druge konjugirane dubine y_2 (tj. manja od dubine potrebne za uravnoteženje s uzvodnim tokom) pa se vodni skok pomiče nizvodno od mjesta gdje se sile izjednačuju, tj. vodni skok je odbačen od objekta do mjesta gdje se sile izjednačuju. Ovaj slučaj treba, ako je ikako moguće, izbjeći jer mjesto vodnog skoka kao mjesto vrtloženja (i ugrožavanja bokova i podloge) posebno i osiguravamo. Kad već moramo mjesto skoka »ojačati« onda želimo da nam to mjesto bude uz sam objekt (branu, zapornicu i slično), a ne da moramo štitići dužu nizvodnu dionicu kao moguće mjesto pojavljivanja vodnog skoka.

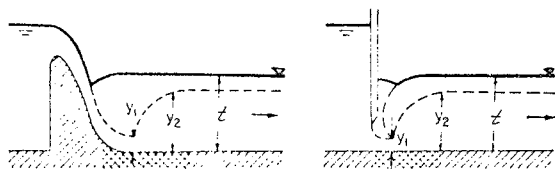
U trećem slučaju donja voda t veća je od y_2 , pa je vodni skok p o t o p l j e n. Iako je ovo najsigurniji slučaj, jer je vodni skok sigurno uz objekt, ipak ima jednu negativnu stranu — a to je manja disipacija energije.



$$1: t = y_2$$



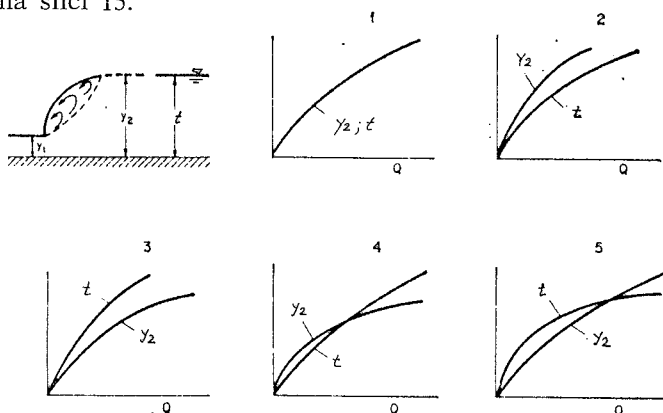
$$2: t < y_2$$



$$3: t > y_2$$

Slika 14.

Na slici 14. su dati odnosi y_1 , y_2 i t za neku fiksnu donju vodu t . Kako su, međutim, sve te vrijednosti u osnovi funkcija protoke Q koja varira od 0 do Q_{\max} , to se u tom rasponu Q javlja i cijeli raspon odnosa y_2 i t koji su prikazani na slici 15.



Slika 15.

Odnos koji se zahtijeva između y_2 i t dat je u relaciji 10.

$$t = \sigma \cdot y_2 \quad (10)$$

gdje je σ koeficijent sigurnosti i kreće se od 1,05 do 1,10.

6. DUŽINA VODNOG SKOKA

Dužina vodnog skoka je udaljenost između čela skoka i kraja vrtloga. Ova udaljenost se ne može lako teoretski odrediti, tako da je bila predmet istraživanja mnogih hidrauličara.

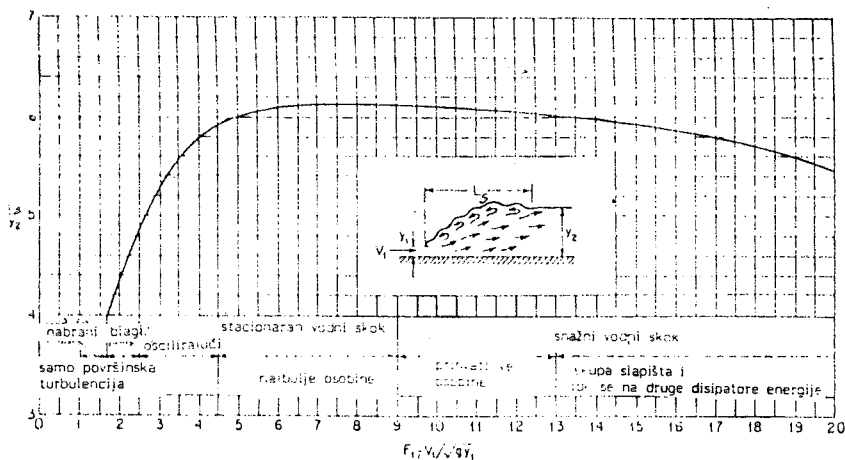
Peterka je eksperimentalno dobio formule:

$$\frac{L_s}{y_1} = 10 (F_1 - 1) - 0,0289 (F_1 - 1)^{2,3978} \quad (11)$$

ili

$$\frac{L_s}{y_2} = \frac{10 (F_1 - 1) - 0,0289 (F_1 - 1)^{2,3978}}{\frac{1}{2} (-1 + \sqrt{1 + 8 F_1^2})} \quad (12)$$

U nastavku se daju dva dijagrama za određivanje duljine vodnog skoka, koji se obično sreću u literaturi:



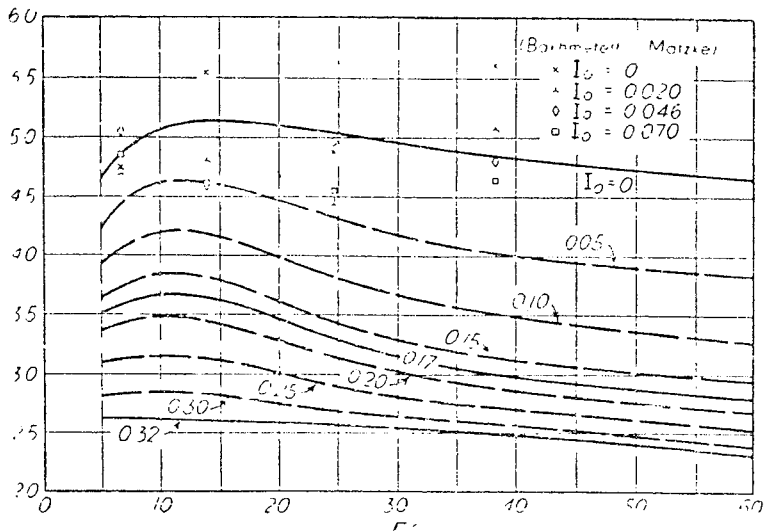
Slika 16. Dužina skoka u funkciji y_2 u horizontalnom kanalu

7. SLAPIŠTE

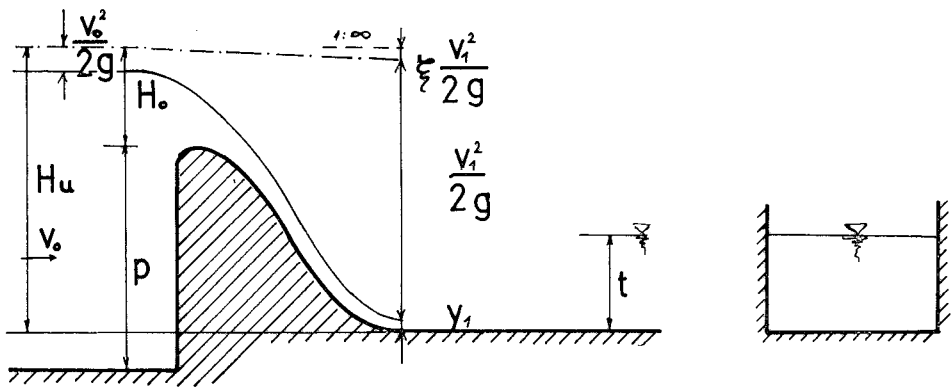
a) Proračun prve konjugirane dubine

U skladu sa slikom 18. možemo pisati da je:

$$H_u = y_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \xi \frac{v_1^2}{2g} \quad (13)$$



Slika 17. Dužina skoka u kanalima u nagibu kao funkcija F_1 i I_0



Slika 18.

gdje je ξ koeficijent gubitka energije, a druge veličine se vide sa slike. Za pravokutan presjek vrijedi da je $q = \frac{Q}{B}$; $v_1 = \frac{q}{y_1}$; izraz 13. se obično piše u formi

$$y_1 = \frac{q}{\beta \sqrt{2g(H_u - y_1)}} \quad (14)$$

gdje je β koeficijent koji je jednak $\beta = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi}}$ i čija je vrijednost data u tabeli 4.

Tabela 4.

TIP OBJEKTA	β
Istjecanje ispod zapornice	1,0—0,95
Niske brane s $p < 15$ m i s glatkom konturom	1,0
Srednje brane s $p = 15$ m, s glatkom konturom	0,95
Više brane $p > 25$ m, s glatkom konturom	0,90
Brane glatke konture sa zapornicama na kruni	0,95—0,85

Budući da u jed. 14. y_1 figurira i s desne i s lijeve strane jednakosti, to se y_1 dobiva iterativno.

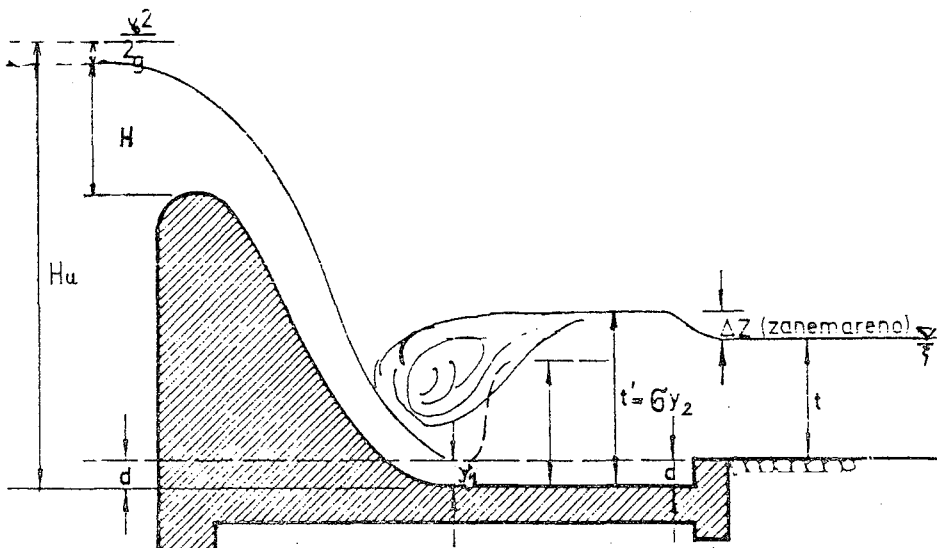
b) Nakon što se odredi y_1 proračunava se i druga konjugirana dubina y_2 nekim od izraza datim u točki 1.

c) Druga konjugirana dubina y_2 uspoređuje se s dubinom donje vode t i konstatira se da li je vodni skok potopljen, normalan ili odbačen (točka 5).

Ako je vodni skok u slapištu odbačen, potrebno je povećati dubinu vode u slapištu, što se može postići na tri načina:

1. spuštanjem slapišta izgradnjom tzv. bučnice,
2. podizanjem odbojnog zida na kraju slapišta,
3. izgradnjom složenog slapišta.

7.1. Proračun bučnice

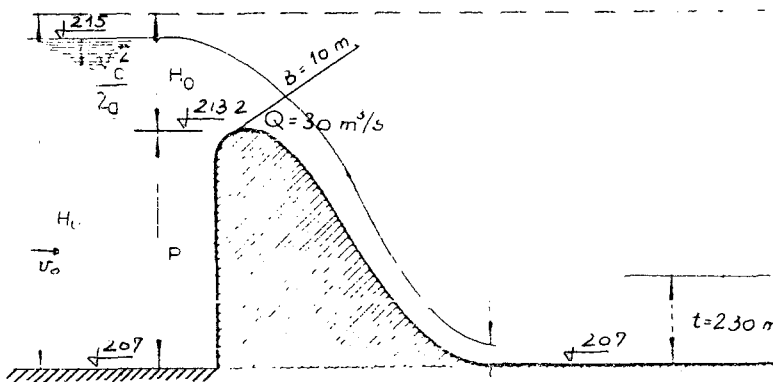


Slika 19.

Pri izvođenju bučnice smatra se da je dno nizvodnog kanala ostalo na istoj koti. Dimenzioniranje bučnice svodi se na određivanje dubine bučnice d , dok se dužina bučnice uzima 5 do 10 % više od dužine vodnog skoka.

Princip rada bučnice je taj da produbljenjem bučnice za vrijednost d postizemo da je donja voda t' veća, a idemo sve dotle dok ona nije σ puta veća od druge konjugirane dubine y_2 ($\sigma = 1,05 - 1,10$). Ovdje je potrebno primijetiti da, kako se mijenja kota dna bučnice (za razne d), mijenja se i H_u u jednadžbi 14, koja nam služi za proračun prve konjugirane dubine.

Primjer: Za branu s elementima datim na slici 20, potrebno je proračunati slapište.



Slika 20.

$$H_u = 215 - 207 + \frac{v_0^2}{2g} = 215 - 207 + \frac{30^2}{(215 - 207) \cdot 10 \cdot 2g} = 8,007 \text{ m}$$

$$q = \frac{30,0}{10,0} = 3,0 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}'$$

$$y_1 = \frac{q}{\beta \sqrt{2g(H_u - y_1)}}; \text{ za } p = (213,2 - 207,0) = 6,2 \text{ m}, \beta = 1,0$$

1. Pretpostavka $y_1 = 1,0 \text{ m}$

$$y_1 = \frac{3,0}{1,0 \sqrt{19,62(8,007 - 1)}} = 0,26 \text{ m}$$

2. Pretpostavka $y_1 = 0,26 \text{ m}$

$$y_1 = \frac{3,0}{1,0 \sqrt{19,62(8,007 - 0,26)}} = 0,24 \text{ m}$$

3. Pretpostavka $y_1 = 0,24$ m

$$y_1 = \frac{3,0}{1,0 \sqrt{19,62 (8,007 - 0,24)}} = 0,24 \text{ m}$$

$$v_1 = \frac{Q}{B \cdot y_1} = \frac{30,0}{10,0 \cdot 0,24} = 12,5 \text{ m/s}$$

$$Fr_1 = \frac{v_1^2}{g \cdot y_1} = \frac{12,5^2}{9,81 \cdot 0,24} = 66,37$$

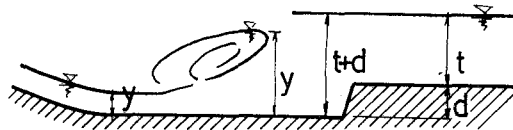
$$y_2 = \frac{0,24}{2} (\sqrt{1 + 8 \cdot 66,37} - 1) = 2,65 \text{ m} > t = 2,30 \text{ m}$$

Skok je odbačen!

Odabrano produbljenje $d = 1,0$ m

$$H_u = (215 - 207) + \frac{v_o^2}{2g} + d = 9,007 \text{ m}$$

Na isti način kao i prije dobili bismo $y_1 = 0,23$ m; $Fr_1 = 76,74$ i $y_2 = 2,72$ m.



Slika 21.

Sada je $y_2 = 2,72$ m $<$ $t + d = 2,3 + 1,0 = 3,3$ m; kako je $\sigma = \frac{t + d}{y_2} = \frac{3,3}{2,72} = 1,21 > 1,1$, odabiremo manje produbljenje $d = 0,6$ m.

$$H_u = 8,607 \text{ m}$$

$$y_1 = 0,23 \text{ m}$$

$$Fr_1 = 71,40$$

$$y_2 = 2,68 \text{ m} < t + d = 2,3 + 0,6 = 2,90 \text{ m}$$

$$\sigma = \frac{2,90}{2,68} = 1,08, \text{ što je u prihvatljivim granicama.}$$

7.2. Odbojni zid

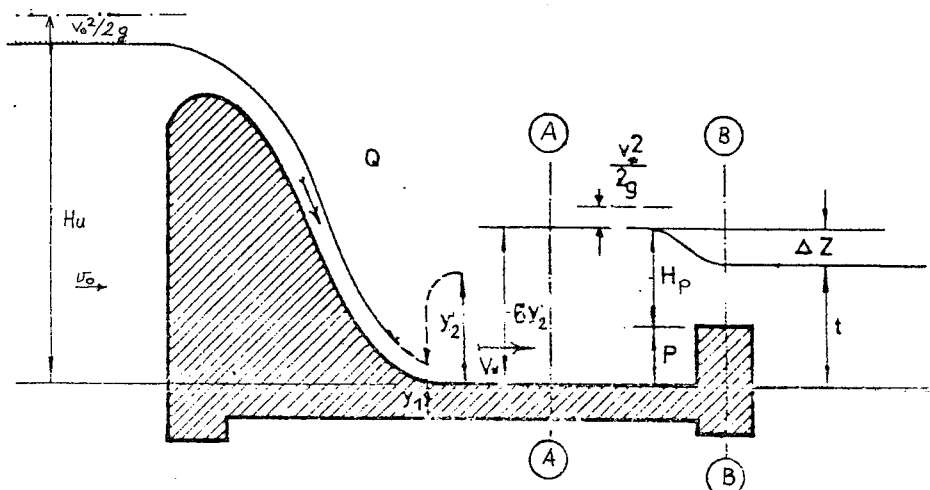
Pri izvođenju odbojnog zida smatra se da je dno nizvodnog kanala ostalo na istoj koti. Dok smo u prethodnom slučaju zanemarili denivelaciju Δz , ovdje se to ne može nikako napraviti jer odbojni zid radi kao preljev i kao takav stvara denivelaciju Δz , koja povećava dubinu vode u slapištu. Visina odbojnog zida p dobije se iz relacije:

$$p = \sigma y_2 - H_p \quad (15)$$

gdje je σ koeficijent sigurnosti ($\sigma = 1,05 \div 1,10$); y_2 druga konjugirana dubina koja je nezavisna od visine zida p , a H_p je visina preljevanja, prema slici 22.

Preljevanje može biti:

- nepotopljeno
- potopljeno.



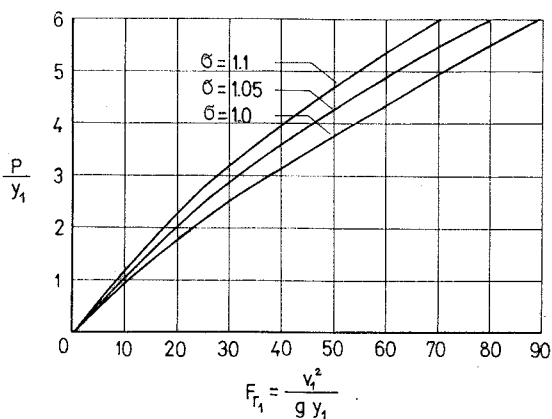
Slika 22.

Preljevanje je potopljeno, ukoliko vrijedi da je

$$t - p = a > y_{KR}, \quad (16)$$

tj. donja voda potapa kritičnu dubinu na zidu y_{KR} .

- Visina zida se za nepotopljeno preljevanje može definirati prema slici 23, za razne vrijednosti koeficijenta sigurnosti σ .



Slika 23.

b) Za slučaj potopljenog preljeva visina zida može se izračunati iz relacije

$$p = t \frac{q \sigma y_2}{C_v \sqrt{2g(\sigma y_2 - t)(\sigma y_2)^2 + q^2}} \quad (17)$$

gdje je C_v koeficijent koji se može uzimati u iznosu $C_v = 0,8$.

Prije konačnog usvajanja visine odbojnog zida trebalo bi provjeriti da li nizvodno od odbojnog zida dolazi do odbačenog skoka. Ako bi se to dogodilo, treba postaviti novi odbojni zid ili upotrijebiti kombinaciju bučnice i odbojnog zida.

7.3. Skraćeno slapište s objektima (tekst preuzet iz [4])

Dimenzioniranje slapišta koje se daje u ovoj točki bazira se na eksperimentima Bradleya i Peterke koji su svojim istraživanjima došli do zaključka da slapište treba vezati za tipove vodnog skoka, a u funkciji Froudeovog broja — vidi tablicu 5.

Razmatrana su 4 tipa slapišta od kojih je tip I bez ikakvih zubaca ili pragova. Ovaj se tip upotrebljava samo pri malom Fr . Ostala tri tipa snabdjevena su zupcima, odnosno pragovima. Na slikama 24, 25. i 26. prikazani su tipovi IV, III i II. Na istim slikama su date karakteristike zubaca.

Na slici 24. prikazan je tip IV, koji se primjenjuje kod prijelaznog stanja, za $6 \leq Fr_1 \leq 20$ ($2,5 < F_1 < 4,5$); zupci na slapištu ne omogućuju njegovo skraćivanje.

Tipovi II i III odgovaraju $20 < F_1 < 80$ ($4,5 < Fr_1 < 9,0$) i omogućuju da se skрати slapište prema jednadžbi 2.

$$\text{Za tip II} \quad l_s = 0,70 L_s$$

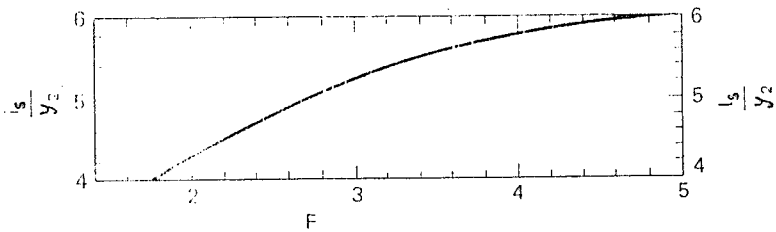
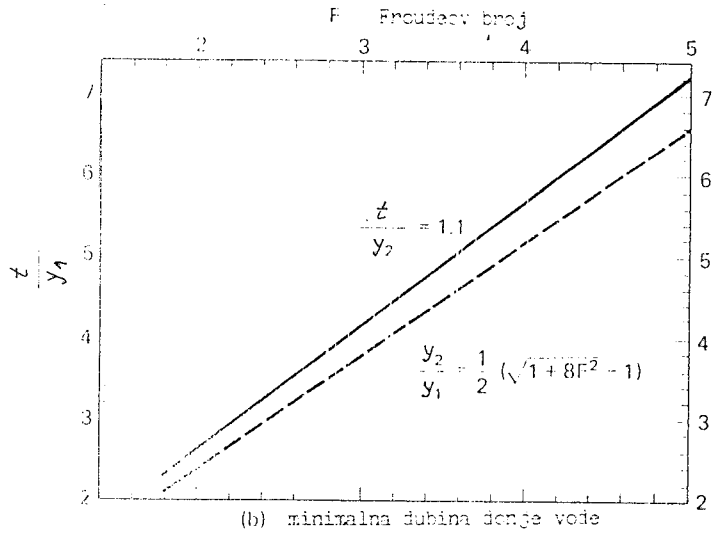
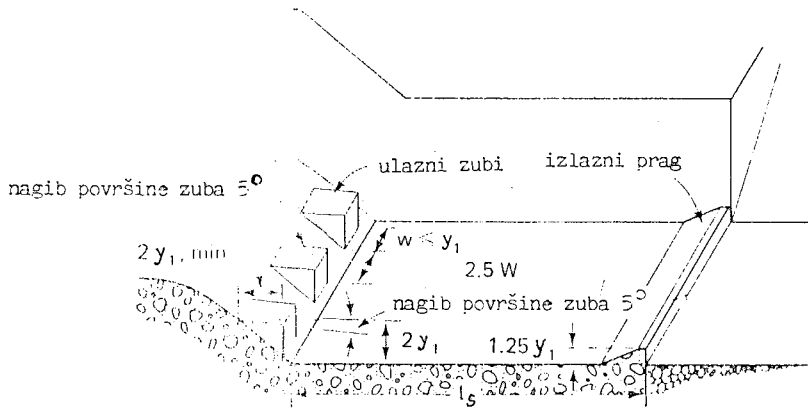
$$\text{Za tip III} \quad l_s = 0,50 L_s$$

Ovi tipovi dozvoljavaju i smanjenje dubine donje vode potrebne za izazivanje skoka, tako da imamo

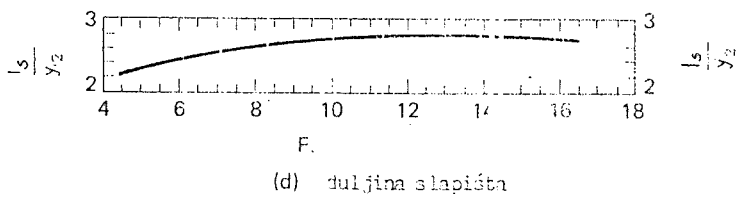
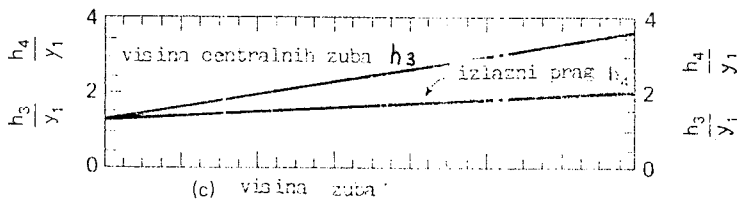
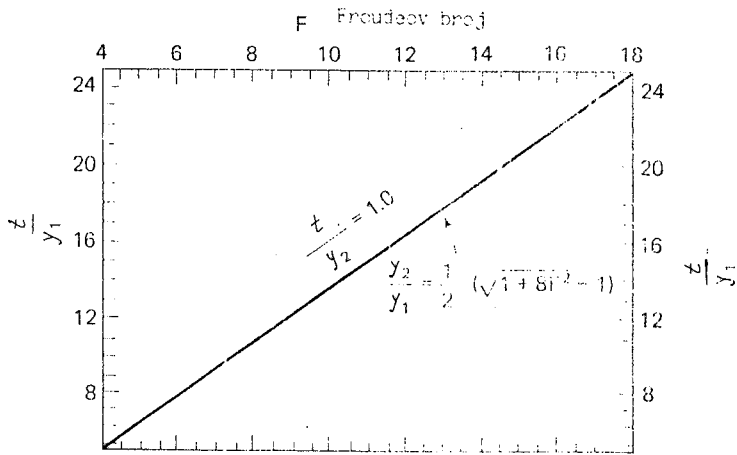
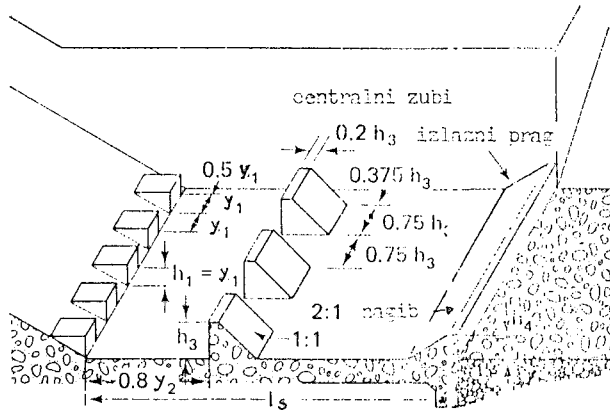
$$\text{Tip II} \quad D = 0,98 y_2$$

$$\text{Tip III} \quad D = 0,82 y_2$$

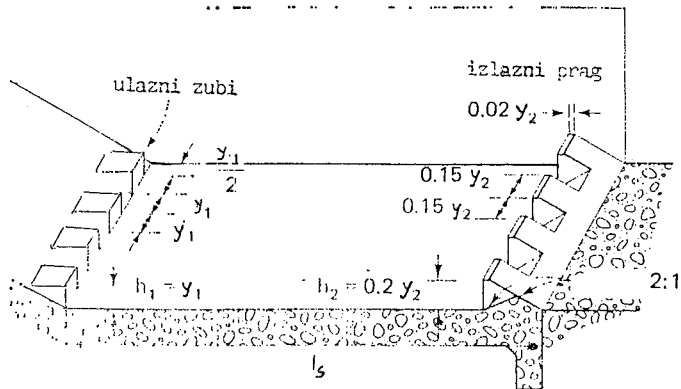
gdje je y_2 druga konjugirana dubina vodnog skoka. Na slikama su dati dijagrami s pomoću kojih se mogu odrediti duljina slapišta i minimalna donja voda.



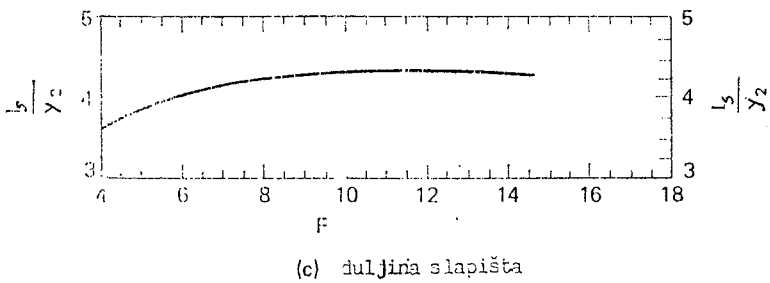
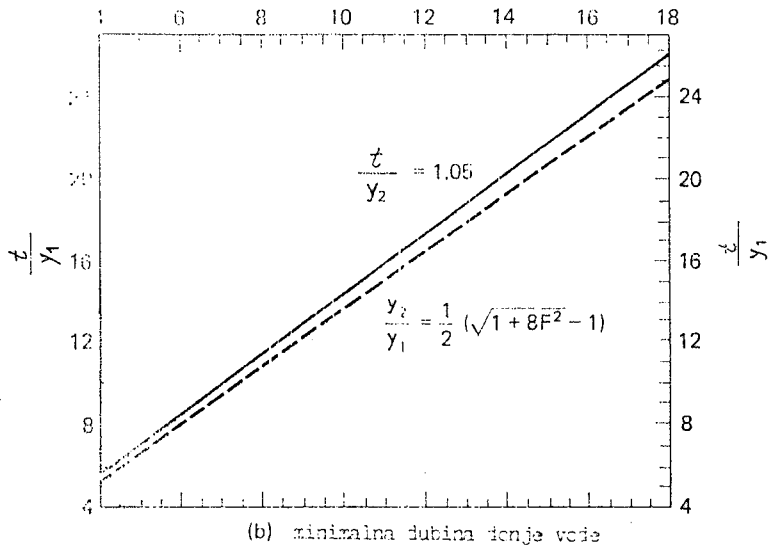
Slika 24. Slapište tipa IV



Slika 25. Slapište tipa III



F. Froudeov broj



Slika 26. Slapište tipa II

8. PREPORUKE ZA TRETIRANJE VODNOG SKOKA

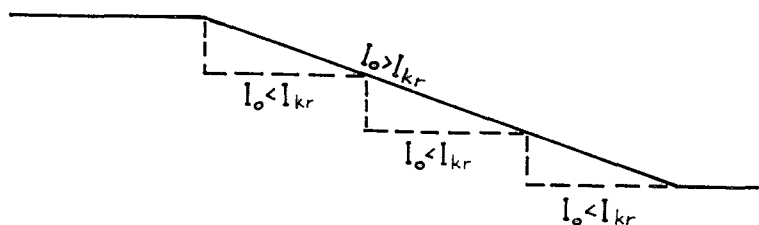
U nastavku će se dati preporuke za tretiranje vodnog skoka, koje su bazirane na eksperimentima U. S. Bureau of Reclamation.

Tabela 5.

№	Froudeov broj		Karakteristike skoka	Način projektiranja slapišta
	F_1	Fr_1		
1			Sl. 12a do 12c	Svi oblici vodnog skoka trebaju se događati u slapištu.
2	1,7÷2,5	3—6	Sl. 12b blagi skok	Nisu potrebni posebni umiritelji na slapištu. Potrebno je samo osigurati potrebnu dužinu slapišta, koje je relativno kratko.
3	2,5÷4,5	6—20	Sl. 12c oscilirajući skok za jako talasastom površinom. Valovi putuju nizvodno na znatnoj dužini oštećujući kosine zemljanih kanala.	Projektiranje slapišta pruža naročite poteškoće. Zupci na slapištu ne omogućuju njegovo skrašivanje. Ukoliko je moguće potrebno je promijeniti dimenzije objekta da bi se izašlo iz ovog raspona Froudeovih brojeva. Ako nije moguće, onda projektirati slapište prema sl. 24. Predvidjeti i površinske umiritelje, naročito kod derivacija s $Q = \text{const}$. Koeficijent sigurnosti $\sigma = 1,05 \div 1,1$.
4	4,5÷9,0	20÷80	Sl. 12d stabilan skok	Oblast u kojoj slapište najbolje funkcionira. Postoji mogućnost smanjenja dužine slapišta. Slapište prema sl. 26. (tip II za veće objekte), odnosno prema sl. 25. (tip III prvenstveno za manje kanalske objekte). Koeficijent sigurnosti se može uzeti $\sigma = 1,01 \div 1,02$.
5	9÷10	80÷100	Sl. 12e snažni vodni skok dobiva hrapavu površinu s valovima koji se prostiru nizvodno.	Vodni skok postaje veoma osjetljiv na donju vodu. Potrebno je predvidjeti dublje slapište sa $\sigma = 1,05 \div 1,10$. Slapište dimenzionirati prema tipu II (veći objekti), odnosno tipu III (manji objekti).
6	> 10	> 100		Za Froudeov broj veći od 10 (tj. 100) su obično povoljniji drugi oblici uništenja energije (ski skok), budući da bi trebala duboka slapišta s visokim zidovima, pa cijena objekta može biti u nerazmjeru s efektom koji se postiže.

II KASKADE

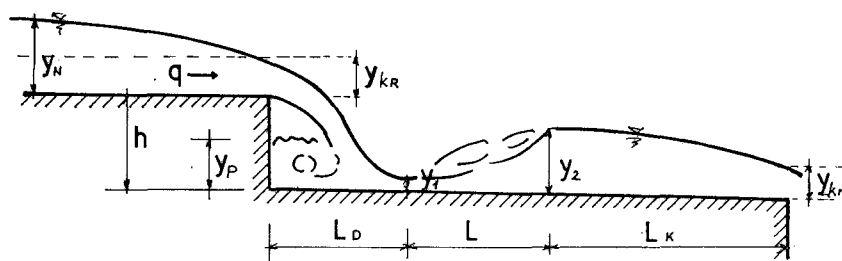
Ako postoji neka dionica s padom većim od kritičnog, tada je jedno rješenje za umirenje toka izvođenje kaskada formiranjem stepenica, kao što je to prikazano na slici 27.



Slika 27.

Svaku dionicu — kaskadu treba proračunati tako da se na njoj tok umiri. Broj kaskada jedne dionice zavisi od uvjeta toka i geometrije, ali treba napomenuti da je pojedina kaskada efikasna sve dok donja voda, diktirana nizvodnim uvjetima toka, ne potapa dubinu preljevanja na kaskadi.

U skladu s oznakama datim na slici 28. daju se izrazi za definiranje hidrauličkih parametara kod kaskada.



Slika 28.

Sve veličine su date u odnosu na parametar D koji je jednak

$$D = \frac{q^2}{gh^3} \quad (18)$$

gdje je q — protok po jedinici širine; g — akceleracija sile teže, a h visina stepenice. Hidraulički parametri su jednaki:

$$\frac{Ld}{h} = 4,30 D^{0,27} \quad (19)$$

$$\frac{y_p}{h} = 1,00 D^{0,22} \quad (20)$$

$$\frac{v}{h} = 0,54 D^{0,425} \quad (21)$$

$$\frac{y_2}{h} = 1,66D^{0,27} \quad (22)$$

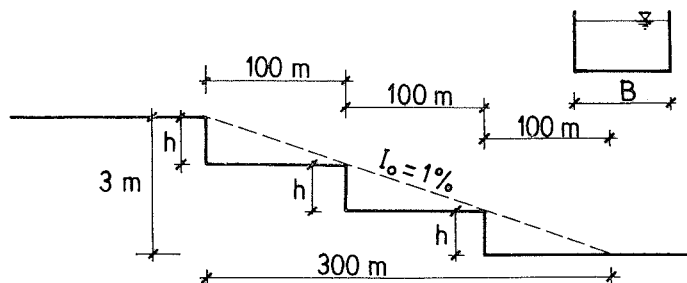
gdje je L_d — duljina dometa mlaza, tj. duljina od stepenice do prve konjugirane dubine y_1 ; y_p je dubina vode uz stepenicu; a y_2 je druga konjugirana dubina vodnog skoka.

Svakako da se i ovdje postavlja pitanje što je s donjom vodom. Nju bismo dobili u funkciji nizvodnih uvjeta toka. Vodni skok može biti potopljen, stabilan ili odbačen. Zadatak je umirenja toka na svakoj stepenici, pa ćemo u slučaju odbačenog vodnog skoka produbljivati slapište.

Na slici 28. zapažaju se tri duljine: L_d je duljina dometa mlaza i odredit ćemo je iz jed. 19, L_s je duljina vodnog skoka i odredit ćemo je iz odgovarajućih izraza iz točke 1, a duljina L je duljina do nizvodne kaskade. Kako nju odrediti? Donja voda t je funkcija duljine L ; naime, ako proračunavamo vodno lice polazeći od nekog nizvodnog kontrolnog profila, tada, sve dok se ne postigne normalna dubina, dubina vode raste s udaljenošću od kontrolnog profila (to je obično nizvodna kaskada). Budući da je nama u interesu veća dubina donje vode t (da ne bude odbačen skok), u skladu s ovim odabire se i geometrija kaskada, kako visina pojedine stepenice, tako i duljina do naredne. Ovo se može dobro vidjeti u slijedećem primjeru.

Primjer :

Na jednoj dionici rijeke korito je strmije od kritičnog pada, pa je na tom dijelu potrebno smiriti tok, tako da se jedan dio kinetičke energije gubi u vodnom skoku na kaskadama. Korito je prizmatično i pravokutnog je poprečnog presjeka.



Slika 29.

Odabrana je visina kaskade $h = 1,0$ m, slijedi $q = 250 / 40 = 6,25$ m³/s/m

$$D = \frac{q^2}{gh^3} = 6,25^2 / 9,81 \times 1^3 = 3,982$$

$$y_1 = 0,54 \times 3,982^{0,425} \times 1,0 = 0,972 \text{ m}$$

$$y_2 = 1,66 \times 3,982^{0,27} \times 1,0 = 2,411 \text{ m}$$

$$L_d = 4,30 \times 3,982^{0,27} \times 1,0 = 6,244 \text{ m}$$

Dužina vodnog skoka se odredi analitički (jed. 2) ili iz dijagrama na slici 16:

$$F_1 = \frac{v_1}{\sqrt{gy_1}} = 6,433 / \sqrt{9,81 \times 0,972} = 2,084$$

$$v_1 = \frac{q}{y_1} = 6,25 / 0,972 = 6,433 \text{ m/s}$$

Iz dijagrama slijedi

$F_1 \rightarrow L_s / y_2 = 4,2$ — blagi skok

$$L_s = 4,2 \times 2,411 = 10,12 \text{ m}$$

$$L_d + L_s = 6,244 + 10,12 = 16,368 \text{ m}$$

ili analitički

$$L_s = \left\{ [10 (F_1 - 1) - 0,0289 (F_1 - 1)^{2,3978}] / [0,5 (-1 + \sqrt{1 + 8 F_1^2})] \right\} \cdot y_2$$

$$L_s = 4,31 \times 2,411 = 10,38 \text{ m}$$

$$L_d + L_s = 16,62 \text{ m}$$

Dužina bučnice (zaštićeni dio korita)

$$L_b = \sigma \times (L_d + L_s) = 1,1 \times 16,368 = 18,0 \text{ m (ili 18,28 m)}$$

$\sigma = 1,05 \div 1,1$ — koeficijent sigurnosti

Dalje je potrebno odrediti nizvodne uvjete tečenja, tj. dubinu donje vode, kako bi se moglo odrediti da li će vodni skok biti potpun, potopljen ili odbačen. Proviđi se proračun vodnog lica iterativnom metodom od nizvodne kaskade u uzvodnom smjeru.

Na nizvodnoj kaskadi se formira kritična dubina, pa je to ujedno i početni profil u proračunu (kontrolni profil).

Z a d a n o :

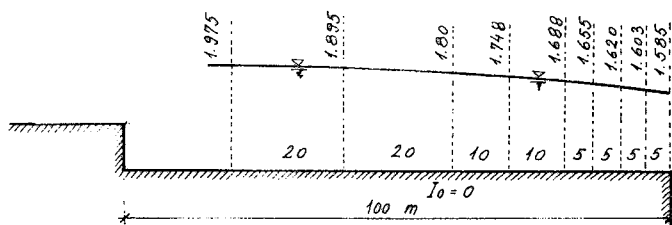
$K = 35$ (Štriklerov koeficijent hrapavosti)

$\alpha = 1,1$ (Koriolisov broj)

Od prije nam je poznato $q = 6,25 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$

$$y_{kr} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{6,25^2 / 9,81} = 1,585 \text{ m}$$

Rezultati proračuna vodnog lica prikazani su na skici.

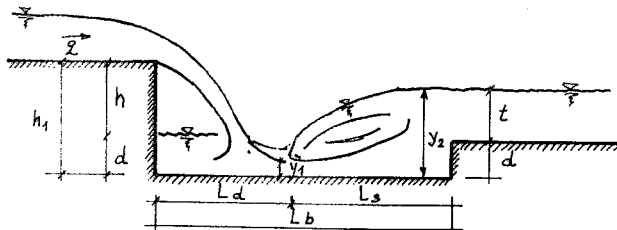


Slika 30.

Vidimo da je dubina donje vode jednaka

$$t = 1,975 \text{ m} < y_2 = 2,411 \text{ m}$$

iz čega slijedi da bi vodni skok bio odbačen. Kako bi u tom slučaju bilo potrebno zaštititi korito na znatno duljoj dionici, ono se produbljuje. Odnosi su vidljivi na skici:



Slika 31.

S produbljenjem se ide sve dok se ne postigne uvjet potopljenosti, odnosno

$$t + d \geq \sigma y_2.$$

Odabiremo

$$d = 0,7, \text{ pa je tada } h_1 = h + d = 1,0 + 0,7 = 1,7 \text{ m}$$

$$D_1 = \frac{q^2}{gh_1^3} = \frac{6,25^2}{9,81 \times 1,7^3} = 0,811$$

$$y_2 = h_1 \cdot 1,66 \cdot D_1^{0,27} = 2,665 \text{ m}$$

$$t + d = 1,98 + 0,7 = 2,68 \text{ m} > y_2 = 2,665 \text{ m (na granici sigurnosti).}$$

Radi sigurnosti potrebno je produbiti bučnicu za

$$d = \sigma \cdot (t + d) - t$$

$$d = 1,05 \times 2,68 - 1,98 = 0,83 \text{ m.}$$

Odabire se $d = 0,85 \text{ m}$.

Postupak se ponavlja.

$$h_2 = h + 0,85$$

$$h_2 = 1,0 + 0,85 = 1,85 \text{ m}$$

$$D_2 = \frac{q^2}{gh^3} = \frac{6,25^2}{9,81 \times 1,85^3} = 0,629$$

$$y_1 = 0,54 \times h_2 \times D_2^{0,425} = 0,820 \text{ m}$$

$$y_2 = h_2 \times 1,66 \times D_2^{0,27} = 2,710 \text{ m} < t + d = 2,83 \text{ m}$$

$$\sigma = \frac{t + d}{y_2} = 1,042$$

$$L_d = h_2 \times 4,3 \times D_2^{0,27} = 7,019 \text{ m}$$

$$F_1 = \frac{v_1}{\sqrt{gy_1}} = \frac{q}{y_1 \sqrt{gy_1}} = \frac{6,25}{0,82 \sqrt{9,81 \times 0,82}} = 2,687$$

$$\text{Iz dijagrama } \rightarrow \frac{L_s}{y_2} = 5,0 \rightarrow L_s = 5,0 \times 2,710 = 13,550 \text{ m}$$

$$L_b = 1,1 \times (13,55 + 7,019) = 22,6 \text{ m}$$

III BRZOTOCI

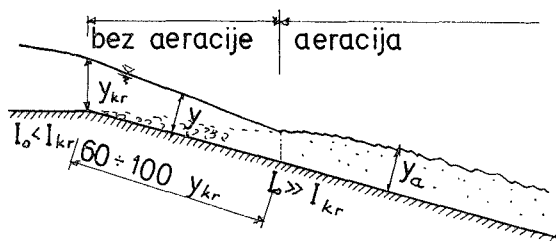
Brzotoci su kanali s padom $I_0 \gg I_{KR}$ pa kod njih voda struji isključivo u silovitom režimu. Promjene na konturama kanala, skretanje trase, promjene nagiba manifestiraju se preko znatnih površinskih poremećaja koji putuju tamo-amo kanalom kao stojeći valovi. Budući da ovi valovi otkrivaju lokalne promjene dubine i brzine, presjeci kanala na koje oni utječu ni približno ne odgovaraju konstantnoj brzini i koti nivoa na kojima se bazira jednodimenzionalna analiza.

Činjenica je da se jednodimenzionalna analiza može primijeniti na silovita strujanja, jedino kada nema stojećih valova (tj. promjena u geometriji koje ih mogu uzrokovati). Za sve praktične svrhe ovaj se uvjet ograničava na strujanja u pravokutnim kanalima. U nastavku će se dati prikaz jednodimenzionalnog tretiranja brzotoka a razni slučajevi prelaznih dionica, koji se tretiraju dvodimenzionalno, mogu se vidjeti u lit. [5], str. 423. do 443.

1. PRORAČUN DUBINE TOKA

Budući da kod brzotoka dolazi do znatne aeracije toka utoliko se i izrazi za proračun dubine toka razlikuju od uobičajenih.

Tipičan uzdužni profil brzotoka vidi se na slici 32.



Slika 32.

Mehanizam pojave aeracije je slijedeći: na uzvodnom dijelu kanala javlja se vrtložna zona, takozvani granični sloj koji se postepeno širi od dna prema površini, dok ne izbije na površinu vode. To izbijanje se dešava na udaljenosti koja je približno jednaka $60 \div 100 Y_{kr}$. Nizvodno sada struji mješavina vode i zraka.

Po Hallu dubina takvog aeriranog toka jednaka je

$$Y_a = K^{2/3} \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad (23)$$

gdje je:

K — konstanta ovisna o vrsti materijala korita, a kreće se u rasponu

$$0,18 \div 0,23 \text{ za } \frac{v_a}{\sqrt{gha}} = 4 \div 12;$$

q — jedinični protok vode, $q = \frac{Q}{B}$.

Prema Ehrenbergu postoji mogućnost određivanja veličine stvarnog protoka koji je jednak:

$$Q = \frac{1}{\eta} Q_a \quad (24)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{za } \sin \alpha < 0,476 \dots \eta = 2,5 R^{0,05} \sin^{0,26} \alpha \\ \text{za } \sin \alpha > 0,476 \dots \eta = 3,6 R^{0,05} \sin^{0,74} \alpha \end{array} \right\} \quad (25)$$

a Q_a je veličina aeriranog protoka. Treba napomenuti da je u jed. 25 R (hidraulički radijus) vezan za dubinu vode koja bi bila bez aeracije.

Isti autor daje i izraz za brzinu aeriranog toka:

$$V_a = 55 R_a^{0,52} \sin^{0,4} \alpha \quad (26)$$

gdje je:

R_a — hidraulički radijus za aerirani tok, $R_a = \frac{A_a}{O_a}$; a 55 je zapravo

jednak Stricklerovu koeficijentu hrapavosti.

P r i m j e r :

Brzotokom koji je izveden u nagibu od 50° ispušta se $200 \text{ m}^3/\text{s}$. Potrebno je proračunati dubinu vode. Poprečni presjek je pravokutan i širok $b = 10,0 \text{ m}$.

a) prema Hallu

$$q = \frac{200}{10} = 20,0 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

$$K = 0,20$$

$$Y_a = 0,20^{2/3} \sqrt[3]{\frac{20,0^2}{9,81}} = 1,18 \text{ m}$$

b) prema Ehrenbergu

Prvo ćemo proračunati hidraulički radijus R kada bi tok bio bez aeracije. Koristimo izraz za normalnu dubinu.

$$Q = A k R^{2/3} I_0^{1/2} \quad (27)$$

$k = 55$ (Stricklerov koeficijent)

jed. 27 jednaka je:

$$200 = y \cdot 10 \cdot 55 \left(\frac{y \cdot 10}{2y + 10} \right)^{2/3} (\tan 50^\circ)^{1/2}$$

ili

$$y = 0,333 \left(\frac{2y + 10}{y \cdot 10} \right)^{2/3} \quad (28)$$

jednadžbu 28 rješavamo iterativno i dobivamo

$$y = 0,538 \text{ (m)} \rightarrow R = \frac{y \cdot 10}{2y + 10} = \frac{0,538 \cdot 10}{2 \cdot 0,538 + 10} = 0,486 \text{ (m)}$$

$$R = 0,486 \text{ (m)}$$

$$Q = \frac{1}{\eta} Q_a \quad Q_a = \eta \cdot Q$$

$$\sin \alpha = \sin 50^\circ = 0,766$$

$$\eta = 2,5 \cdot 0,486^{0,05} \sin^{0,74} 50^\circ = 2,85$$

$$Q_a = 2,85 \cdot 200,0 = 570,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

prema jed. 26 možemo napisati

$$Q_a = A_a 55 R_a^{0,52} \sin^{0,4} \alpha \quad (29)$$

ili

$$570 = y_a \cdot 10 \cdot 55 \left(\frac{y_a \cdot 10}{2 y_a + 10} \right)^{0,52} \sin^{0,4} 50^\circ$$

$$y_a = 1,153 \left(\frac{2 y_a + 10}{y_a \cdot 10} \right)^{0,52}$$

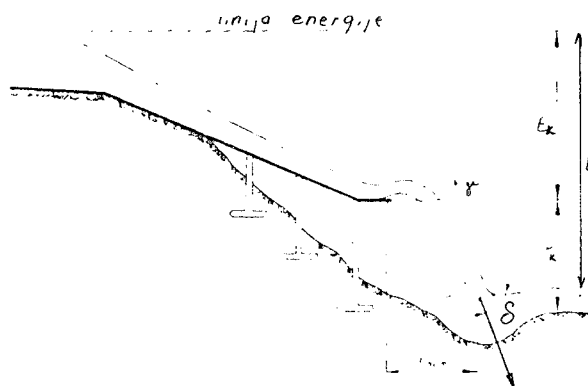
iteracijom dobivamo

$$y_a = 1,18 \text{ (m)}$$

2. SKI SKOK

Konzolni skok je jedan od mogućih oblika spajanja silovitog toka brzotoka s donjom vodom.

Na slici 33. označeni su elementi koji ulaze u proračun parametara ski skoka.



Slika 33.

Radi što većeg odbacivanja mlaza od objekta, ski kok se izvodi sa horizontalnim dnom ili pak sa suprotnim padom. Kako veći kontra pad uzrokuje i veću silu na tom mjestu, kut γ nije veći od 15° .

2.1. Domet mlaza se može izračunati prema relaciji:

$$L_{\text{dom}} = 2 \beta^2 E_k \cos \gamma \left(\sqrt{\sin^2 \gamma + \frac{P_k + 0,5 y_k}{\beta^2 E_k}} + \sin \gamma \right) \quad (30)$$

gdje je:

β — koeficijent brzine koji se može uzeti iz tabele 4.

E_k — ukupna energija na kraju konzole, u skladu sa slikom 33.

P_k — visina konzole u odnosu na tlo, u skladu sa slikom 33.

y_k — dubina vode na kraju konzole.

Ako je konzola horizontalna, $\gamma = \emptyset$, izraz je jednostavniji i glasi:

$$L_{\text{dom}} = 2 \beta \sqrt{(P_k + 0,5 y_k) E_k} \quad (31)$$

2.2. Srednja brzina kojom mlaz stiže na dno donje vode može se odrediti prema izrazu (ne uzimajući u obzir aeraciju i uz $\beta = 1$)

$$v = \sqrt{2 g E} \quad (32)$$

gdje je:

E — ukupna energija toka.

2.3. Kut nagiba mlaza prema horizontali jednak je

$$\delta = \arccos \left[\sqrt{\cos \gamma \cdot \frac{E_k}{E}} \right] \quad (33)$$

2.4. Dubina lijevka razlokavanja može se odrediti prema relaciji:

$$t = A \cdot k \sqrt{q \sqrt{P_k + \frac{v^2}{2g}}} \quad (34)$$

gdje je:

A — koeficijent aeracije koji se odabire iz tabele 6.

k — koeficijent erozije koji se odabire iz tabele 7.

q — jedinični protok $q = \frac{Q}{b}$

v — brzina na kraju ski skoka.

Tabela 6.

	A				
	v m/s				
y_k m	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00
0,20	0,70	0,64	0,62	0,61	0,60
0,50	0,88	0,71	0,66	0,63	0,62
0,70	1,00	0,90	0,70	0,66	0,64

Tabela 7.

	k					
	δ					
	0°	12°	25°	40°	60°	90°
slabije vezani materijal	1,4	1,8	2,4	2,8	3,3	4,5
bolje vezan materijal i raspucala stijena	1,4	1,7	2,0	2,4	2,7	3,3

UPOTRIJEBLJENE OZNAKE

A	— površina poprečnog presjeka	n	— Manningov koeficijent hrpavosti
b	— širina dna kanala	O	— omočeni obod
B	— širina vodnog lica u presjeku	p	— visina odbojnog zida
c	— Shezyjev koeficijent hrpavosti	p _k	— visina konzolnog odskoka
D	— parametar; $D = \frac{q^2}{gh^3}$	R	— hidraulički radijus $R = \frac{A}{O}$
E	— energija; $E = y + \frac{\alpha v^2}{2g}$	Q	— protok
F	— zapadni oblik Froudeova broja; $F = \sqrt{Fr}$	Q _o	— protok aeriranog toka
Fr	— Froudeov broj; $Fr = \frac{Q^2 B}{gA^3}$	q	— jedinični protok; $q = \frac{Q}{B}$
g	— akceleracija sile zemljine teže	t	— dubina donje vode
h	— visina kaskade	v	— srednja brzina vode u presjeku
I	— pad vodnog lica; $I = \frac{\Delta y}{\Delta L}$	\bar{v}	— srednja brzina vode u dionici
I _{kr}	— kritični pad	v _a	— brzina aeriranog toka
I _e	— pad linije energije; $I_e = \frac{\Delta H}{\Delta L}$	v _o	— dolazna brzina
I _o	— pad dna kanala; $I_o = \frac{\Delta z}{\Delta L}$	z	— kota dna kanala
k	— Stricklerov koeficijent hrpavosti	x	— udaljenost
K	— konstanta	y	— dubina vode
l	— duljina	y _a	— dubina aeriranog toka
l _s	— duljina slapišta	y _{kr}	— kritična dubina
L _s	— duljina vodnog skoka	y _N	— normalna dubina
L _d	— duljina dometa mlaza kod kaskada	y ^o	— težište presjeka u odnosu na slobodnu površinu
L _{dom}	— duljina dometa mlaza kod ski-skoka	y ₁	— prva konjugirana dubina vodnog skoka
m	— nagib pokosa kanala	y ₂	— druga konjugirana dubina vodnog skoka
		y _p	— dubina vode uz kaskadu
		α	— Coriolisov koeficijent
		ε	— točnost u proračunu
		ρ	— gustoća vode
		Θ	— funkcija skoka
		σ	— faktor sigurnosti

LITERATURA:

1. *I. I. Agroskin, G. T. Kmitrijev, F. I. Pikalov*: Hidraulika, Tehnička knjiga — Zagreb
2. *M. Borelli*: Hidraulika, Građevinski fakultet — Beograd
3. Institut za vodoprivredu »Jaroslav Černi«, Saopćenje 28, Beograd 1963.
4. Građevinski priručnik, 3, Tehničar
5. *H. Rouse*: »Hidraulika«

TEORIJE DOTOKA VODE U DREN

Mr ZLATKO SREBRENOVIĆ, dipl. inž. kult.-tehn., dipl. inž. geod.

1. UVOD

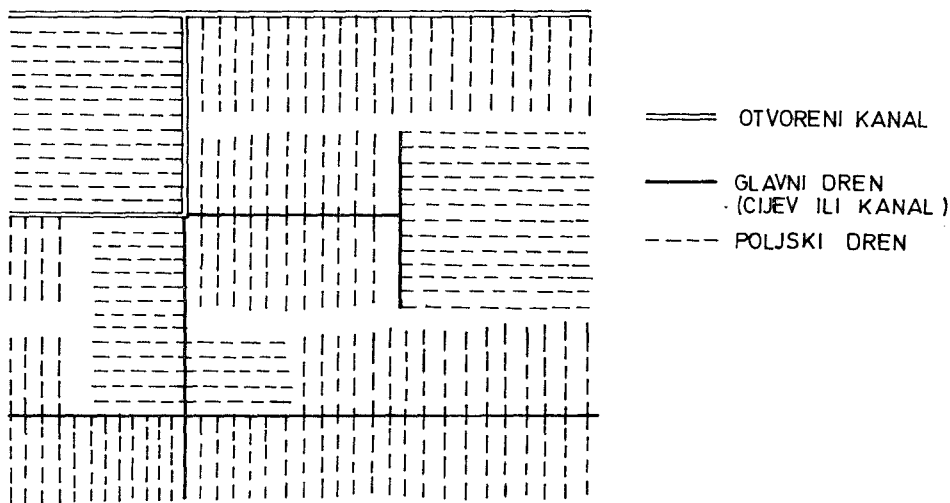
Namjena podzemne drenaže je uklanjanje suviška vode iz gornjih slojeva zemljišta, što se najčešće postiže sniženjem podzemnih vodnih nivoa. Krajnji cilj drenaže očituje se u poboljšanju vodno-zračnog režima u tlu, pa se tako omogućuje povećanje prinosa poljoprivrednih kultura ili uzgoj kultura s većom poljoprivrednom vrijednosti.

S obzirom na aspekte funkcioniranja, zahvate podzemnog odvodnjavanja možemo uglavnom svrstati u dvije kategorije: reljefnu i intercepcijsku drenažu. Reljefna drenaža služi za sniženje visokih podzemnih nivoa, koji su horizontalni ili imaju vrlo mali gradijent. Nasuprot ovoj, intercepcijska drenaža je zahvat koji reducira tečenje podzemnih voda većeg hidrauličkog gradijenta.

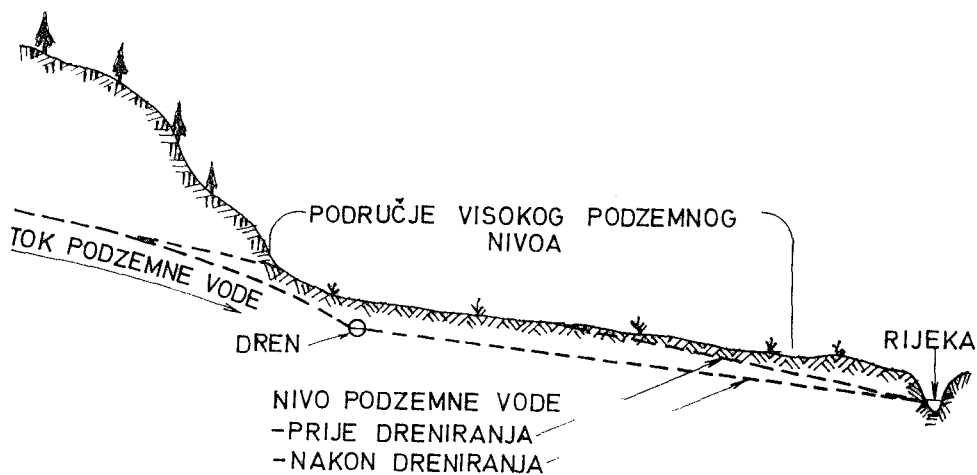
Ova razdioba na reljefnu i intercepcijsku drenažu s terminološke strane iziskuje kraći komentar. Prihvatili smo naziv »reljefni«, zbog toga što želimo naglasiti da je taj tip drenaže predstavljen drenskom mrežom čiju dispoziciju uvjetuju reljefni faktori. Ta se mreža, u principu, sastoji od glavnog drenažnog sistema (otvoreni ili zatvoreni vodovi ili njihova kombinacija) čija je primarna funkcija da transportira vodu u otplavni recipijent i sekundarnog sistema tzv. poljskih drenova koji direktno uklanjaju vodu, vidi sliku 1. Reljefnu drenažu karakterizira i njena funkcija, a to je sniženje podzemnih vodnih nivoa koji su postali od tzv. vlastitih voda — filtracije oborina koje padnu na melioracijski areal ili, uopće, od vodnih količina koje vertikalnim tendencama dolaze u tlo (natapanje, arteška voda). Naziv »intercepcijski« za drugi tip drenaže je donekle sinonim za lateralni, obuhvatni, prihvatni zahvat koji nalazimo kod površinske odvodnje.

Ali u ovom slučaju taj tip drenaže ima ipak nešto širu funkciju od one koju možemo poistovjetiti s lateralnim objektima, dakle zahvatima za prihvaćanje i odvođenje u prirodne recipijente stranih voda koje dolaze s drugih površina kao podzemna vodna masa. Naime, neobične ili posebne podzemne formacije, različite kombinacije potpovršinskih materijala, topografije terena ili uvjeti kretanja podzemnih voda mogu biti mjerodavni za formiranje nivoa podzemne vode na pojedinim lokalitetima. Na slici 2. prikazana je takva situacija, prilično česta u većim dolinama, gdje se voda filtrira lateralno s viših terena.

Naša glavna preokupacija neće biti kako na najbolji način formirati sistem reljefne drenaže, nego kako gust mora biti sistem sekundarnih polj-



Sl. 1. Reljefni drenažni sistem



Sl. 2. Intercepcijski dren u riječnoj dolini

skih drenova. Drugim riječima, kolika mora biti dubina i razmak između ovih paralelnih vodova i koji faktori utječu na to. Kod intercepcijske drenaže problem je mnogo kompleksniji, pa se u inženjerskom projektiranju problem svodi na definiranje kapaciteta intercepcijskog drena kojemu je poznat visinski položaj.

Shodno tome, da ponovimo, naš glavni zadatak je prikazati teorijske aspekte podzemnog tečenja i primjenu izvedenih formula za inženjersko dimenzioniranje:

- paralelnog sistema ekvidistantnih drenova koji svi imaju istu dubinu,
- intercepcijskog drena; pojedinačnih drenova u režimu podzemnog toka.

2. OSNOVNI PRINCIPI TEČENJA U SATURIRANOJ ZONI

Nivo podzemne vode je gornja granica površine saturirane zone slobodne podzemne vode. Na toj razini tlak je jednak atmosferskom. Stoga je nivo podzemne vode imaginarna površina koja razdvaja kapilarnu vodu od niže položene slobodne podzemne vode.

Kretanje vode u saturiranoj zoni uključuje mehaničku, kemijsku i termalnu energiju, kao i molekularne privlačne sile. Kompletna analiza o kretanju vode u tlu može se naći u publikacijama fizike tla, pa ćemo u nastavku razmotriti jedino mehaničke sile.

U saturiranoj zoni tla ukupna energija toka je suma kinetičke i potencijalne energije. Budući da je brzina tečenja podzemne vode uvijek vrlo mala, kinetička se energija može zanemariti. Na taj način, energija koja rezultira tečenjem je zbir dvaju članova potencijalne energije: tlaka i visine. Ovaj potencijal tečenja se zove hidraulički tlak, a u određenoj točki iznosi:

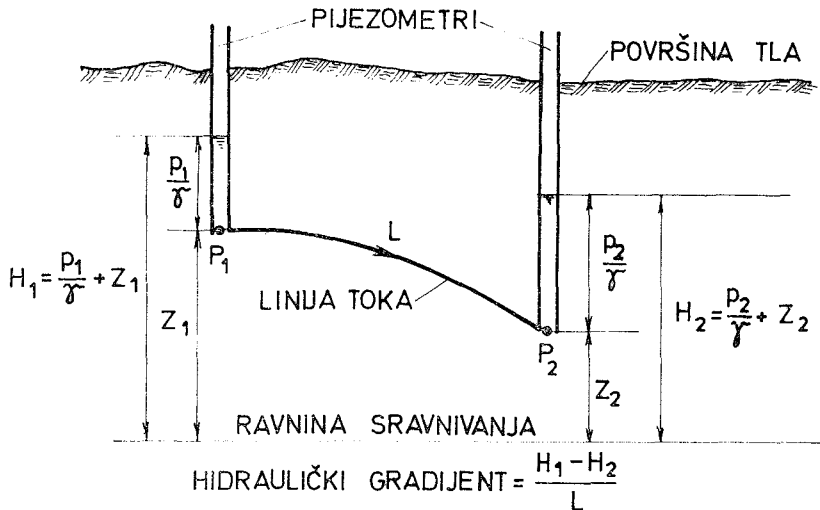
$$H = p / \gamma + z \quad \dots 1$$

gdje je: p / γ — visina tlaka

z — geodetska visina točke iznad neke ravnine sravnjivanja.

Hidraulički gradijent je razlika hidrauličkih tlakova u dvije točke podijeljen s njihovim razmakom mjerenim uzduž linije toka; vidi sliku 3.

$$i = \frac{H_1 - H_2}{L} \quad \dots 2$$



Sl. 3. Prikaz hidrauličkog gradijenta

Sve točke u saturiranoj zoni s istim tlakom leže na odgovarajućoj ekvipotencijalnoj površini. Sila uvjetovana hidrauličkim gradijentom nastoji stvoriti akciju tečenja u smjeru najvećeg pada gradijenta, tj. u normalnom smje-

ru na ekvipotencijalnu površinu. Da li će se tečenje stvarno dogoditi u tom smjeru koji ima sila, ovisi o tome da li tlo ima istu hidrauličku provodljivost u svakom smjeru.

Hidraulička provodljivost tla (ili koeficijent filtracije) je numerička vrijednost k u Darcyjevoj jednadžbi. Ovaj francuski hidrauličar (1856) prvi je eksperimentalno ustanovio zakon tečenja koji pokazuje da je efektivna brzina proporcionalna hidrauličkom gradijentu:

$$v = k i \quad \dots 3$$

gdje je: v — efektivna brzina, brzina s obzirom na ukupnu površinu porozne sredine

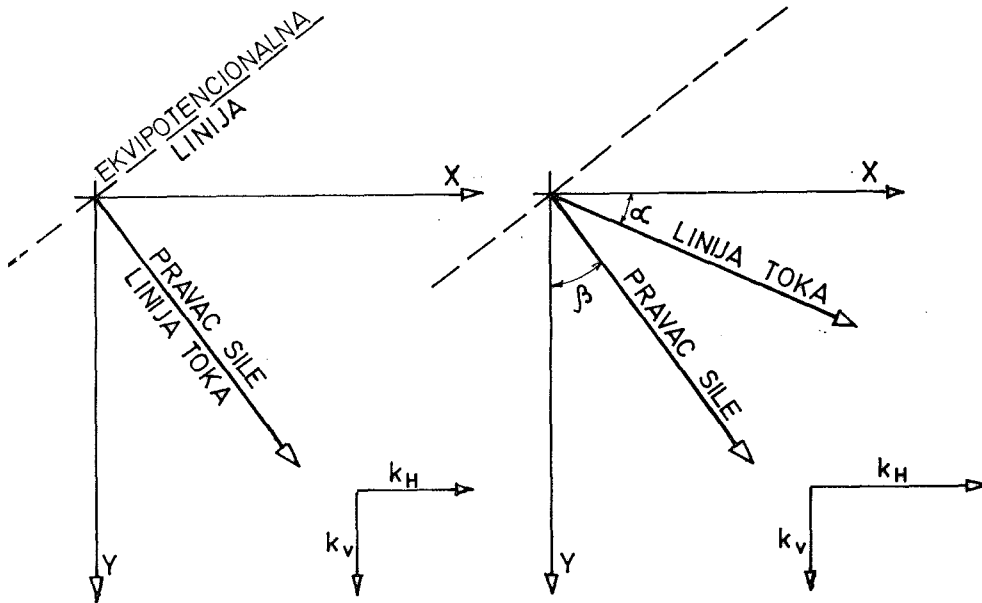
k — hidraulička provodljivost

i — hidraulički gradijent.

Iz izraza 3. vidi se da hidraulička provodljivost ima dimenziju brzine i pokazuje efektivnu brzinu toka pri hidrauličkom gradijentu jednakom jedinici.

Hidraulička provodljivost ovisi o osobinama tla i vode. Njezina velika vrijednost je udružena s visokom poroznošću, krupno zrnatom teksturom i visoko razvijenom strukturom tla. Kvaliteta vode, osobito salinitet i alkalitet, može imati značajan efekt na hidrauličku provodljivost.

Na slici 4. u dvodimenzionalnom sistemu x i y ilustrirano je tečenje u izotropnom i anizotropnom tlu. Izotropno tlo ima istu hidrauličku provodljivost u svakom smjeru, pa će se linije toka poklapati s pravcem sile i biti okomite na ekvipotencijalnu površinu.

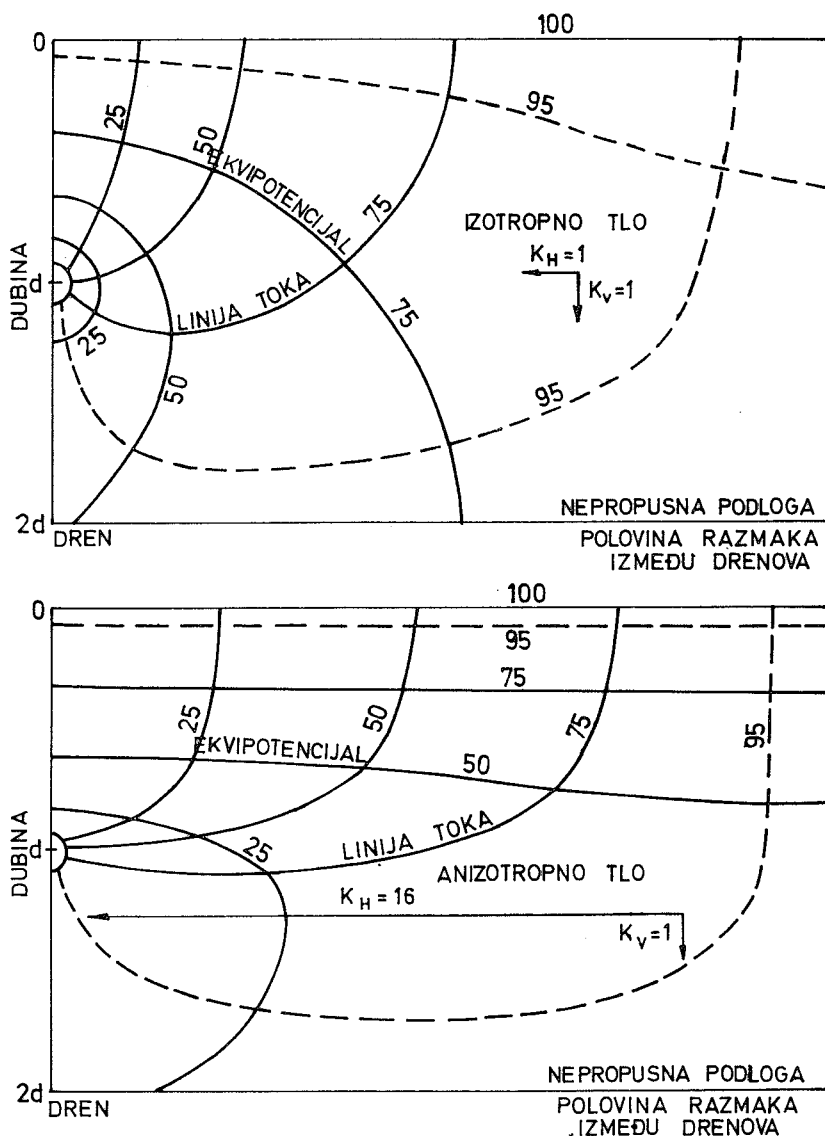


Sl. 4. Smjer tečenja u izotropnom i anizotropnom tlu

Kod anizotropnog tla koje ima veću provodljivost u jednom smjeru nego u drugom, kut α linije toka s horizontalnom osi x iznosi:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{k_v}{k_H \operatorname{tg} \beta} \quad \dots 4$$

pa prema tome, ako su poznate linije ekvipotencijala i relativna hidraulička provodljivost k_v / k_H , mogu se proračunati i nacrtati linije toka.



Sl. 5. Prikaz hidrodinamičke mreže

U saturiranoj sredini često se grafički prikazuje hidrodinamička mreža dviju ortogonalnih familija krivulja: Φ — linija ekvipotencijala i ψ — linija toka. Obično se linije jednakog tlaka konstruiraju tako da pad hidrauličkog tlaka $\Delta H = H_1 - H_2$ između dvije susjedne linije bude konstantan, dok se linije toka ψ povlače tako da bude $\Delta \psi = \Delta \Phi$.

Geometrijski oblik hidrodinamičke mreže ovisi o graničnim uvjetima koji definiraju područje toka podzemne vode. Topografija, lokacija i količina izvora vode, slojevitost, položaj nepropusne podloge, lokacija drenova i sl. predstavljaju elemente graničnih uvjeta.

Slika 5. pokazuje dvije hidrodinamičke mreže toka vode u dren, koji se nalazi u grupi paralelnog sistema ekvidistantnih drenova. Tlo je saturirano do površine terena, a nepropusna podloga je na dvostrukoj dubini drena. Gornja mreža je u izotropnom tlu, dok je donja za iste granične uvjete, osim što tlo u horizontalnom smjeru ima 16 puta veću provodljivost nego u vertikalnom. Brojevi na linijama toka indiciraju postotak ukupne protoke na području lijevo od dotične linije. Iz slike se može konstatirati da kod izotropnog tla 50 % protoke dolazi u dren s puno manje površine nego je to slučaj kod anizotropnog tla. Ako se ukloni dotok vode s površine tla, nivo podzemne vode će u oba slučaja opadati, ali će taj pad kod izotropnog tla biti daleko jednoličniji.

Kod proračuna drenaže uz hidrauličku provodljivost tla k potrebno je poznavati i veličinu efektivne poroznosti tla p . Ovaj bezdimenzionalni faktor predstavlja kvocijent:

$$p = \frac{\Delta R}{\Delta Z} \quad \dots 5$$

gdje je: R — visina stupca dodane ili ispuštene vode od strane tla
 Z — visina porasta ili pada nivoa podzemne vode.

Npr. ako je iz saturiranog tla uklonjen 1 mm stupca vode, a pri tom je nivo podzemne vode opao za 4 cm, tada je $p = 1 / 40 = 0,025$; dakle 2,5 % volumena tla uzima ili ispušta vodu kada se razina nivoa vode mijenja.

3. KLASIFIKACIJA METODOLOŠKIH PRISTUPA PRORAČUNA DRENAŽE

Kretanje vode u saturiranoj zoni može se analizirati primjenom Darcyeva zakona za određeni skup graničnih uvjeta na lokaciji drenažnog sistema. Ako bi bilo moguće istražnim radovima odrediti točnu lokaciju nepropusne podloge, poziciju i hidraulički tlak svih dotoka i otjecanja iz sistema, provodljivost svih dijelova sistema, vrijeme i količinske varijacije dotoka, tada bi drenažni problem bio kompletno definiran za direktno i točno rješenje.

Međutim, u praksi to nije slučaj, pa se u inženjerskom projektiranju drenaže polazi od određenih idealiziranih situacija, gdje su moguća egzaktna rješenja podzemnog tečenja ili se koriste približna rješenja, koja se temelje na raznim simplifikacijama za koje se može teoretskim analizama dokazati da ih može tolerirati praksa i prihvatiti kao dovoljno točna. Čak i u slučajevima, koji su obično rijetki, gdje bi točna rješenja bila moguća, iz praktičnih razloga se koriste približna rješenja koja su jednostavnija i brža.

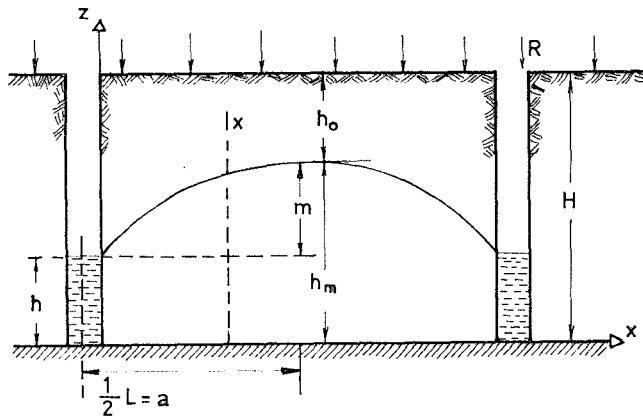
Teorija podzemnog tečenja razlikuje dva osnovna oblika kretanja podzemne vode: stacionarno i nestacionarno. Stacionarno stanje javlja se u slučajevima kada se tok, njegove granice i hidraulički tlak duž toka ne mijenjaju s vremenom. Ako se ovi faktori javljaju kao funkcija vremena, tada se govori o nestacionarnom kretanju.

U jednom i drugom obliku kretanja podzemne vode primjenjuju se ove približne teorije proračuna drenaže:

- teorija horizontalnog toka
 - teorija radijalnog toka
 - teorija kombiniranog radijalnog i horizontalnog tečenja
- za koje ćemo nastavno prikazati neke od metoda rješenja.

4 TEORIJA HORIZONTALNOG TOKA

Kod paralelnog drenažnog sistema, zbog simetrije potrebno je razmatrati režim tečenja ograničen na dva susjedna drena. Matematički opis problema drenažnog tečenja započet ćemo razmatranjem dreniranja zemljišta s pomoću otvorenih paralelnih kanala prema slici 6. u koordinatnom sistemu (x, z) .



Sl. 6. Dreniranje podzemnih voda opterećenih konstantnom oborinom

Pretpostavimo slijedeće uvjete:

- niveleta dna kanala leži na nepropusnom sloju
- nivo vode u kanalima je konstantan na visini h
- postoji konstantan intenzitet oborine R identičan količini odstranjene vode pomoću kanala
- tok vode u tlu je horizontalan, a brzina tečenja je proporcionalna gradijentu slobodne površine.

Protoka kroz bilo koji presjek na udaljenosti x od ishodišta koordinatnog sistema iznosi:

$$q_x = v \cdot z \cdot l \quad \dots 6$$

Brzina vode u presjeku x prema Darcyju (formula 3) iznosi

$$v = k \frac{dz}{dx} \quad \dots 7$$

pa je:

$$q_x = k \frac{dz}{dx} z \quad \dots 8$$

Za jednolično raspoređenu oborinu po površini možemo postaviti relaciju:

$$q_x = \frac{a - x}{a} Q \quad \dots 9$$

koja pokazuje da je:

$$\begin{aligned} q_x &= Q \text{ za } x = 0 \\ q_x &= 0 \text{ za } x = a. \end{aligned}$$

Izjednačenjem izraza 8 i 9 dobivamo jednadžbu:

$$\frac{Q}{ak} (a - x) dx = z dz$$

pa integriranjem u granicama od $x = 0$ do $x = a$ i od $z = h$ do $z = h_m$ nalazimo jednadžbu elipse:

$$\frac{Q}{k} a = h_m^2 - h^2 \quad \dots 10$$

Dotok Q u kanal mora biti u relaciji s intenzitetom oborine R . Za jediničnu dužinu kanala imamo drenažnu površinu $a \cdot 1 \text{ m}^2$, dakle

$$Q = R \cdot a \text{ m}^3/\text{dan} \quad \dots 11$$

gdje je a polovina razmaka između kanala.

Supstitucija u jednadžbu 10 daje:

$$R = \frac{4 k (h_m^2 - h^2)}{L^2} \quad \dots 11$$

Ovaj izraz je izveo Hooghoudt 1906. i Donnan 1940. godine.

Sada razmotrimo slučaj da nema vode u kanalima; dakle $h = 0$, pa iz formule 11 nalazimo:

$$R = \frac{4 k h_m^2}{L^2} \quad \dots 12$$

Ova formula je poznata kao Rotheova jednadžba (1924) i, u stvari, predstavlja slučaj cijevnog drenažnog sistema položenog na nepropusnu podlogu.

Ako označimo sa m hidraulički tlak na sredini između kanala, tada je:

$$h_m^2 - h^2 = (2h + m)m$$

pa supstitucija u jednadžbu 11 daje:

$$R = \frac{8 k h m + 4 k m^2}{L^2} \quad \dots 13$$

Specijalno: za $h = 0$ je:

$$R = \frac{4 \text{ km}^2}{L^2} \quad \dots 14$$

U ovom slučaju protoka je potpuno ograničena na sloj iznad drena, pa se logično zaključuje, ako se hidraulička provodljivost sloja iznad drena k_1 razlikuje od one k_2 u sloju ispod drena, da jednadžba

$$R = \frac{8 k_2 h m + 4 k_1 m^2}{L^2} \quad \dots 15$$

daje rješenje zadatka u dvoslojevitoj sredini. Ovo je osnovna Hooghoudtova jednadžba iz 1940. godine, koja se koristi da se dobiju opća rješenja koja će se razmatrati u poglavlju 6.

Izvedene eliptične jednadžbe 11 i 15 su matematička formulacija teorije horizontalnog toka, koja se temelji na dvjema osnovnim pretpostavkama, koje je dobro još jednom naglasiti:

- sve linije toka u sistemu gravitacionog tečenja su horizontalne
- brzine uzduž ovih linija su proporcionalne padu slobodne površine, ali su neovisne o dubini propusnog sloja.

Ova teorija daje zadovoljavajuću točnost rezultata, ako je njena primjena ograničena na relativno plitke propusne slojeve, bez obzira na to da li se radi o otvorenim kanalima ili o cijevnoj drenaži. Naravno, pri tom i niveleta dna kanala i drena mora biti na nepropusnom sloju ili blizu njega. Poželjno je navesti da drenaža u odnosu na kanale povlači nešto veće dodatne greške, ali razlike nisu velike, jer zatrpani rov u kome je položen dren ima uvijek nešto veću propusnost od neporemećenog zemljišta, tako da u principu drenovi djeluju jednako kao i otvoreni kanali.

Na jednom primjeru pokažt ćemo kako utjecajni faktori eliptične jednadžbe 11 djeluju na efekte sniženja nivoa podzemne vode.

Z a d a t a k 1.

Polje se drenira s pomoću paralelnih kanala razmaka $L = 50$ m. Slobodni vodni nivo drži se u kanalima 1,25 m ispod površine tla, dok je hidraulička provodljivost tla $k = 5$ m/dan. Treba izračunati dubinu nivoa podzemne vode h_0 — normu odvodnje — na sredini razmaka kanala ($h_0 = H - h_m$) ako je:

- a) intenzitet oborine $R = 0,005$ m/dan i dubina nepropusnog sloja: $H = 3,0$ m i $H = 5,0$ m
- b) isto kao u slučaju a) ali uz $R = 0,01$ m/dan
- c) isto kao u slučaju a) ali sa $k = 1$ m/dan.

R j e š e n j e

a ₁) $h_m = 1,92$ m	$h_0 = 1,08$ m
a ₂) $h_m = 3,83$ m	$h_0 = 1,17$ m
b ₁) $h_m = 2,08$ m	$h_0 = 0,92$ m
b ₂) $h_m = 3,91$ m	$h_0 = 1,09$ m
c ₁) $h_m = 2,49$ m	$h_0 = 0,51$ m
c ₂) $h_m = 4,15$ m	$h_0 = 0,85$ m.

Iz ovog zadatka prilično se jasno vidi utjecaj faktora k , R i h na dubinu vodnog nivoa h_m .

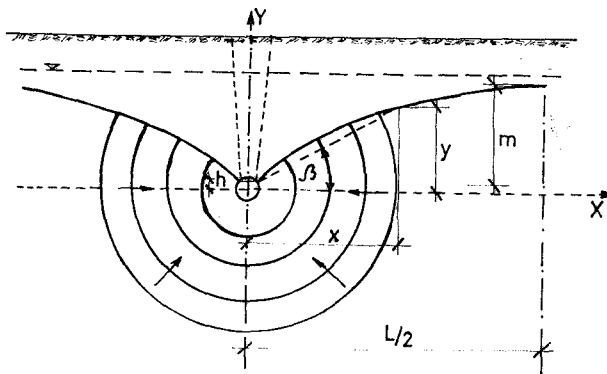
5. RADIJALAN TOK KRETANJA PODZEMNE VODE

Linija drena može se zamisliti kao horizontalno položeni bunar u koji voda ulazi uzduž radijalnih linija toka. Ova analogija je temelj teorije radijalnog toka, koja pretpostavlja

- homogeno izotropno tlo neograničene dubine
- horizontalan nivo podzemne vode.

Ova metoda može dati dobru aproksimaciju prirodnih uvjeta tečenja ako je zakrivljenost površine podzemne vode malena (mali intenzitet oborine i relativno visoka provodljivost), te ako ispod drena ne postoji sloj s jako reduciranom hidrauličkom provodljivošću. Drugim riječima kazano u sredinama s veoma dubokim prostiranjem nepropusnog sloja metodski pristupi koji preferiraju radijalno tečenje imaju svoje puno opravdanje.

Teoretski aspekti radijalnog tečenja podzemne vode mogu se spoznati iz literature [1], pa ćemo u nastavku navesti samo formule raznih autora, koje se najčešće koriste u praksi za proračun drena ili kanala izvedenog kao visećeg zahvata, kako je prikazano na slici 7.



Sl. 7. Shema tečenja visećem drenu s duboko položenim nepropusnim slojem

Kostjakov:
$$L = \frac{\pi k m}{R \left(\ln \frac{L}{d} - 1 \right)} \quad \dots 16$$

Vedernikov:
$$L = \frac{\pi m \left(\frac{k}{R} - 1 \right)}{\ln \frac{k}{R}} \quad \dots 17$$

$$\text{Numjerov: } L = \frac{\pi m \left(\frac{k}{R} - 1 \right)}{\ln \operatorname{ctg} \frac{\pi}{4} \cdot \frac{R}{k}} \quad \dots 18$$

$$\text{Hammad: } L = \frac{\pi k m}{R m \left(1 + \frac{2L}{\pi d} \right)} \quad \dots 19$$

U ovim formulama svi su nam simboli poznati, osim veličine d , koja predstavlja dijametar drena. Za kanale se približno uzima da je:

$$d = 0,5 b + h \quad \dots 20$$

gdje je b širina dna kanala, a h dubina vode.

Iz navedenih formula 17 i 18 može se direktno odrediti razmak drenova (ili kanala) L , dok se formulama 16 i 19 veličina L dobiva pokusnom metodom. Prikažimo to jednim primjerom.

Z a d a t a k 2.

Potrebno je odrediti razmak L paralelnih drenažnih kanala lociranih u homogenoj sredini dubokog prostranstva karakteriziranoj sa $k = 5$ m/dan. Širina dna kanala iznosi $0,5$ m, dubina vode $h = 0,2$ m a visinska razlika podzemnih nivoa na sredini razmaka između kanala $m = 1,0$ m. Intenzitet oborine iznosi $R = 0,01$ m/dan.

R j e š e n j e

Supstitucijom navedenih veličina sa $d = 0,45$ m (prema izrazu 20) dobivamo ovakve rezultate:

- | | |
|-------------------------------|--------------|
| a) po formuli 16 Kostjakova, | $L = 248$ m |
| b) po formuli 17 Vedernikova, | $L = 252$ m |
| c) po formuli 18 Numjerova, | $L = 243$ m |
| d) po formuli 19 Hammada, | $L = 265$ m. |

Razlike su neznatne. No, potrebno je napomenuti, da izrazi Vedernikova i Numjerova vrijede pri dijametru drena $d > d_{kr}$, gdje se kritični dijametar računa kod:

$$\text{Vedernikova: } d_{kr} = 0,20 \frac{RL}{k} \quad \dots 21$$

$$\text{Numjerova: } d_{kr} = 0,26 \frac{RL}{k - R} \quad \dots 22$$

U našem primjeru iznosi $d_{kr} = 0,20$ m prema formuli 21, odnosno $d_{kr} = 0,13$ m po formuli 22, pa je prema tome $d > d_{kr}$, čime potvrđujemo primjenjivost formula Vedernikova i Numjerova.

Budući da točnost proračuna prema izvodima koji se temelje na radijalnom toku opada s približavanjem nepropusnog sloja drenovima, u takvim se slučajevima koriste kombinirane hipoteze radijalnog i horizontalnog toka, koje ćemo razmotriti u slijedećem poglavlju.

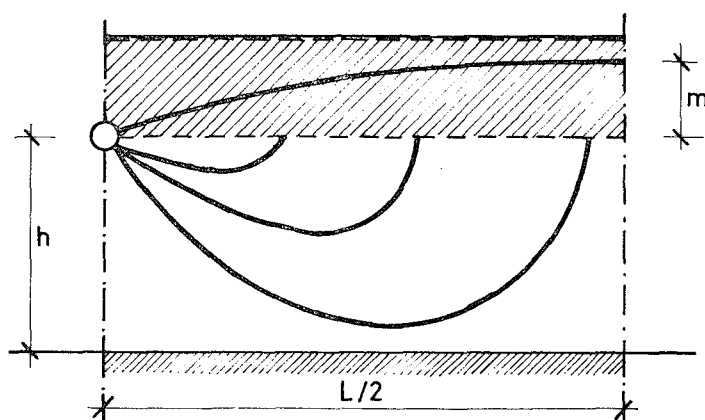
6. TEORIJA KOMBINIRANOG RADIJALNOG I HORIZONTALNOG TOKA

Iz dosadašnjih izlaganja mogli smo zaključiti da hipoteze o horizontalnom tečenju drenskom zahvatu mogu dati zadovoljavajuću točnost rezultata ako se radi o plitkom propusnom sloju, odnosno hipoteze o radijalnom tečenju ako, praktično uzevši, nema nepropusne granice. Za intermedijarna stanja nepropusni sloj izaziva bitne deformacije linija toka naročito u okolišu drenova. Da bi se konvergencija linija toka u blizini drenova uzela u obzir Hooghoudt, Ernst, Dagan i ostali autori razmatraju rješenja drenažnih problema kombinirajući hipotezu radijalnog i horizontalnog toka. Ova rješenja uglavnom korigiraju glavni nedostatak osnovne eliptične jednadžbe 11 i 15 zanemarivanja konvergencije toka u okolišu drene. Prema Hooghoudtu ovo će biti slučaj u regionu $x < \frac{\sqrt{2}}{2} h$. Zbog ove činjenice linije toka će biti duže nego u horizontalnom tečenju i kao posljedica bit će i veći gubitak hidrauličkog tlaka nego u čistom horizontalnom toku.

6.1. Hooghoudtova metoda

Nećemo analizirati cijeli izvod Hooghoudta, nego je dovoljno navesti da se njegovo rješenje odnosi na slučaj prikazan na slici 8. Zanimari li se protoka u sloju iznad drenova, tada će se primjenom metode superpozicije dobiti:

$$m = \frac{RL}{k} F \quad \dots 23$$



Sl. 8. Kombinacija radijalnog i horizontalnog toka s Hooghondtovom modifikacijom

gdje je F funkcija radijusa drena r_o , razmaka L i dubine nepropusnog sloja h. Veličinu F Hooghoudt definira ovako:

$$F = \frac{1}{\pi} \ln \frac{h}{r_o \sqrt{2}} + \frac{1}{\pi} \ln \frac{\sin \left(\frac{1}{2} \pi \sqrt{2} \frac{h}{L} \right) \left\{ \cos h \left(4 \pi \frac{h}{L} \right) - \cos \left(\pi \sqrt{2} \frac{h}{L} \right) \right\}^{1/2}}{\pi \frac{h}{L} \sin \left(2 \pi \frac{h}{L} \right)} + \frac{\left(1 - \sqrt{2} \frac{h}{L} \right)^2}{8 \frac{h}{L}} \quad \dots 24$$

Obično je drugi član ovog izraza vrlo mali, pa se može u praktičnim proračunima zanemariti i veličina F izračunati:

$$F = \frac{1}{\pi} \ln \frac{h}{r_o \sqrt{2}} + \frac{\left(1 - \sqrt{2} \frac{h}{L} \right)^2}{8 \frac{h}{L}} \quad \dots 25$$

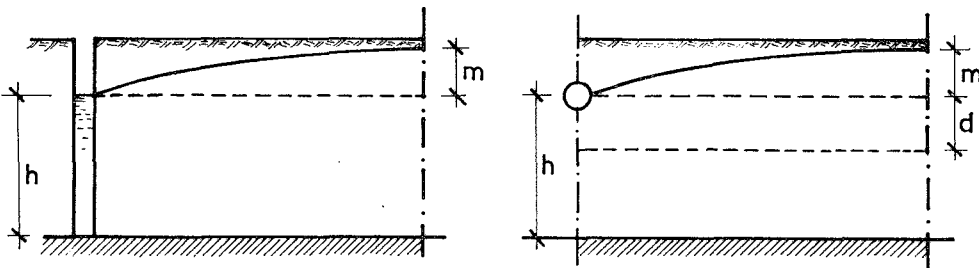
No, i uz ovo pojednostavljenje za praktičnu primjenu jednadžbe 23 i 25 su suviše komplicirane, pa se vratimo na jednadžbu 15 iz koje je vidljivo da će zanemarivanje protoke u gornjem sloju iznad horizonta drenova reducirati ovu jednadžbu na:

$$R = \frac{8 k h m}{L^2} \quad \dots 26$$

odnosno:

$$m = \frac{RL^2}{8 k h} \quad \dots 27$$

Kada želimo primijeniti ovu jednadžbu na slučaj drenaže s pomoću drenskih cijevi (vidi sliku 9), umjesto veličine h uvrštavamo veličinu d tzv. ekvivalentnu dubinu, odnosno pišemo:



Sl. 9. Ilustracija pojma »ekvivalentnih dubina«

$$m = \frac{RL^2}{8 k d} \quad \dots 28$$

Izjednačavanjem jednađbi 23 i 28

$$\frac{RLF}{m} = \frac{RL^2}{8 k d}$$

dobivamo da je ekvivalentna dubina:

$$d = \frac{L}{8 F} \quad \dots 29$$

Iz izraza 29 i 25 može se zaključiti kako se mijenja ekvivalentna dubina d u ovisnosti sa r_o , L i h . Općenito se veličina d koja je manja od h povećava s porastom dubine nepropusnog sloja h sve dok je: $h > \frac{1}{4}L$. Za još veće vrijednosti h ekvivalentna dubina d postaje konstantna.

Ako se ne zanemari protoka u sloju iznad drenova, pa ako je hidraulička provodljivost gornjeg sloja k_1 a donjeg sloja k_2 , tada se osnova Hooghoudtova jednađba 15 može prikazati:

$$L^2 = \frac{8 k_2 d m + 4 k_1 m^2}{R} \quad \dots 30$$

gdje se veličina d nalazi iz jednađbi 29 i 24 ili 25.

Rješenja praktičnih problema jednađbom 30 koja se još naziva i modificirana eliptična jednađba, postižu se pokusnom metodom, jer je $d = f(L, F)$ formula 29, dok je $F = f(h, L, r_o)$ prema izrazu 24 ili 25, to je $d = f(L, h, r_o)$.

Način proračuna prikazat ćemo jednim primjerom.

Z a d a t a k 3.

Neki su drenovi polumjera $r_o = 0,03$ m položeni na dubinu 1,2 m ispod površine. Terensko ispitivanje pokazalo je da se nepropusni sloj nalazi na dubini 3,5 m, te da je hidraulička provodljivost tla 0,8 m/dan. Koliki će biti potreban razmak drenova L , kada je intenzitet oborine $R = 0,005$ m/dan (kapacitet drenaže), dok se nivo podzemne vode mora održavati na 0,6 m ispod površine?

R j e š e n j e

Iz gornjih podataka imamo:

$$r_o = 0,3 \text{ m} \quad R = 0,005 \text{ m/dan} \quad k_1 = k_2 = 0,8 \text{ m/dan}$$

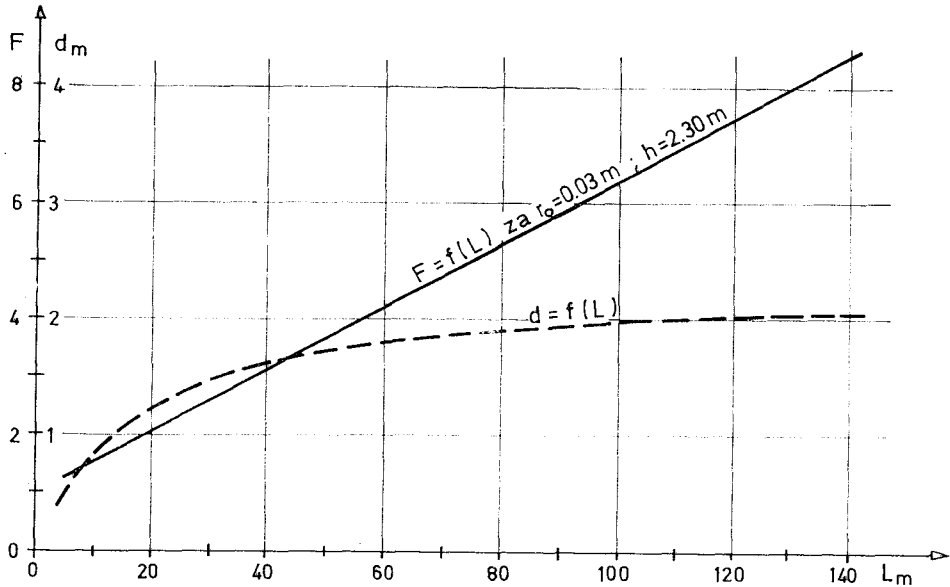
$$h = 3,5 - 1,2 = 2,3 \text{ m}$$

$$m = 1,2 - 0,6 = 0,6 \text{ m.}$$

Uvrštavanje ovih veličina u jednađbu 30 daje:

$$L^2 = 768 d + 230.$$

Sada je potrebno pokusnom metodom pomoću jednadžbi 29 i 25 pronaći traženi L da gornji uvjet bude zadovoljen.



Sl. 10. Grafički prikaz $F = f(L)$; $d = f(L)$

Budući da su veličine k i r_0 konstantne, poželjno je definirati funkciju $F = f(L)$ i nju grafički prikazati kako je to učinjeno na sl. 10.

Prema formuli 25 u našem zadatku veličina F glasi:

$$F = 0,0543 L + 0,575 / L + 0,917.$$

Za razmak drenova $L = 38 \text{ m}$ je veličina $F = 3,00$, a ekvivalentna dubina $d = 38 / 8 \cdot 3,00 = 1,58 \text{ m}$, čime je zadovoljen postavljeni uvjet jednadžbe 30.

$$\begin{aligned} 38^2 &= 768 \cdot 1,58 + 230 \\ 1444 &\doteq 1443,4. \end{aligned}$$

Dakle, potreban razmak drenova iznosi 38 m .

Da bi se olakšao računski posao, prakticira se u inženjerskoj praksi korištenje nomograma. U tu svrhu stoje nam na raspolaganju nomogrami modificirane Hoogoudtove eliptične jednadžbe 30, koje je izradio Boumans (1963. godine) za jednoslojni ($k_1 = k_2$) i dvoslojni profil tla ($k_1 \neq k_2$). Dotični nomogrami prezentirani su u literaturi [1] i [3], dok ćemo na ovom mjestu na slikama 11—14. prezentirati nomograme J. van Beersa preuzete iz literature [2]. Ova se grafička rješenja odnose na homogeni jednoslojni profil tla ($k_1 = k_2$), a njihovu ćemo primjenu objasniti na slijedećem primjeru:

Z a d a t a k 4.

Odrediti razmak drenova iz zadatka 3 s pomoću nomograma.

Rješenje

Najprije je potrebno proračunati kvocijente: $\frac{R}{k}$ i $\frac{m}{h}$

$$\frac{R}{k} = \frac{0,005}{0,8} = 0,00625$$

$$\frac{m}{h} = \frac{0,6}{2,3} = 0,261$$

pa s pomoću nomograma na slici 11. naći presjek ovih vrijednosti i očitati veličinu $\frac{L}{h} = 18$.

Potreban razmak drenova iznosi:

$$L = \frac{L}{h} \cdot h = 18 \cdot 2,3 = 41,4 \text{ m.}$$

Gdje nije prisutna nepropusna podloga ili je njena dubina ispod osovine drene veća od $1/4$ proračunskog razmaka drenova, $h > L/4$, podloga neće imati utjecaja na funkcioniranje reljefnog drene. U tom slučaju rješenje je u korištenju nomograma na sl. 14, koja pokazuje familiju krivulja veličina m kao funkciju veličina R/k i L . Za ilustraciju korištenja ovog nomograma uzmimo isti primjer, ali pretpostavimo da je veličina $h = \infty$. Shodno tome, za $R/h = 0,00625$ i $m = 0,6$ m iz slike 14. očitamo razmak $L = 63$ m.

Zadatak 5.

Potrebno je riješiti isti zadatak 3, ali sada za dvoslojnu sredinu s koeficijentima hidrauličke provodljivosti gornjeg $k_1 = 0,4$ m/dan i donjeg sloja $k_2 = 1,0$ m/dan. Granica slojeva koincidira s dubinom reljefne drenaže.

Rješenje

Supstitucija poznatih veličina u jednadžbu 30 daje:

$$L^2 = 960 d + 115.$$

Za razmak drenova $L = 41$ m veličina F iznosi $F = 3,16$, pa je ekvivalentna dubina $d = 41 / 8 \cdot 3,16 = 1,62$ m, čime je zadovoljen gornji uvjet:

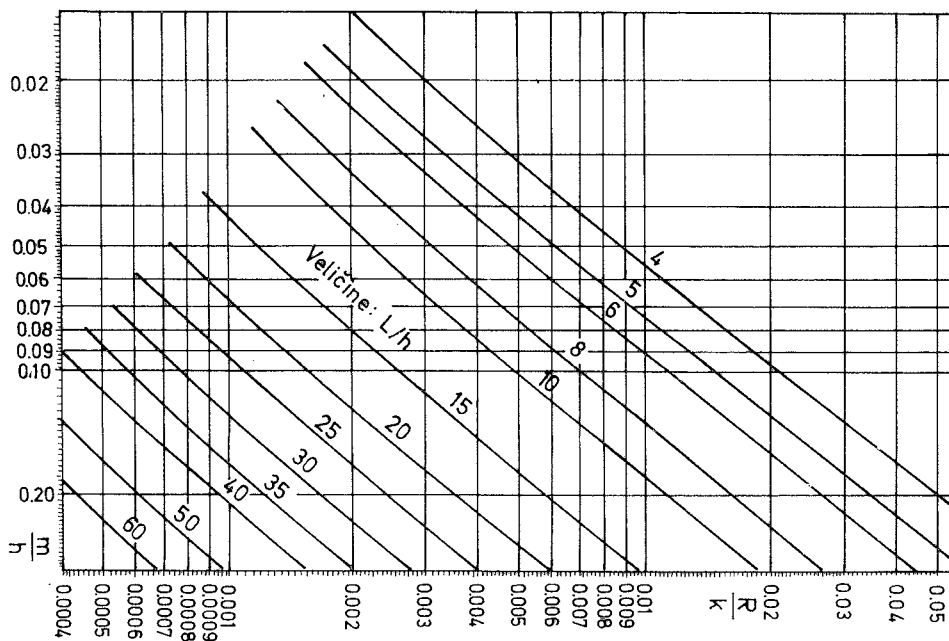
$$1681 \doteq 1670.$$

U homogenoj sredini veličina L (zadatak 3) je iznosila 38 m, pa stoga dvoslojna sredina s propusnijim donjim slojem ima manje hidrauličke otpore, što omogućuje veći razmak drenova. Primjeri u zadacima 3 i 5 potpuno su sposobni za komparaciju, jer je osrednjena veličina hidrauličke provodljivosti dvoslojnog profila:

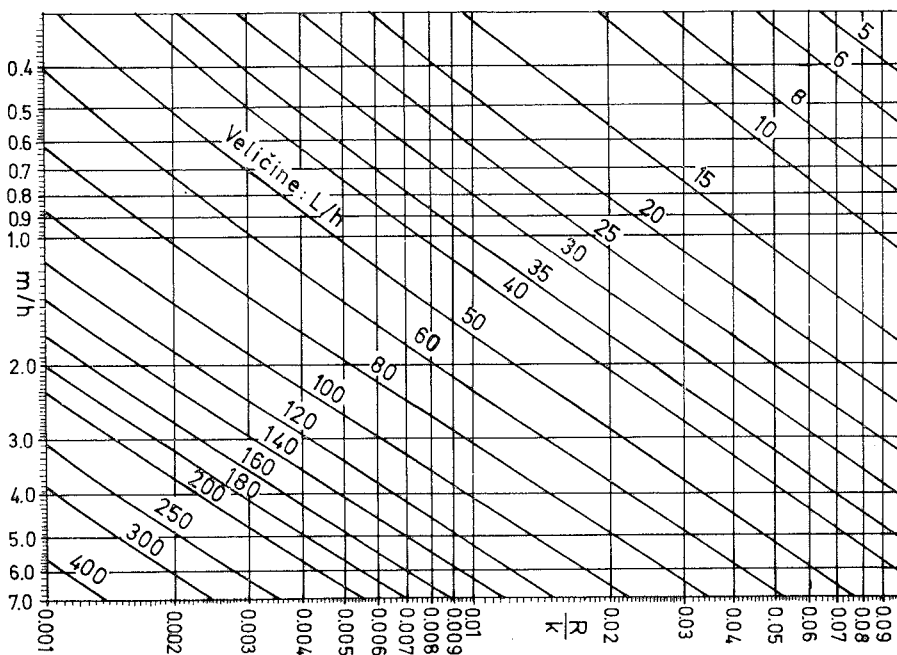
$$k = \frac{0,4 \cdot 1,2 + 1,0 \cdot 2,3}{3,5} = 0,794$$

gotovo identična provodljivosti jednoslojne homogene sredine.

Grafičko rješenje modificirane eliptične jednačbe

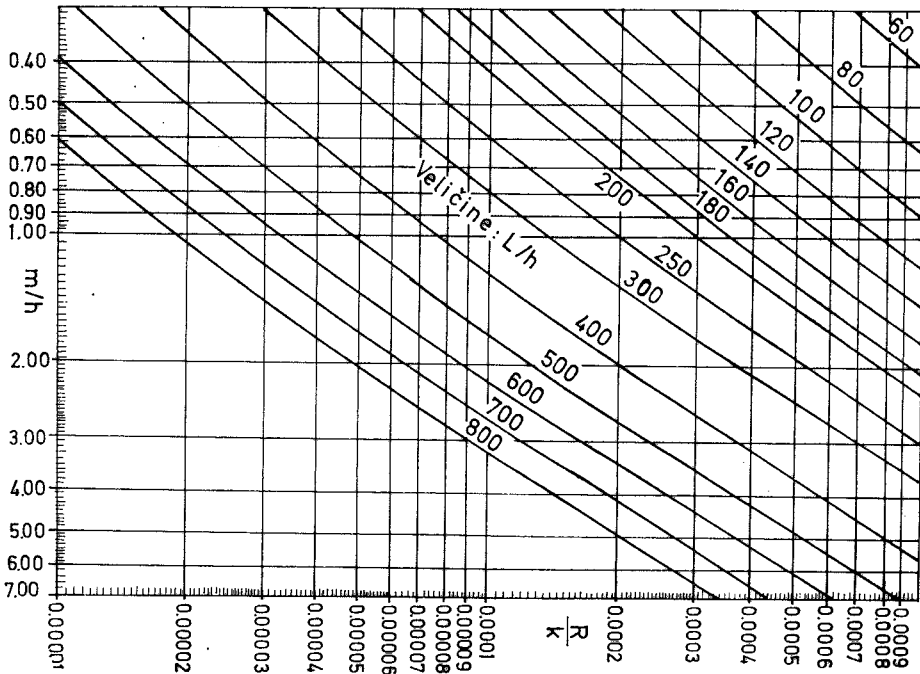


Sl. 11.

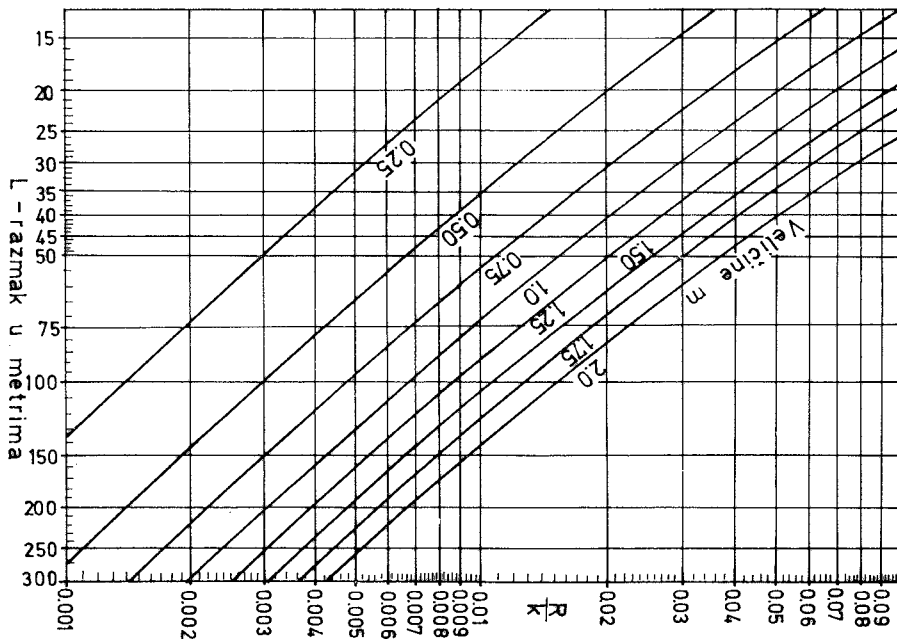


Sl. 12.

Grafičko rješenje modificirane eliptične jednadžbe



Sl. 13.



Sl. 14.

6.2. Kirkhamovo rješenje

Kirkham (1958) je također dao analitičko rješenje slučaja dreniranja prikazanog na sl. 8, koje se može pisati za dvoslojnu sredinu u obliku:

$$m = \frac{RL}{k^2} \cdot \frac{1}{1 - \frac{R}{k_1}} F \quad \dots 31$$

gdje je F funkcija definirana izrazom:

$$F = \frac{1}{\pi} \left[\ln \frac{L}{\pi r_0} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \left(\cos \frac{2n\pi r_0}{L} - \cos n\pi \right) \cdot \left(\cos h \frac{2n\pi h}{L} - 1 \right) \right] \quad \dots 32$$

Kirkhamova veličina F se slaže unutar nekoliko postotaka s identičnom veličinom F određenom prema izrazu 25. Za tlo s nepropusnim slojem na beskonačnoj dubini jednadžba 31 postaje:

$$m = \frac{RL}{k_2} \cdot \frac{1}{1 - \frac{R}{k_1}} \cdot \frac{1}{\pi} \ln \frac{L}{\pi r_0} \quad \dots 33$$

Zadatak 6.

Potrebno je riješiti isti zadatak 3. uz pretpostavku da je dubina sloja $h = \infty$.

Rješenje

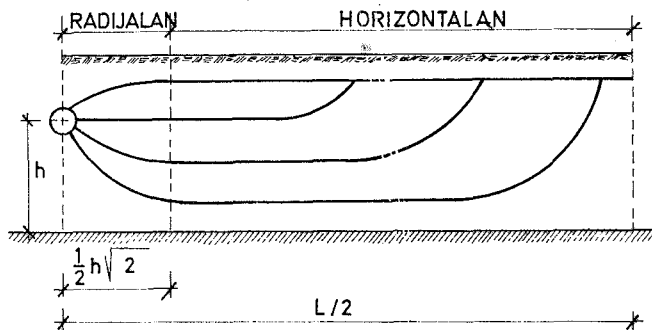
Supstitucijom poznatih veličina u jednadžbu 33 Kirkhama dobivamo:

$$0,6 = 0,0020 L \ln (10,61 L)$$

odakle se iteracijom nalazi veličina $L = 48$ m.

6.3. Daganova metoda

Dagan pristupa rješenju reljefne дренаže u tlu s istim pretpostavkama kao Hooghoudt i Kirkham, ali na jednostavniji način. I on dijeli tok na dva dijela: horizontalan i radijalan s granicom na udaljenosti $0,707 h$ od osobine drene; vidi sl. 15.



Sl. 15. Shema Daganove postavke

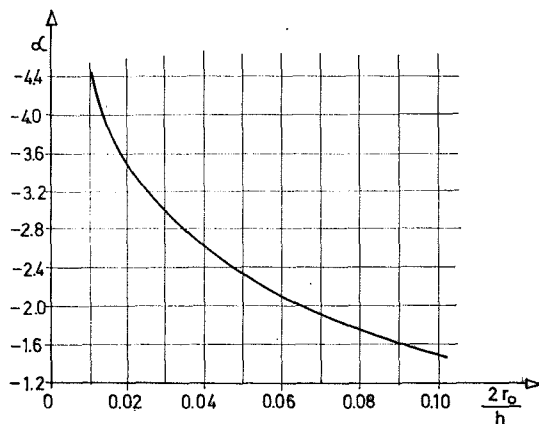
Analizirajući režim tečenja u ovako definiranim zonama Dagan je došao do rezultata koji se za praktične svrhe može pisati u formi:

$$m = \frac{RL}{4k} \left(\frac{L}{2h} - \alpha \right) \quad \dots 34$$

gdje je:

$$\alpha = \frac{2}{\pi} \ln 2 \left(\cos h \frac{\pi r_o}{h} - 1 \right) \quad \dots 35$$

Za razne vrijednosti $\frac{r_o}{h}$ mogu se proračunati veličine α i nacrtati grafički, što je učinjeno na sl. 16.



Sl. 16. Pomoćni grafikon $\alpha = f\left(\frac{2r_o}{h}\right)$

Na taj način moguće je jednostavno i direktno odrediti razmak drenova s pomoću jednadžbe 34.

Z a d a t a k 7.

Riješi zadatak 3. s pomoću Daganove postavke.

R j e š e n j e

Iz grafikona sl. 16. za $\frac{2r_o}{h} = \frac{0,06}{2,3} = 0,026$ očitamo $\alpha = -3,2$, pa supstituirajući sve poznate veličine u jednadžbu 34 imamo:

$$0,6 = \frac{0,005 L}{4 \cdot 0,18} \left(\frac{L}{2 \cdot 2,3} + 3,2 \right)$$

ili

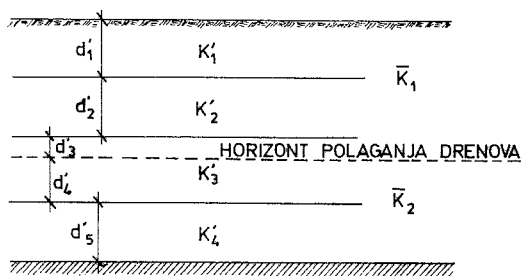
$$L^2 + 14,72 L - 1766 = 0$$

pa je:

$$L = 35,3 \text{ m.}$$

6.4. Ernstova metoda

Općenito rješenje proračuna paralelnog drenažnog sistema Hooghoudta i Kirkhama (jednadžbe 30 i 31) ne mogu se koristiti ako je tlo sastavljeno od dva ili više slojeva a dubina drenaže ne koincidira s granicom ovih slojeva. Naravno, za višeslojnu sredinu može se izračunati srednja hidraulička provodljivost, pa za profil tla prikazan slikom 17. prosječne veličine iznad \bar{k}_1 ispod \bar{k}_2 horizonta polaganja drena jesu:



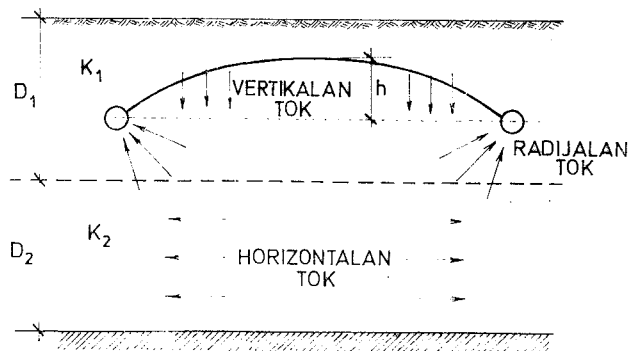
Sl. 17. Shematski prikaz višeslojne sredine

$$\bar{k}_1 = \frac{k_1' d_1' + k_2' d_2' + k_3' d_3'}{d_1' + d_2' + d_3'}$$

$$\bar{k}_2 = \frac{k_3' d_4' + k_4' d_5'}{d_4' + d_5'}$$

... 34

Kod ovog proračuna srednjih k vrijednosti samo je horizontalan tok i njegov utjecaj uzet u obzir, pa, budući da znatan dio toka nije horizontalan, mogu se učiniti znatne pogreške upotrebom osrednjenih veličina k . To je bio razlog da je Ernst (1954, 1962) izveo niz novih rješenja, koja se direktno temelje na analogiji između Darceyeva i Ohmova zakona. Ta rješenja su posebice valjana u dvoslojnoj sredini gdje je $k_1 \ll k_2$.



Sl. 18. Ernstova podjela tečenja na 3 komponente

Vodeći princip Ernsta je podjela toka na tri komponente: vertikalnu, horizontalnu i radijalnu; vidi sl. 18. Ova podjela nalaže da se i hidraulički tlak m na sredini razmaka drenova također može podijeliti na tri dijela:

$$m = m_v + m_h + m_r \quad \dots 35$$

Opća jednadžba (čiji izvod se može naći u literaturi [1]) Ernsta za dvoslojnu sredinu glasi:

$$m = R \frac{D}{k_1} + \frac{RL^2}{8(k_1 D_1 + k_2 D_2)} + RLW \quad \dots 36$$

gdje tri dijela desne strane jednadžbe 36 predstavljaju komponente gubitaka hidrauličkog tlaka: m_v , m_h i m_r .

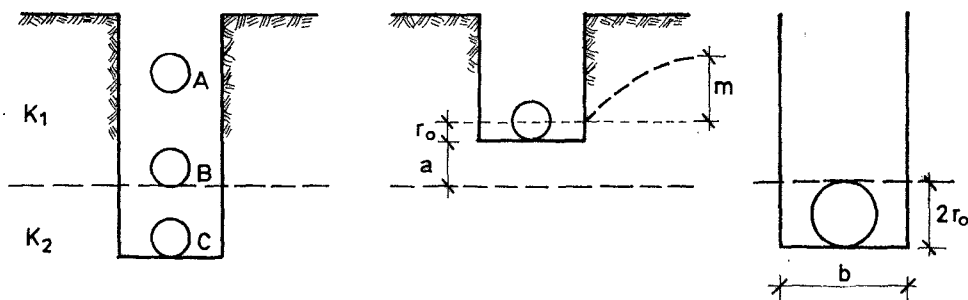
Simboli formule 36 koji nisu ranije opisani predstavljaju:

D_1 — srednja debljina gornjeg sloja

D_2 — debljina donjeg sloja

$R = Q$ — intenzitet oborine, odnosno protoke

W — radijalan otpor drena. Ova vrijednost ne ovisi samo o veličini drena, nego i o lokaciji drena u profilu, te o osobinama tla.



Sl. 19.c



Sl. 19.a



Sl. 19.b

Sl. 19. Shematski prikaz mogućeg visinskog položaja drena u dvoslojnoj sredini

Efekt visinske lokacije drena na veličinu W može se opisati s tri slučaja prezentirana slikom 19. To su slučajevi:

A. kada je dren situiran u gornjem sloju

$$D_1 = a + r_0 + m / 2 \quad (\text{vidi sl. 19b})$$

B. kada se nalazi točno na granici između dva sloja

$$D_1 = r_0 + m / 2; \text{ jer je } a = 0$$

C. kada je dren položen u donji sloj

$$D_1 = \frac{m}{2} + r_0 - a$$

gdje je a razmak između granice slojeva i dna drena.

Ernstove veličine za radijalan otpor W u ova tri slučaja iznose:

Slučaj A.

razlikuju se dvije alternative

A₁) $k_2 / k_1 \geq 20$

$$W = \frac{1}{\pi k_1} m \frac{4 D_1}{u} \quad \dots 37$$

gdje u označava opseg drena, koji se računa izrazom:

$$u = b + 2 (2 r_o) \quad \dots 38$$

pri čemu b označava širinu drenažnog rova (vidi sl. 19c).

A₂) $k_2 / k_1 < 20$

$$W_1 k_1 = W_0 k_1 + \frac{1}{\pi} \ln \frac{D_1}{4 r_o} \quad \dots 39$$

gdje se veličina $W_0 k_1$ određuje s pomoću dijagrama na sl. 20. kao funkcija omjera k_2 / k_1 i d_2 / d_1 .

Slučaj B.

$$W = \frac{1}{\pi k_2} \ln \frac{4 D_2}{\pi b} \quad \dots 40$$

Slučaj C.

$$W = \frac{1}{\pi k_2} \ln \frac{D_2}{u} \quad \dots 41$$

Za homogeni jednoslojni profil Ernstova jednadžba 36 reducira se na oblik:

$$m = R \frac{D}{k_1} + \frac{RL^2}{8 k D} + RLW \quad \dots 42$$

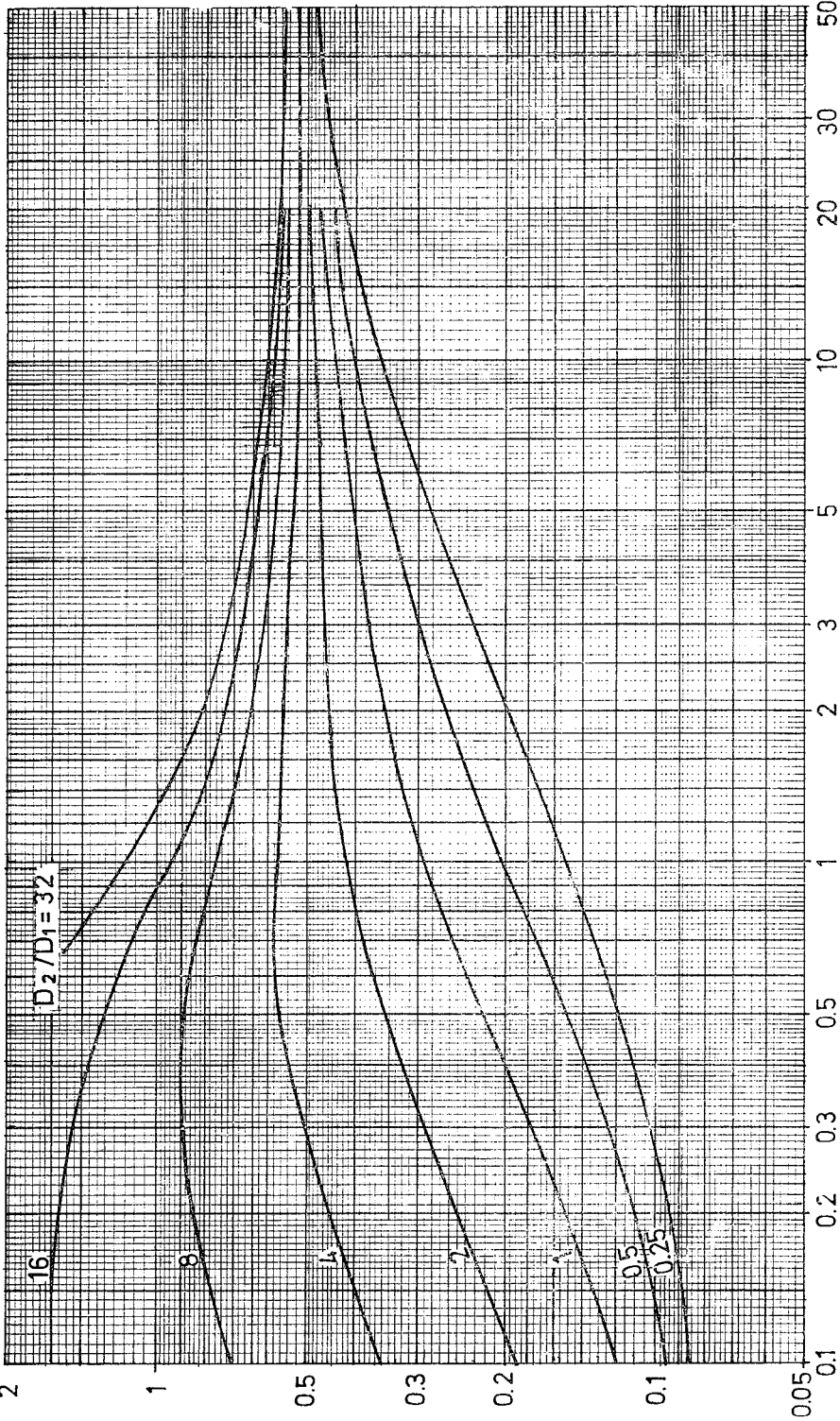
gdje se vrijednost W mora računati izrazom 41. Prvi član ove jednadžbe (vertikalni tok) se može zanemariti, jer je obično vrlo malen. Komparacija preostalog dijela ove jednadžbe s rješenjem Hooghoudta prikazanog s jednadžbom 28 pokazuje da je kod Ernsta radijalni tok, odnosno konvergencija linija toka u okolišu drena uzeta u obzir s faktorom RLW , umjesto reduciranja veličine D ($D = h$) na ekvivalentnu dubinu d .

Primjenu Ernstove metode najbolje je ilustrirati jednim primjerom.

Zadatak 8.

Treba izračunati razmak drenova L u paralelnom reljefnom sistemu, ako je polumjer drena $r_o = 0,03$ m, a širina drenskog rova $b = 0,3$ m. Dubina nepropusne podloge je na 4,5 m ispod površine, a dvoslojnu propusnu sredinu s granicom na dubini od 1,20 m karakteriziraju koeficijenti provodljivosti $k_1 = 0,2$ m/dan i $k_2 = 2$ m/dan. Proračun treba izvesti s protokom od

$K_1 W_0$



Sl. 20. Dijagram za proračun faktora $W_0 K_1$ radijalnog otpora u slučaju A_2

2 mm/dan (intenzitetom oborine), nivoom podzemne vode 0,50 m ispod površine terena i s tri veličine drenažnih dubina:

A) 0,80 m B) 1,20 m C) 1,60 m.

Rješenje

Zadane veličine su slijedeće:

$$\begin{aligned}
 R &= 0,002 \text{ m/dan} & r_o &= 0,03 \text{ m} \\
 k_1 &= 0,2 \text{ m/dan} & b &= 0,3 \text{ m} \\
 k_2 &= 2 \text{ m/dan} & u &= 0,30 + 2 \cdot 0,06 = 0,42 \text{ m} \\
 \frac{k_2}{k_1} &= 10 < 20 \text{ (slučaj } A_2) & D_1 &= 4,5 - 1,2 = 3,3 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Podaci		S l u č a j		
		A ₂	B	C
m	m	0,30	0,70	1,10
a	m	0,37	—	0,43
D ₁	m	0,55	0,35	0,15
D ₂ / D ₁		6		
K ₁ W _o	(slika 20)	0,50		
W	dan/m	4,923	0,420	0,328
k ₁ D ₁	m ² /dan	0,11	0,07	0,03
k ₂ D ₂	m ² /dan	6,60	6,60	6,60

Komponente gubitaka hidrauličke visine m prema jednadžbi 36 iznose:

Podaci		S l u č a j		
		A ₂	B	C
m _v	m	0,0055	0,0035	0,0015
10 ⁻⁵ m _h / L ²	m ⁻¹	3,726	3,748	3,771
10 ⁻³ m _r / L		9,846	0,840	0,656

pa konkretno jednadžbe drugog stupnja glase:

$$\begin{aligned}
 \text{— slučaj } A_2: & \quad L^2 + 264,35 L - 7904 = 0 \\
 \text{— slučaj } B: & \quad L^2 + 22,54 L - 18583 = 0 \\
 \text{— slučaj } C: & \quad L^2 + 17,40 L - 29130 = 0
 \end{aligned}$$

Odavde se jednostavno nalaze rješenja: L = 27,1 m u slučaju A₂, L = 125,5 m za B slučaj i L = 162,2 m za slučaj C.

Zadatak 9.

Da bi se uočio utjecaj diferencijacije propusne sredine, potrebno je isti zadatak 8. riješiti Ernstovom formulom 42 za homogeni jednoslojni profil adekvatne hidrauličke provodljivosti.

Rješenje

Srednja hidraulička provodljivost tla iznosi:

$$k = \frac{0,2 \cdot 1,20 + 2,0 \cdot 3,30}{4,50} = 1,52 \text{ m/dan.}$$

Srednja debljina područja toka: $D = \frac{2h + m}{2}$

Slučaj A: $D = (2 \cdot 3,7 + 0,30) / 2 = 3,85 \text{ m}$

Slučaj B: $D = (2 \cdot 3,3 + 0,70) / 2 = 3,65 \text{ m}$

Slučaj C: $D = (2 \cdot 2,9 + 1,10) / 2 = 3,45 \text{ m}$

Radijalni otpor drena prema formuli 41 iznosi:

$W = 0,464 \text{ dan/m}$ — za slučaj A

$W = 0,453 \text{ dan/m}$ — za slučaj B

$W = 0,441 \text{ dan/m}$ — za slučaj C.

Supstitucija poznatih veličina u jednadžbu 42 rezultira slijedećim jednadžbama drugog stupnja (zanemaren vertikalni tok; — član $R \frac{D_1}{k_1}$)

— Slučaj A: $L^2 + 21,72 L - 7.022 = 0$ $L = 73,6 \text{ m}$

— Slučaj B: $L^2 + 20,11 L - 15.534 = 0$ $L = 115,0 \text{ m}$

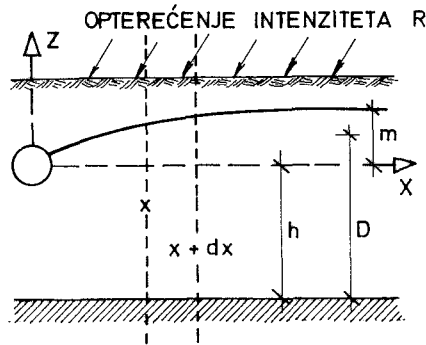
— Slučaj C: $L^2 + 18,50 L - 23.074 = 0$ $L = 142,9 \text{ m}$

Komparacija primjera iznesenih u zadacima 8. i 9. pokazuje da nije uputno računati s osrednjenom hidrauličkom provodljivosti u sredinama koje nisu homogene. Nadalje, iz ovih zadataka vrlo se zorno uočava relacija između parametara: razmak drenaže — dubina polaganja drenova, koja predstavlja ekonomsku kategoriju mjerodavnu za izbor rješenja.

7. RJEŠENJA NESTACIONARNOG STANJA

Za praktične proračune paralelnog sistema reljefskih drenova gotovo se uvijek koriste rješenja stacionarnog kretanja voda u tlu. Veća točnost, koja bi se mogla postići primjenom daleko kompliciranijih rješenja na temelju nestacionarnog stanja, dakle prirodnog stanja, nije uvijek realna. Razlog za ovu konstataciju leži u činjenici da su hidrološke konstante (hidraulička provodljivost, efektivna poroznost, dubina nepropusnog sloja i sl.) opterećene stanovitim pogreškama, koje ne proizlaze samo iz njihove varijacije u prostoru.

Međutim, za terensku determinaciju hidroloških konstanti, kao i u slučajevima gdje je oborinski fenomen (ili dodatne natapne količine) karakteriziran jakim varijabilnim intenzitetom korisno je raspolagati s rješenjima nestacionarnog stanja.



Sl. 21. Shema filtracije

Promatrajući maleni elementarni volumen dx na sl. 21. može se postaviti osnovna diferencijalna jednačina:

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{kD}{p} \cdot \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{R}{p} \quad \dots 43$$

gdje je:

z, x — vertikalna, odnosno horizontalna koordinata

k — hidraulička provodljivost tla

p — efektivna poroznost tla

R — intenzitet oborine

D — srednja debljina regiona toka; $D \approx \frac{2h + m}{2}$, ako je m visina vode u sredini razmaka drenova.

Rješenja diferencijalne jednačine 43 mogu se naći ako su poznati granični uvjeti.

U slučaju stacionarnog stanja tečenje prema drenu je neovisno o vremenu, pa se jednačina 43 reducira na:

$$\frac{\partial z^2}{\partial x^2} = - \frac{R}{kD} \quad \dots 44$$

Integriranjem dobivamo:

$$z = - \frac{1}{2} \cdot \frac{R}{kD} x^2 + Ax + B, \quad \dots 45$$

pa uz granične uvjete:

$$z = 0 \quad \text{za } x = 0 \text{ i } x = L$$

nalazimo konstante: $B = 0$ i $A = \frac{1}{2} \cdot \frac{R}{kD} L$.

Dakle:

$$z = \frac{1}{2} \cdot \frac{R}{kD} x^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{R}{kD} Lx. \quad \dots 45a$$

Ako obilježimo da je $z = m$, za $x = L/2$ dobivamo:

$$L^2 = \frac{8 k D m}{R} \quad \dots 46$$

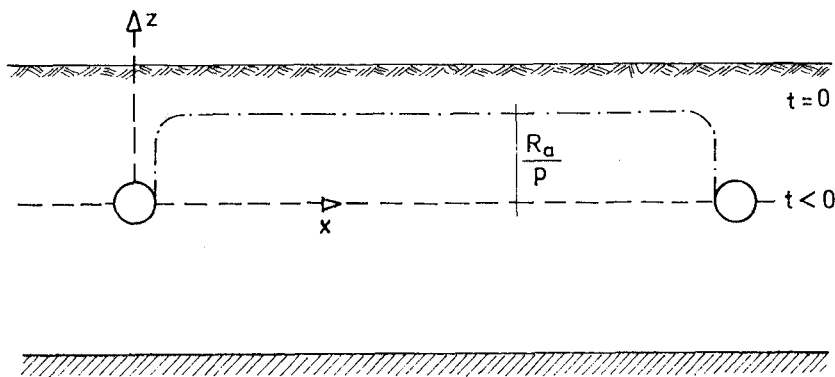
odnosno s $D = \frac{1}{2} (2 h + m)$ i koeficijentima provodljivosti k_1 i k_2 sloja iznad i ispod drena:

$$L^2 = \frac{8 k_2 h m + 4 k_1 m^2}{R} \quad \dots 47$$

To je poznata modificirana eliptična jednačba Hooghoudta (vidi formulu 30) temeljena na postavci horizontalnog toka u stacionarnom režimu. No, nakon ove digresije vratimo se na diferencijalnu jednačbu 43 i njena rješenja u uvjetima nestacionarnog stanja.

7.1. Jednačba Dumma

Zamislimo da započinjemo u trenutku $t = 0$ s horizontalnim nivoom podzemne vode $z = 0$ i od tog trenutka vremena djeluje intenzitet oborine R_a (istovremeno opterećenje), koji diže nivo podzemne vode na visinu R_a / p (vidi sliku 22). Od ovog vremena nastupa funkcioniranjem drenaže sniženje podzemnih nivoa.



Sl. 22. Shema Dummove postavke

Dakle, početni i granični uvjeti za koje se jednačba 43 mora riješiti su:

$z = 0$	$0 < x < L$	$t < 0$
$z = R_a / p = z_0$	$0 < x < L$	$t = 0$
$z = 0$	$x = 0 \quad x = L$	$t \geq 0$.

Rješenja su slijedeća

— visina nivoa podzemne vode u sredini razmaka drenova ($x = L / 2$):

$$z\left(\frac{L}{2}, t\right) = z_0 \frac{4}{\pi} \sum_{1, 3, 5}^{\infty} \frac{1}{n} e^{-n^2 at} \quad \dots 48$$

— protoka:

$$Q(t) = \frac{8}{\pi^2} R_a \cdot a \cdot L \sum_{1, 3, 5}^{\infty} e^{-n^2 at} \quad \dots 49$$

gdje je:

$$a = \frac{\pi^2 k D}{p L^2} \quad \dots 50$$

Kada se razmotri beskonačan niz prema jednadžbi 48, lako se vidi da se vrijednost svakog člana smanjuje sa n (e^{-at} , $-\frac{1}{3}e^{-9at}$, $\frac{1}{5}e^{-25at}$, ...); pa ako je eksponente od e dovoljno velik, vrijednost člana će biti vrlo mala. U izvjesnim uvjetima se već drugi član može zanemariti, odnosno jednadžba 48 pisati:

$$z_t = \frac{4}{\pi} z_0 \exp. \left(-\frac{k D \pi^2 t}{p L^2} \right) \quad \dots 51$$

Ova jednadžba riješena po L izgleda ovako:

$$L = \pi \left[\frac{k D t}{p \ln \frac{4 z_0}{\pi z_t}} \right]^{1/2} \quad \dots 52$$

a poznata je pod nazivom »jedadžba Dumma« (1954).

Kod primjene ove jednadžbe moramo voditi računa o slijedećim činjenicama:

Prva: zanemarivanje drugog i ostalih članova jednadžbe 48 dovodi do potcjenjivanja veličine z_t , pa je razlika između jednadžbi 48 i 51 to veća, što je faktor a intenziteta drenaže manji.

Druga: rješenje temelji se na čistom horizontalnom toku. Da bi se svladala ova poteškoća potrebno je veličinu D zamijeniti ekvivalentnom dubinom d , ali tada, jer je $d = f(L)$, razmak drenova L u jednadžbi Dumma nije više dan u eksplicitnoj formi.

Uz ova ograničenja primjena jednadžbe Dumma je pogodna naročito za definiranje razmaka drenova na navodnjavanim površinama. Tada u jednadžbi 52 veličina z_0 predstavlja podzemni nivo, neposredno nakon natapanja realiziran natapnom količinom R_n , dok je z_t potrebni nivo prije slijedećeg navodnjavanja. Vrijeme t je vremenski interval između dvaju natapanja. Primjenu jednadžbe Dumma ilustrirat ćemo slijedećim zadatkom:

Zadatak 10.

Kolik mora biti razmak drenova, ako navodnjavanu površinu karakteriziraju elementi navedeni u zadatku 3. Turnus natapanja je 10 dana. Nivo vode se nakon zalijevanja nalazi 0,4 m ispod površine, a traži se da taj nivo u trenutku slijedećeg zalijevanja ne bude niži od 0,8 m. Efektivna poroznost tla je 0,05.

Rješenje

Poznati podaci su slijedeći:

$$k = 0,8 \text{ m/dan}$$

$$D = 3,5 - 1,2 = 2,3 \text{ m}$$

$$z_o = 1,2 - 0,4 = 0,8 \text{ m}$$

$$z_t = 1,2 - 0,8 = 0,4 \text{ m}$$

$$t = 10 \text{ dana}$$

$$p = 0,05$$

$$r_o = 0,03 \text{ m.}$$

Uvrstivši ove veličine u jednadžbu 52 dobivamo:

$$L = 3,14 \left[\frac{0,8 \cdot 2,3 \cdot 10}{0,05} / \ln \frac{4 \cdot 0,8}{3,14 \cdot 0,4} \right]^{1/2}$$

ili

$$L = 62,3 \text{ m.}$$

Ako se konvergencija linija toka u okolišu drenova uzme u obzir, tada je potrebno proračunati ekvivalentnu dubinu d iz izraza:

$$L = 3,14 \left[\frac{0,8 \cdot d \cdot 10}{0,05} / \ln \frac{4 \cdot 0,8}{3,14 \cdot 0,4} \right]^{1/2}$$

$$L^2 = 1689,4 \text{ d.}$$

Sada korištenjem slike 10. za razmak drenova $L = 54,4 \text{ m}$ je veličina $F = 3,88$ pa je ekvivalentna dubina $d = 54,4 / 8 \cdot 3,88 = 1,75 \text{ m}$, čime je zadovoljen gornji uvjet:

$$2959 \doteq 2956.$$

7.2. Rješenje Maasland-Krayenhoffa

Vrlo efikasno rješenje diferencijalne jednadžbe 43 postigli su Krayenhoff van de Leur (1958) i Maasland (1959) pretpostavljajući u momentu $t = 0$ horizontalan nivo podzemne vode sa $z = 0$ i od tog trenutka vremena konstantan intenzitet oborine R počinje formirati podzemni nivo između drenova. Nivo vode u drenovima drži se na $z = 0$.

Dakle, granični uvjeti su:

$$\begin{array}{lll} z = 0 & 0 < x < L & t = 0 \\ z = 0 & x = 0 \quad x = L & t \geq 0 \\ R = R & & t > 0. \end{array}$$

Uz ove uvjete rješenja jednadžbe 43 iznose:

— za visinu nivoa podzemne vode u sredini razmaka drenova:

$$z\left(\frac{L}{2}, t\right) = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{R}{p} j \sum_{1, -3, 5}^{\infty} \frac{1}{n^3} \{1 - e^{-n^2 at}\} \quad \dots 53$$

— za protoku:

$$Q(t) = \frac{8}{\pi^2} R \sum_{1, 3, 5}^{\infty} \frac{1}{n^3} \{1 - e^{-n^2 at}\} \quad \dots 54$$

gdje je j tzv. koeficijent akumulacije; recipročna vrijednost faktora a intenziteta drenaže:

$$j = \frac{1}{a} = \frac{1}{\pi^2} \cdot \frac{p L^2}{k d} \quad \dots 55$$

Izrazi 53 i 54 vrijede, kako smo već naveli, za konstantne oborine intenziteta R , pa sami za sebe ne daju mnogo informacija, jer se teško može javiti konstantna oborina u vrlo dugom intervalu vremena. Stoga je nužno računati s promjenjivim intenzitetom oborine. Korištenjem metode superpozicije pomoću temeljnih izraza 53 i 54 može se izvesti opće rješenje za slučaj da se intenzitet oborine mijenja iz dana u dan. Ista teorija vrijedi i za kraće intervale vremena, ali su nam obično ti podaci nepoznati.

Opća rješenja glase:

— za visinu nivoa podzemne vode u polovini razmaka drenova na kraju m -tog dana:

$$\begin{aligned} z_m = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{j}{p} \left[R_m \sum_{1, -3, 5}^{\infty} \frac{1}{n^3} (1 - e^{-n^2 a}) + \right. \\ \left. + R_{m-1} \sum_{1, -3, 5}^{\infty} \frac{1}{n^3} (e^{-n^2 a} - e^{-2 n^2 a}) + \right. \\ \left. + R_{m-2} \sum_{1, -3, 5}^{\infty} \frac{1}{n^3} (e^{-2 n^2 a} - e^{-3 n^2 a}) + \dots \right] \quad \dots 56 \end{aligned}$$

— za intenzitet protoke na kraju m -tog dana:

$$\begin{aligned} Q_m = \frac{8}{\pi^2} \left[R_m \sum_{1, 3, 5}^{\infty} \frac{1}{n^2} (1 - e^{-n^2 a}) + \right. \\ \left. + R_{m-1} \sum_{1, 3, 5}^{\infty} \frac{1}{n^2} (e^{-n^2 a} - e^{-2 n^2 a}) + \right. \\ \left. + R_{m-2} \sum_{1, 3, 5}^{\infty} \frac{1}{n^2} (e^{-2 n^2 a} - e^{-3 n^2 a}) + \dots \right] \quad \dots 57 \end{aligned}$$

Gornje jednađbe se mogu pisati u formi:

$$z_m = \frac{1}{p} \{ R_m A_m + R_{m-1} A_{m-1} + R_{m-2} A_{m-2} + \dots \} \quad \dots 58$$

$$Q_m = R_m B_m + R_{m-1} B_{m-1} + R_{m-2} B_{m-2} + \dots \quad \dots 59$$

Vrijednost A i B mogu se proračunati unaprijed za različite veličine intenziteta drenaže $j = \frac{1}{a}$. Tabelarno su prikazane u originalnom radu Maaslanda (literatura [4]). U priloženoj tablici navodimo samo izvadak iz tih tabela, koji će nam poslužiti da na jednom primjeru prikažemo njihovu primjenu.

Z a d a t a k 11.

Potrebno je proračunati ponašanje reljefnog drenažnog sistema, kojeg smo dimenzionirali u zadatku 3, ako je ovaj nakon dužeg sušnog perioda opterećen sljedećim nizom oborina:

dan:	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	kolovoz
oborina:	10	20	10	5	0	0	0	mm/dan

Efektivna poroznost tla iznosi $p = 0,05$.

R j e š e n j e

Najprije je potrebno proračunati faktor a intenziteta drenaže. Prema formuli 55 supstitucijom poznatih veličina dobivamo:

$$a = \frac{\pi^2 \cdot 0,8 \cdot 1,58}{0,05 \cdot 38^2} = 0,17 \text{ dana}^{-1}$$

S pomoću faktora A i B iz prezentirane tablice računamo na kraju svakog dana perioda od 15. do 21. kolovoza:

a) visinu nivoa vode iznad horizonta drenova (formula 58)

dan

15. VIII	$pz = 1 \cdot 10 = 10 \text{ mm}$	$z = 20 \text{ cm}$
16. VIII	$pz = 0,94 \cdot 10 + 1 \cdot 20 = 29 \cdot 4 \text{ mm}$	$z = 58,8 \text{ cm}$
17. VIII	$pz = 0,82 \cdot 10 + 0,94 \cdot 20 + 1 \cdot 10 = 37 \text{ mm}$	$z = 74 \text{ cm}$
18. VIII	$pz = 0,70 \cdot 10 + 0,82 \cdot 20 + 0,94 \cdot 10 +$ $+ 1 \cdot 5 = 37 \cdot 8 \text{ mm}$	$z = 75,6 \text{ cm}$
19. VIII	$pz = 0,59 \cdot 10 + 0,70 \cdot 20 + 0,82 \cdot 10 +$ $+ 0,94 \cdot 5 = 32,8 \text{ mm}$	$z = 65,6 \text{ cm}$
20. VIII	$pz = 0,50 \cdot 10 + 0,59 \cdot 20 + 0,70 \cdot 10 +$ $+ 0,82 \cdot 5 = 27,9 \text{ mm}$	$z = 55,8 \text{ cm}$
21. VIII	$pz = 0,42 \cdot 10 + 0,50 \cdot 20 + 0,59 \cdot 10 +$ $+ 0,70 \cdot 5 = 23,6 \text{ mm}$	$z = 47,2 \text{ cm}$

Tablica

VRIJEDNOSTI $A \times 10^2$ ZA PRORAČUN NIVOA
PODZEMNE VODE

a A	0,05 0,10 0,15 0,17 0,20 0,30 0,40 0,50									
	A m	100	100	100	100	100	99	98	95	92
A m—1	100	99	96	94	91	80	70	61	61	
A m—2	100	95	86	82	77	60	47	37	37	
A m—3	98	88	75	70	63	45	32	22	22	
A m—4	96	80	65	59	52	33	21	14	14	
A m—5	93	73	56	50	42	25	14	8	8	
A m—6	90	66	48	42	35	18	10	5	5	
A m—7	86	60	41	36	28	13	6	3	3	
A m—8	82	54	36	30	23	10	4	2	2	
A m—9	79	49	31	25	19	7	3			
A m—10	75	45	26	26	16	5	2			
A m—11	71	40	23	18	13	4	1			
A m—12	68	37	20	15	11	3				
A m—13	65	33	17	13	9	2				
A m—14	62	30	14	11	7	2				
A m—15	59	27	12	9	6	1				
A m—16	56	24	11	8	5					
A m—17	53	22	9	6	4					
A m—18	50	20	8	5	3					
A m—19	48	18	7	5	3					

Tablica

VRIJEDNOSTI $B \times 10^3$ ZA PRORAČUN PROTOKA

a B	0,05 0,10 0,15 0,17 0,20 0,30 0,40 0,50									
	B m	161	227	278	296	321	393	454	507	
B m—1	66	94	115	123	133	161	182	194		
B m—2	51	72	88	94	100	116	120	117		
B m—3	43	61	73	77	81	85	80	71		
B m—4	38	53	62	64	66	63	54	43		
B m—5	34	47	53	54	54	47	36	26		
B m—6	31	42	46	46	44	35	24	16		
B m—7	29	38	40	38	36	26	16	10		
B m—8	27	35	34	32	30	19	11	6		
B m—9	26	31	29	27	24	14	7			
B m—10	24	28	25	23	20	10	5			
B m—11	23	26	22	20	16	8	3			
B m—12	22	23	19	16	13	6				
B m—13	21	21	16	14	11	4				
B m—14	20	19	14	12	9	3				
B m—15	19	17	12	10	7	2				
B m—16	18	15	10	8	6					
B m—17	17	14	9	7	5					
B m—18	16	13	8	6	4					
B m—19	15	12	7	5	3					

b) protoke (formula 59)

15. VIII	$Q = 0,296 \cdot 10$	= 2,96 mm/dan
16. VIII	$Q = 0,123 \cdot 10 + 0,296 \cdot 20$	= 7,15 mm/dan
17. VIII	$Q = 0,094 \cdot 10 + 0,123 \cdot 20 + 0,296 \cdot 10$	= 6,36 mm/dan
18. VIII	$Q = 0,077 \cdot 10 + 0,094 \cdot 20 + 0,123 \cdot 10 + 0,296 \cdot 5$	= 5,36 mm/dan
19. VIII	$Q = 0,064 \cdot 10 + 0,077 \cdot 20 + 0,094 \cdot 10 + 0,123 \cdot 5$	= 0,374 mm/dan
20. VIII	$Q = 0,054 \cdot 10 + 0,064 \cdot 20 + 0,077 \cdot 10 + 0,094 \cdot 5$	= 3,06 mm/dan
21. VIII	$Q = 0,046 \cdot 10 + 0,054 \cdot 20 + 0,064 \cdot 10 + 0,077 \cdot 5$	= 2,56 mm/dan

Iz ovog proračuna direktno se vidi efekat izvjesne oborine na protoku i visinu nivoa vode u sredini između drenova. Valja obratiti pažnju da najviši vodni nivo ne koincidira s najvećom protokom. To je potpuno u skladu s prirodom nestacionarnog režima tečenja.

7.3. Primjena postavki stacionarnog stanja na definiranje nestacionarnih problema

Postoje u nekim okolnostima jednostavne mogućnosti da se nestacionarna stanja proračunaju s pomoću postavki stacionarnog tečenja. Naravno, taj način je približan, ali za praksu jednostavan i vrlo praktičan.

Uzmimo kao ilustraciju primjer zadatka 10. u kome se tražio potreban razmak drenova na navodnjavanoj parceli, uz uvjet da se podzemni nivo koji se formirao nakon zaljevanja na 0,4 m ispod terena ne smije spustiti više od 0,8 m, neposredno prije slijedećeg natapanja. Tlo ima efektivnu propusnost 5 %, pa je količina vode koja se uklanja: $0,05 \times 0,4 \text{ m} = 20 \text{ mm}$. Uz ciklus natapanja od 10 dana srednja protoka sistema je 2 mm/dan.

Sada postoje dvije mogućnosti za dobivanje odgovora na traženo pitanje:

- Uzeti srednju protoku drenaže i s jednom i drugom situacijom podzemnog vodnog nivoa izračunati razmak drenova korištenjem formula stacionarnog stanja.
- Uzeti srednju dubinu nivoa vode i izračunati razmak drenova postavkama stacionarnog tečenja.

Dakle, koristimo srednju protoku i srednji nivo vode. Protoka je proporcionalna s visinom nivoa vode. Međutim, opadanje nivoa vode nije linearno, nego je mnogo brže na početku. Stoga, da bi se uzela u obzir ova činjenica može se izabrati kao prosječni nivo vode geometrijska, umjesto aritmetičke sredine. Nakon numeričkog proračuna navedenog primjera dokazat ćemo i teoretski da je opravdano usvojiti u proračunu razmaka drenova geometrijsku sredinu vodnih nivoa.

Z a d a t a k 12.

Potrebno je naći razmak drenova u drenažnom sistemu iz zadatka 10. jednadžbama stacionarnog stanja suponirajući:

A) srednju protoku sistema: $\bar{R} = 2$ mm/dan

B) srednji nivo vode definiran kao:

B₁) aritmetička sredina (drenažna dubina je 1,20 m):

$$\bar{m} = \frac{0,80 + 0,40}{2} = 0,60 \text{ m}$$

B₂) geometrijska sredina:

$$\log \bar{m} = \frac{\log 0,80 + \log 0,40}{2}; \quad \bar{m} = 0,40 \text{ m.}$$

R j e š e n j e

A) Prema modificiranoj eliptičnoj jednadžbi 30 Hooghoudta, ako kapacitet drenaže kod hidrauličkog tlaka $m = 0,80$ m formiranog neposredno nakon natapanja označimo sa R_1 , a sa R_2 protoku direktno prije slijedećeg zalijeivanja, kada je $m = 0,40$, tada se može pisati:

$$\begin{aligned} R_1 L^2 &= 5,12 d + 2,048 \\ R_2 L^2 &= 2,56 d + 0,512. \end{aligned}$$

Budući da je:

$$\frac{R_1 + R_2}{2} = \bar{R} = 2 \text{ mm/dan}$$

to iz gornjeg sistema jednadžbi nalazimo:

$$L^2 = (7,68 d + 2,56) / 0,004 = 1920 d + 640.$$

Uz pomoć slike 10. nalazimo brzo rješenje ove uvjetne jednadžbe. Naime, za razmak drenova od $L = 64$ m je veličina $F = 4,40$ i $d = 1,82$ m. Supstitucijom veličina L i d u gornji sistem jednadžbi nalazimo protoke drenaže:

$$\begin{aligned} R_1 &= 2,77 \text{ mm/dan,} \\ R_2 &= 1,26 \text{ mm/dan,} \end{aligned}$$

pa je prosječna protoka $R = 2,015$ mm/dan vrlo blizu zadanoj veličini $R = 2$ mm/dan.

B₁) Identičnim postupkom uz primjenu jednadžbe 30 za $m = 0,60$ m dobivamo:

$$L^2 = 1920 d + 576,$$

čijim rješenjem, također nalazimo razmak drenova $L = 64$ m.

B₂) Uz hidraulički tlak $m = 0,40$ m jednadžba 30 dobiva oblik:

$$L^2 = 1280 d + 256,$$

pa je $L = 49,5$ m ($F = 3,62$; $d = 1,71$ m).

Komparacijom dobivenih rezultata u analiziranim situacijama A, B₁ i B₂ s rezultatom prema jednadžbi Dumma (L = 54,4 m) u zadatku 10. može se zaključiti, da slučaj B₂, tj. suponiranje geometrijske sredine za dubinu nivoa vode daje najtočnije rješenje proračuna razmaka drenova.

Kod proračuna opadanja podzemnih vodnih nivoa moguće je razmatrati u svakom trenutku stacionarno stanje. Za najviši vodni nivo može se proračunati protoka iz zadanog sistema. Npr. u našem analiziranom slučaju B₂ kapacitet drenaže iznosi:

$$R = 4,467 \text{ m} + 1,306 \text{ m}^2 \quad \text{u mm/dan}$$

te za $m = 0,80 \text{ m}$ je $R = 4,41 \text{ mm/dan}$. Efektivni porozitet od $p = 0,05$ će prouzrokovati opadanje nivoa za $\Delta m = 4,41 / 0,05 = 88,2 \text{ mm}$ ili $0,088 \text{ m}$. Sa hidrauličkim tlakom za $0,088 \text{ m}$ nižim, tj. $m = 0,80 - 0,088 = 0,712 \text{ m}$, dobivamo $R = 3,84 \text{ mm}$. Ova protoka dovodi do pada nivoa vode za $\Delta m = 3,84 / 0,05 = 76,8 \text{ mm} = 0,077 \text{ m}$. Naravno, ovako se može u nastavku dalje računati.

Princip ovog primjera može se matematički izraziti u formi:

$$p \, dm = (R - Q) \, dt \quad \dots 60$$

gdje R predstavlja efektivnu oborinu, a Q protoku drena.

Jednadžba 60 pokazuje promjenu vodnih nivoa dm u relaciji s razlikom protoke $(R - Q)$ u veoma malom intervalu vremena.

Prema jednadžbi Hooghoudta 30 može se pisati:

$$Q = \alpha \cdot m \quad \dots 61$$

gdje je:

$$\alpha = \frac{8 \, kd}{L^2}, \quad \dots 62$$

ako se zanemari drugi član jednadžbe 30 (što se može učiniti u slučajevima gdje je m malen u komparaciji sa d).

Uvrstimo li izraz 61 u diferencijalnu jednadžbu 60, dobit ćemo:

$$p \, dm = (R - \alpha m) \, dt. \quad \dots 62$$

Integriranjem ove jednadžbe u granicama $t = 0$, $m = m_0$ i za $t = t_m$, $m = m_t$ nalazimo:

$$-\frac{p}{\alpha} \ln \frac{R - \alpha m_t}{R - \alpha m_0} = t$$

ili

$$m_t = m_0 e^{-\frac{\alpha t}{p}} + \frac{R}{\alpha} (1 - e^{-\frac{\alpha t}{p}}). \quad \dots 63$$

Prema jednadžbama 61 i 63 proizlazi da je protoka ovisna o vremenu t :

$$Q_t = Q_0 e^{-\frac{\alpha t}{p}} + R (1 - e^{-\frac{\alpha t}{p}}). \quad \dots 64$$

Za sušni period $R = 0$ ove se jednačbe mijenjaju i dobivaju oblik:

$$m_t = m_0 e^{-\frac{\alpha \cdot t}{P}} \quad \dots 63a$$

$$Q_t = Q_0 e^{-\frac{\alpha \cdot t}{P}} \quad \dots 64a$$

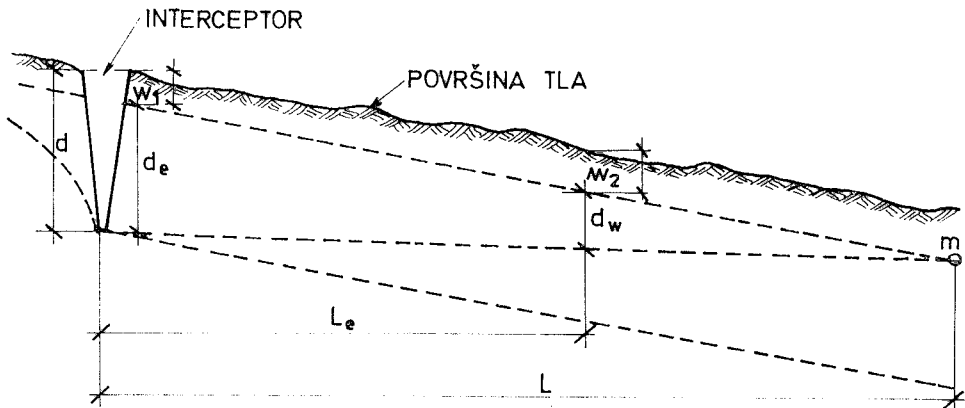
Kada bi se ove jednačbe grafički prikazale u polulogaritamskoj anamorfozi, one bi bile pravci pa su dakle, $\ln \frac{m_t}{m_0}$ ili $\ln \frac{Q_t}{Q_0}$ u linearnom odnosu s vremenom t . U tom je sadržana konstatacija da se računajući s geometrijskom sredinom vodnih nivoa m mogu veoma pojednostavljeno proračunati opadanja nivoa u vremenu.

8. INTERCEPCIJSKI DRENOVI

U prethodnim poglavljima smo razmatrali teoretske aspekte podzemnog tečenja i primjenu izvedenih formula za inženjersko dimenzioniranje reljefu drenaže, tj. jednog paralelnog sistema ekvidistantnih drenova. Pri tom smo se uvjerali da distanca na kojoj su reljefni drenovi efikasni u sniženju podzemnih vodnih nivoa ovisi o lokaciji nepropusne podloge, ali nije pod utjecajem nagiba linije hidrauličkog gradijenta originalne površine vodnog nivoa. Međutim, to nije slučaj kod intercepcijskih drenova, gdje njihova efikasnost djelovanja bitno ovisi o padu linije hidrauličkog gradijenta prirodnog vodnog nivoa podzemne vode, ali nije limitirana pozicijom nepropusne podloge.

Teoretski količina podzemne vode uklonjena intercepcijskim drenom proporcionalna je omjeru dubine drena s ukupnom dubinom vodonosnog horizonta iznad nepropusne podloge. Ako je dren postavljen na padinu tog horizonta i ima adekvatan kapacitet da sakupi i odvede prisutnu podzemnu vodu, on će ukloniti cijelu protočnu količinu vodonosnog sloja.

Kod dimenzioniranja intercepcijskih drenova neophodno je proračunati efekat drena u nizvodnom smjeru toka podzemne vode, da bi se ustanovilo da li je jedna ili nekoliko linija drenova potrebna za sniženje nivoa pod-



Sl. 23. Intercepcijski dren i površina utjecaja

zemne vode na zamočvarenoj površini. Ovo je prilično kompleksan problem, koji se simplificira pretpostavkom da dren prihvaća cijeli uzvodni tok formiran na njegovoj dubini, a nizvodna distanca na kojoj je efikasan ovisi o dubini drena i dotoka podzemne vode na tom sektoru.

Prema slici 23. to je potez dužine L od drena do točke m , gdje dren gubi svoje djelovanje. Za dren u koji ulazi čitav podzemni tok s uzvodne strane, čiji je hidraulički gradijent vodnog nivoa veći od $0,03$ se kaže da je »pravi« intercepcijski dren. Za takav se objekt efikasna dužina djelovanja može proračunati empiričkim izrazom:

$$L_e = \frac{k i}{Q} (d_e - d_w + W_2) \quad \dots 65$$

gdje je (vidi sliku 23):

- L_e — nizvodna udaljenost od drena gdje je nivo podzemne vode nakon dreniranja na željenoj dubini, m
- k — prosječna hidraulička provodljivost tla u profilu drena, m/dan
- Q — kapacitet drena, m/dan
- i — hidraulički gradijent
- d_e — efektivna dubina drena, vertikalna distanca od dna drena do nivoa podzemne vode
- d_w — poželjna minimalna dubina nivoa podzemne vode nakon dreniranja
- W_1, W_2 — dubina nivoa podzemne vode prije dreniranja u profilu drena, odnosno u profilu na udaljenosti L_e . Kod jednoličnog pada hidrauličkog gradijenta može se usvojiti da je $W_1 = W_2$.

Z a d a t a k 13.

Potrebno je odrediti efikasnu dužinu intercepcijskog drena, ako su prema slici 23. poznati slijedeći faktori:

$$\begin{aligned} d &= 4 \text{ m} & i &= 0,12 \\ W_1 = W_2 &= 0,5 \text{ m} & Q &= 0,003 \text{ m/dan} \\ k &= 0,8 \text{ m/dan} & d_w &= 1,0 \text{ m} \end{aligned}$$

R j e š e n j e

Efektivna dubina drena iznosi:

$$d_e = d - W_1 = 4,0 - 0,5 = 3,5 \text{ m.}$$

Supstitucijom navedenih faktora u jednadžbu 65 nalazimo:

$$L = \frac{0,8 \cdot 0,12}{0,003} (3,5 - 1,0 + 0,5) = 128 \text{ m.}$$

Na udaljenosti 128 m nizvodno od drena dubina nivoa podzemne vode bit će na željenoj dubini od $1,0 \text{ m}$. Ako bi bilo potrebno postaviti više paralelnih linija intercepcijskih drenova, tada bi razmak između prve i druge linije iznosio 128 m , dok bi se ostale distance (između druge i treće linije itd.) morale ponovo proračunati koristeći popravljene vrijednosti pada hidrauličkog gradijenta uslijed funkcioniranja uzvodnih drenova.

LITERATURA

1. *D. i Z. Srebrenović*: Podzemno odvodnjavanje (Sveuč. naklada Liber, Zagreb 1981)
2. ***: Drainage of agricultural land (US department of agriculture, Washington 1971)
3. *Wesseling*: Principles of land drainage, theories of flow towards horizontal drains (Ninth International Course on Land Drainage, Wageningen 1970)
4. *Maasland*: Water table fluctuations induced by intermittent recharge (Journal of Geoph. Res. 64, 1959)
5. *Donnan*: Drainage of agricultural land using interceptor lines (Trans. Amer. Soc. of Civ. Eng. Proc., 1954)
6. *Kirkham*: Seepage of steady rainfall through soil into drains (Trans. Amer. Geophys. Union 39, 1958)
7. *Dagan*: Spacing of drains by an approximate method (Journal of Irr. and Drainage Division. Proc. of the ASAE Paper, 1964)
8. *Dumm*: Drain spacing formula (Arg. Eng. 35, 1954)
9. *Marino*: Rise and decline of the water table induced by vertical recharge (Journal of Hydrology 23, 1974)
10. *Toksoz i Kirkham*: Non-steady state flow with special reference to a reservoir coefficient (De Ingenier 40, 1958)

POTREBA I ZNAČENJE IZVEDBE SUSTAVA PODZEMNOG ODVODNJAVANJA

Dr JOSIP MARUŠIĆ, dipl. ing. građ.

1. POTREBA, ZADATAK I CILJ SUSTAVA PODZEMNOG ODVODNJAVANJA

Osnovni zadatak podzemnog odvodnjavanja je da sustavom drenskih cijevi stvara i održava optimalni vodozračni režim u tlu prema zahtjevima racionalne i stabilne proizvodnje poljoprivrednih kultura. Prije izgradnje sustava podzemnog odvodnjavanja potrebna je izgradnja i kvalitetno održavanje hidrotehničkih objekata za zaštitu od vanjskih poplavnih voda kao i sustava površinskog odvodnjavanja melioracijskih površina.

Izbor rješenja sustava podzemnog odvodnjavanja uvjetovan je prvenstveno uzrocima zamočvarivanja, genezom i strukturom tla, namjenom i načinom korištenja tla, potrebom intenzifikacije biljne proizvodnje i primjenom suvremene agrotehnike. Hidrotehnički stručnjaci trebaju imati u vidu da poljoprivredni proizvođači žele ostvariti veće prirode biljnih kultura uz minimalne troškove u procesu poljoprivredne proizvodnje (od pripreme zemljišta i sjetve preko gnojidbe i vegetacije do žetve biljnih kultura).

Potrebu, zadatak i cilj izgradnje sustava podzemnog odvodnjavanja treba vrednovati i sagledati u slijedećim efektima:

- brže i lakše otjecanje suvišnih podzemnih voda iz oraničnog sloja i zone korijena biljaka,
- optimalno sniženje nivoa podzemnih voda,
- brže prosušivanje tla u zoni korijena biljaka,
- brža areacija tla,
- povećanje temperature tla,
- povećanje akumulacijske sposobnosti tla za vodu,
- povoljnija struktura zemljišta,
- lakši rast i prodiranje korijena biljaka u dublje slojeve tla,
- pravovremena priprema i obrada zemljišta,
- racionalnije korištenje poljoprivredne mehanizacije,
- bolja klijavost sjemena biljaka,
- optimalni razvoj biljaka u vegetacijskom periodu,
- ostvarenje viših, stabilnih i optimalnih priroda poljoprivrednih kultura.

Velika prednost podzemnog odvodnjavanja je i u tome što su drenske cijevi ispod nivoa terena (0,70 — 0,90 — 1,30 m) tako da se ne smanjuju obradive površine i znatno smanjuje broj hidromelioracijskih objekata. Također se povećavaju poljoprivredne parcele i smanjuje putna mreža.

I pored visoke cijene izgradnje, dosadašnja iskustva potvrdila su opravdanost i daljnju potrebu izgradnje sustava podzemnog odvodnjavanja naših poljoprivrednih zemljišta. Potvrda navedene konstatacije evidentna je i dokumentirana je u znatnom povećanju priroda poljoprivrednih kultura na dreniranim površinama i optimalnijem korištenju poljoprivredne mehanizacije. Osnovni zadatak i cilj sustava podzemnog odvodnjavanja i nadalje ostaje u stvaranju i održavanju optimalnog vodozračnog režima prema zahtjevima racionalne i stabilne proizvodnje poljoprivrednih kultura.

2. STUPANJ IZGRAĐENOSTI SUSTAVA PODZEMNOG ODVODNJAVANJA U SR HRVATSKOJ

Radi sagledavanja postojećeg stupnja izgrađenosti sustava podzemnog odvodnjavanja potrebno je imati u vidu i stupanj te daljnju potrebu izgradnje i sustava površinskog odvodnjavanja u SR Hrvatskoj. Prema raspoloživim podacima za 1985. god. osnovni pokazatelji poljoprivrednih i melioracijskih površina su slijedeći:

a) Ukupne poljoprivredne površine		3,234.973 ha
od toga:		
— obradive površine		2,051.108 ha
— zasijane površine		1,333.412 ha
b) Ukupne melioracijske površine		1,845.510 ha
a od toga:		
— potpuno izgrađeni sustavi površinskog odvodnjavanja	49,0 %	904.410 ha
— potrebna dogradnja postojećih sustava površinskog odvodnjavanja	27,7 %	511.060 ha
— potrebna izgradnja novih sustava površinskog odvodnjavanja	23,3 %	430.040 ha

Prije izgradnje novih sustava površinskog odvodnjavanja unutrašnjih voda potrebna je izgradnja hidrotehničkih objekata za zaštitu od vanjskih poplavnih voda na 12,7 % melioracijskih površina, odnosno na 234.490 ha.

c) Odvodnjavanje suvišnih podzemnih voda poljoprivrednih zemljišta potrebno je na površini		822.350 ha
— Do kraja 1985. god. izgrađeni su sustavi podzemnog odvodnjavanja na 12,1 % melioracijskih površina odnosno na		99.140 ha
— Potrebna je izgradnja novih sustava podzemnog odvodnjavanja na 87,9 % površina odnosno na		723.210 ha

Pored hidropedoloških obilježja tla i zahtjeva suvremene proizvodnje poljoprivrednih kultura, potreba i mogućnost izgradnje te funkcioniranja sustava podzemnog odvodnjavanja uvjetovani su i stupnjem izgrađenosti te održavanja sustava površinskog odvodnjavanja.

U vezi s tim bitni su i slijedeći pokazatelji:

d) Od ukupno zasijanih površina		1,333.412 ha
— u društvenom posjedu je 22,7 %		302.319 ha
— u individualnom posjedu je 77,3 % odnosno		1,031.093 ha

e) Od ukupno zasijanih površina u društvenom posjedu	302.319 ha
— drenirane površine su 32,8 %	99.050 ha
f) Od ukupno zasijanih površina u individualnom posjedu	90 ha
— drenirano je samo 0,001 %	

2.1. Lokacija i veličina dreniranih melioracijskih površina u SR Hrvatskoj — do kraja 1985. god.

Stupanj izgrađenosti i održavanja sustava površinskog odvodnjavanja uvjetovao je i vremensku dinamiku te opseg izgradnje sustava podzemnog odvodnjavanja. Pri tome je bitno imati u vidu privredne i poljoprivredne planove šire društveno-političke zajednice te financijske, stručne i tehničke mogućnosti poljoprivrednih i vodoprivrednih organizacija.

Prema lokaciji i veličini dreniranih poljoprivrednih površina podaci su slijedeći:

— Poljoprivredne radne organizacije — melioracijska područja		površina — ha
a) Slavonija — Posavina Đakovo, Nova Gradiška, Slavonski Brod, Slavonska Požega, Vinkovci, Vukovar i Županja	42,0 %	41.680 ha
b) Slavonija — Podravina Donji Miholjac, Našice, Osijek, Podravska Slatina, Slavonska Orahovica, Valpovo	20,5 %	20.340 ha
c) Črnc-polje	13,7 %	13.540 ha
d) Zajednica općina Bjelovar	10,5 %	10.400 ha
e) Dalmacija	2,0 %	1.940 ha
f) Istra i Primorje	1,4 %	1.420 ha
g) Ostala melioracijska područja	9,9 %	9.820 ha
Ukupno SR Hrvatska:	100 %	99.140 ha

U navedenim pokazateljima uočljivo je dominantno učešće dreniranih površina u Slavoniji — na ukupno 62,5 % odnosno 62.020 ha. Međutim, u sklopu toga treba imati u vidu i da je od ukupno zasijanih površina (društvenog posjeda) u SR Hrvatskoj — na 302.319 ha, u Slavoniji i Baranji zasijane površine su bile na 73,0 %, odnosno na 220.676 ha. To znači da je u 1985. god. bilo drenirano 20,5 % od ukupno zasijanih površina društvenog posjeda Slavonije i Baranje. U sklopu toga važan je i podatak da nema dreniranih površina na području Baranje gdje su zasijane površine društvenog posjeda na 30.349 ha. Od ukupno zasijanih površina društvenog posjeda u Slavoniji (bez Baranje) na 190.327 ha drenirano je 32,6 %. Najviše dreniranih zemljišta odnosno izgrađenih sustava podzemnog odvodnjavanja je na slivnom području »Biđ—Bosut« i »Karašica—Vučica« te »Črnc-polju«.

Vremenska dinamika i opseg izgradnje sustava podzemnog odvodnjavanja uvjetovana je u prvom redu stupnjem izgradnje i održavanja sustava površinskog odvodnjavanja te realnosti provedbe poljoprivrednih i vodoprivrednih planova pojedinih melioracijskih područja i društveno-političkih zajednica.

U sklopu projektiranja i izgradnje sustava podzemnog odvodnjavanja bitno je pravovremeno sagledati značenje i potrebu neophodnih terenskih snimanja i ispitivanja. Praksa je potvrdila da bez kvalitetnih geodetskih, hidroloških, pedoloških i ostalih potrebnih terenskih snimanja i ispitivanja nema niti kvalitetnih projektno-izvedbenih rješenja i funkcioniranja sustava podzemnog odvodnjavanja. Također je važno pravilno korištenje te odgovarajuća opažanja i kontinuirana praćenja stupnja i efekata funkcioniranja sustava podzemnog odvodnjavanja.

U vezi s ukupno dreniranim površinama važan je i podatak da je s filtrom od granuliranog šljunka izvedeno 35 %, a od granulata stiropora 3 %, što je ukupno 38 %, odnosno 37.670 ha sustava podzemnog odvodnjavanja u SR Hrvatskoj. Također je važan podatak da je do kraja 1985. u SFR Jugoslaviji izvedena drenaža na 183.000 ha, a od toga u SR Hrvatskoj na 99.140 ha, odnosno 54,2 % od sveukupno izgrađenih sustava podzemnog odvodnjavanja.

2.2. Osnovni projektno-izvedbeni elementi sustava podzemnog odvodnjavanja

Pored lokacije i veličine dreniranih poljoprivrednih površina, bitni su i podaci o projektno-izvedbenim elementima sustava podzemnog odvodnjavanja. U drugim radovima priručnika za hidrotehničke melioracije dati su podaci u utjecajnim činiocima i dimenzioniranju cijevne drenaže, pa se to neće ponavljati. Međutim, važno je sagledati osnovne pokazatelje o izvedenim sustavima podzemnog odvodnjavanja.

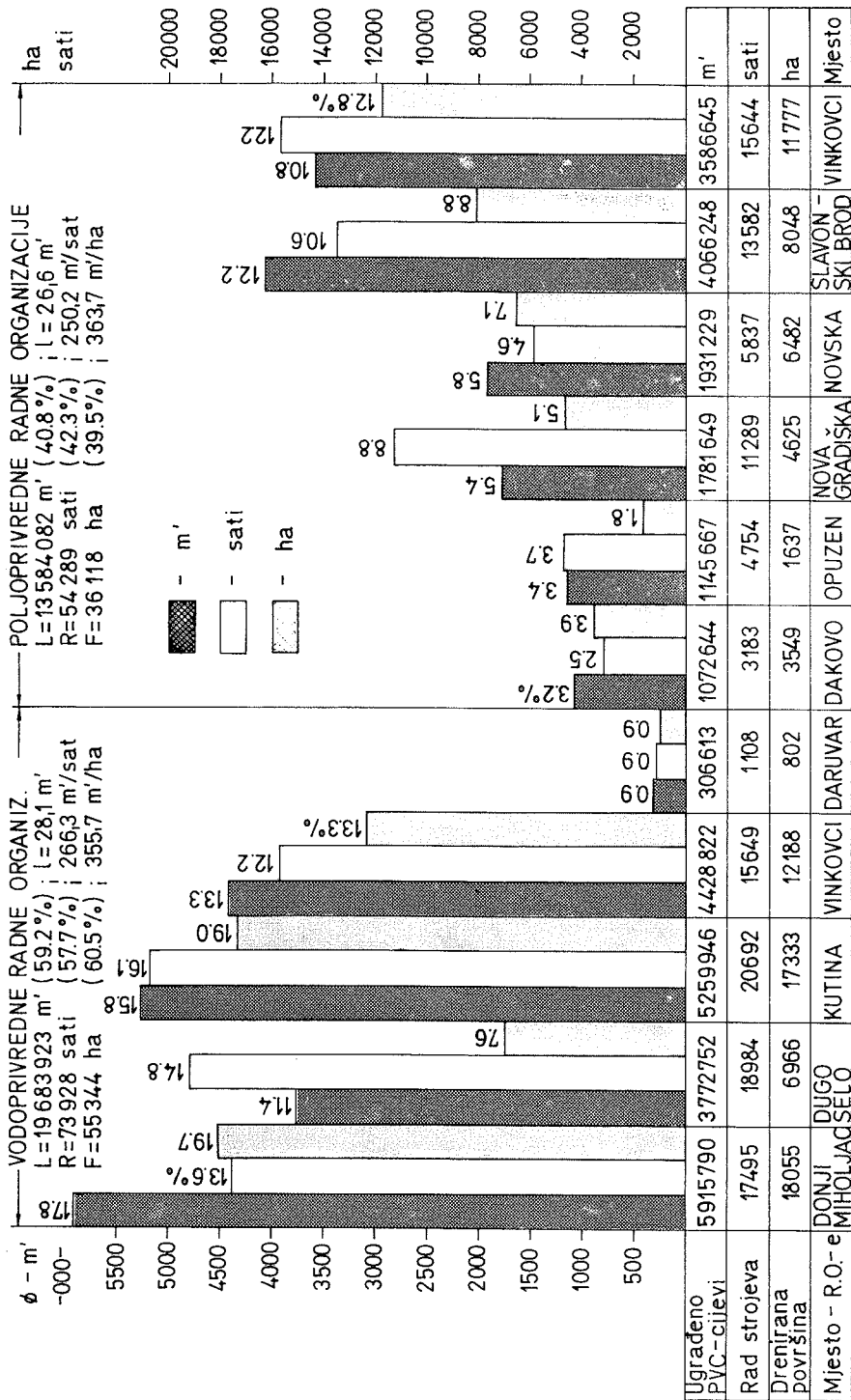
SOUR »Vodoprivreda Hrvatske« od 1980. god. vrši sistematsko i kontinuirano praćenje te analizu rada strojeva na izvedbi cijevne drenaže. U sklopu toga treba imati u vidu da strojevi poljoprivrednih radnih organizacija prvenstveno izvode radove na dreniranju vlastitih poljoprivrednih površina. Strojevi vodoprivrednih radnih organizacija, u prvom redu, izvode radove cijevne drenaže na melioracijskim područjima djelovanja i rada same organizacije. Međutim, značajna je i njihova izvedba sustava podzemnog odvodnjavanja i na ostalim lokacijama poljoprivrednih zemljišta. Prema raspoloživim podacima 30 % raspoloživih kapaciteta strojeva vodoprivrednih radnih organizacija izvodilo je radove cijevne drenaže izvan područja osnovnog djelovanja vodoprivrednih radnih organizacija.

U sklopu toga bitan je i podatak da je u SR Hrvatskoj u 1985. god. bilo 26 od ukupno 54 stroja za izvedbu radova cijevne drenaže u SFR Jugoslaviji.

Od ukupno dreniranih površina poljoprivrednih zemljišta u SR Hrvatskoj učešće rada strojeva je slijedeće:

— vodoprivredne radne organizacije	54.514 ha — 53,0 %
— poljoprivredne radne organizacije	35.243 ha — 35,5 %
— vodoprivredne radne organizacije iz SR Slovenije	11.383 ha — 11,5 %
Ukupno drenirano poljoprivredno zemljište	99.140 ha — 100 %

U sklopu tih podataka treba imati u vidu da su strojevi vodoprivrednih radnih organizacija SR Hrvatske u ostalim republikama drenirali 2.830 ha, a poljoprivrednih radnih organizacija 875 ha, odnosno ukupno 3.705 ha.



Sl. 1. Izvršenje rada drenopolagača po radnim organizacijama u SR Hrvatskoj od 1973—1985. god. (L = 33,268.005 m' PVC cijevi; R = 128.217 sati; 259,5 m'/sat; F = 91.462 ha; 363,7 m'/ha; l = 27,5 m)

Na slici 1. dati su osnovni podaci o izvršenju rada strojeva po vodo-privrednim i poljoprivrednim radnim organizacijama, a u sklopu toga moguće je sagledati i osnovne projektno-izvedbene elemente cijevne drenaže.

Na temelju raspoloživih podataka osnovni pokazatelji su slijedeći:

— ukupno drenirane površine poljoprivrednog zemljišta do kraja 1985. god.	99.140 ha — 100 %
— ugrađeno PVC drenskih cijevi	36,919.710 m' — 100 %
a od toga:	
— promjera 50 — 65 — 80 mm'	35,258.323 m' — 95,5 %
— promjera od 100 do 220 mm'	1,661.387 m' — 4,5 %
— prosječan razmak drenskih cijevi	26,9 m'

Međutim, kada se analizira rad po pojedinim vodoprivrednim i poljoprivrednim organizacijama vidljiva su veća odstupanja osnovnih projektno-izvedbenih elemenata cijevne drenaže, a osnovni pokazatelji prezentirani su u tabeli 1.

Tabela 1.

**OSNOVNI PODACI O RADU DRENOPOLAGAČA VODOPRIVREDNIH
I POLJOPRIVREDNIH ORGANIZACIJA SR HRVATSKE
OD 1977. DO 1985. GOD.**

Mjesto	Broj str. 1985.	Ugrađeno PIC-cijevi m'	Efekt. rad sati	Pros. izvr. m'/sat	Dren. povr. ha	Gust. cijevi m'/ha	Razmak cijevi m'
OOOR — RO VODOPRIVREDE							
Donji Miholjac	4	5,915.790	17.495	338,1	18.055	327,7	30,5
Dugo Selo	4	3,772.752	18.984	198,7	6.966	541,6	18,5
Kutina	5	5,259.946	20.692	254,2	17.333	303,5	33,0
Vinkovci	4	4,428.822	15.649	283,0	12.188	363,4	27,5
Daruvar	1	306.613	1.108	276,7	802	382,3	26,2
Ukupno VRO	18	19,683.923	73.928	266,3	55.344	355,7	28,1
OOOR — RO POLJOPRIVREDE							
Đakovo	1	1,072.644	3.183	337,0	3.349	302,2	33,1
Opuzne	1	1,145.667	4.754	241,0	1.637	669,9	14,3
Nova Gradiška	2	1,781.649	11.289	157,8	4.625	385,2	26,0
Novska	1	1,932.229	5.837	330,9	6.482	297,9	33,6
Sl. Brod	2	4,066.248	13.582	299,4	8.048	505,2	19,8
Vinkovci	1	3,586.645	15.644	229,3	11.777	304,6	32,8
Ukupno PRO	8	13,584.082	54.289	250,2	36.118	376,1	26,6
Sveukupno VRO i PRO	26	33,268.005	128.217	259,5	91.462	363,7	27,5

U sklopu tih podataka su i drenirane površine u ostalim republikama (VRO — 2830 ha i PRO — 875 ha, odnosno ukupno 3705 ha). Iz podataka tabele 1. vidljivo je da je prosječan razmak ugrađenih PVC drenskih cijevi od 14,3 do 33,0 m'.

Zbog sličnih projektnih elemenata cijevne drenaže podaci su dati sumarno. Strojevi iz vodoprivrednih organizacija SR Slovenije drenirali su u SR Hrvatskoj 11.383 ha s ugrađenih 5,179.265 m' drenskih cijevi na prosječnom razmaku 22,0 m' — jer su veći dio radova izvodili u sklopu provedbe melioracija Črnc-polja.

Pored razmaka i profila drenskih cijevi bitni su i podaci o prosječnoj dubini ugradnje cijevi od 0,80 do 1,10 m. Manji dio cijevi ugrađen je na dubinu od 1,10—1,30 m.

Također je važan podatak da je od ukupno dreniranog poljoprivrednog zemljišta:

— s filtrom od granuliranog šljunka ugrađeno cijevi u dužini od	12,921.900 m' — 35 %
— a s filtrom od granulata stiropora	1,107.600 m' — 3,0 %

što je ukupno 14,029.500 m' dreniranih cijevi, odnosno ukupno 37.670 ha dreniranih površina.

U sklopu projektno-izvedbenih elemenata cijevne drenaže važan je i podatak da se kod nas još uvijek prvenstveno izvodi cijevna drenaža s upustom sisala u otvorene melioracijske kanale. Od ukupno dreniranih površina samo je 4 % izvedeno s kombinacijom drenskih cijevi »sisala—hvatala—kolektori«, a čak 96 % s upustom sisala u otvorene melioracijske kanale.

Međutim, zbog potrebe i prednosti cijevne drenaže s kolektorima, u narednom periodu planira se izvedba drenaže na dijelu površina gdje će melioracijski kanali IV reda biti »zamijenjeni« kolektorima drenaže. Jasno, da su takva rješenja opravdana na zemljištima, gdje se prethodno izvrše potrebna terenska snimanja i ispitivanja na osnovi kojih će biti predložena optimalna tehničko-financijska rješenja sa sistemom drenskih cijevi »sisala—hvatala—kolektori—otvoreni kanali.

3. ZNAČENJE SUSTAVA PODZEMNOG ODVODNJAVANJA ZA PROIZVODNJU POLJOPRIVREDNIH KULTURA

U sklopu zadatka i cilja sustava podzemnog odvodnjavanja dati su i osnovni podaci u vezi stvaranja i održavanja optimalnog vodozračnog režima prema zahtjevima suvremene i stabilne proizvodnje poljoprivrednih kultura.

Prema raspoloživim podacima najbolji rezultati i visoki prirodni ostvareni su na površinama gdje je izvršena provedba (re)komasacija zemljišta s dogradnjom postojećih ili izgradnjom novih sustava površinskog odvodnjavanja te izgradnjom novih sustava podzemnog odvodnjavanja. To je dokumentirano u praćenju priroda odgovarajućih poljoprivrednih kultura.

Prema raspoloživim podacima evidentno je povećanje priroda pojedinih kultura od 23 % do 58 % u odnosu na prirodne koji su ostvareni na melioracijskim površinama prije izgradnje sustava podzemnog odvodnjavanja.

Oscilacije povećanja priroda pojedinih poljoprivrednih kultura ovise, kako o projektno-izvedbenim elementima cijevne drenaže, tako i o primjeni i provedbi odgovarajućih agrotehničkih mjera i radova te fizikalno-kemijskim svojstvima tla.

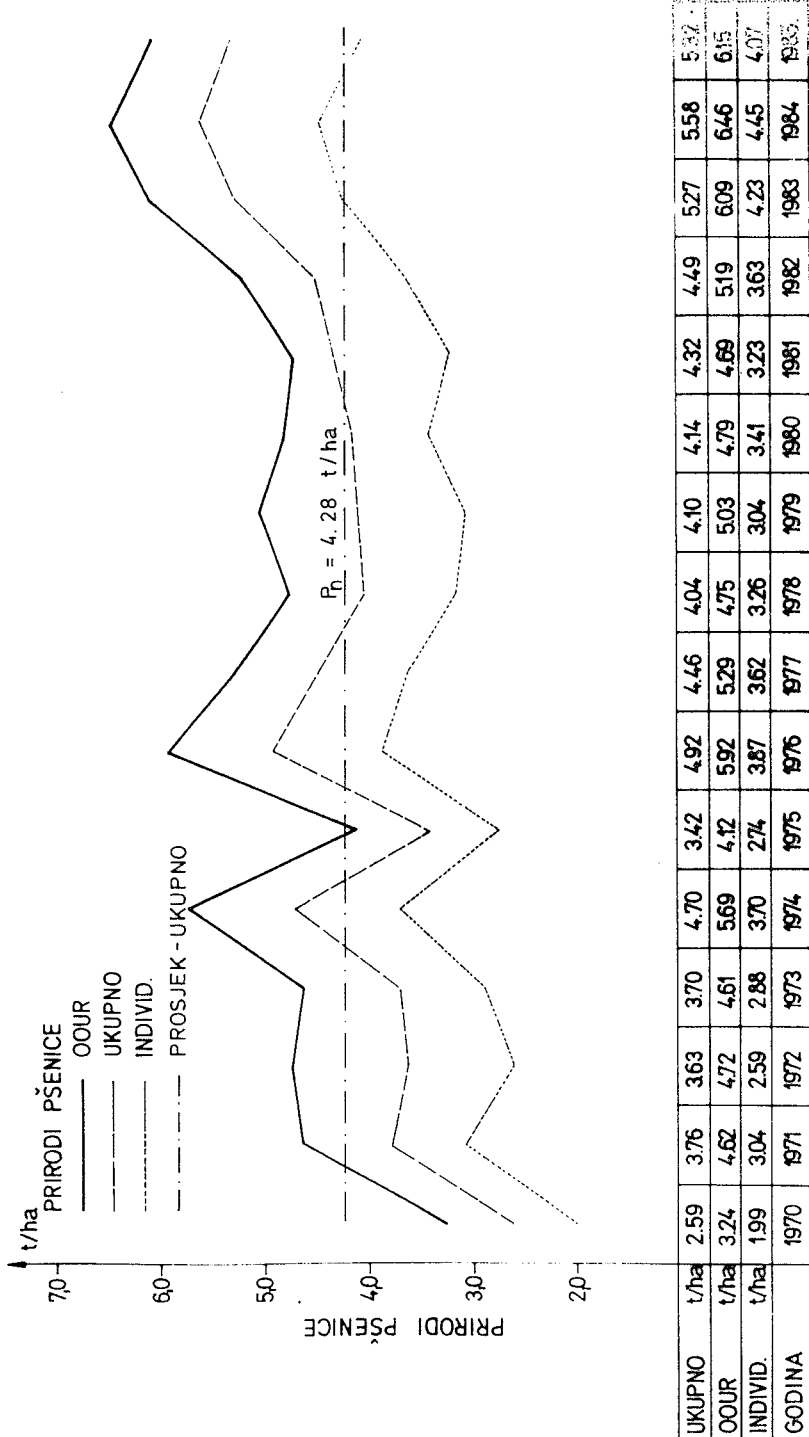
Prema raspoloživim podacima evidentno je povećanje priroda pojedinih kultura od 23 % do 58 % u odnosu na prirode koji su ostvareni na melioracijskim površinama prije izgradnje sustava podzemnog odvodnjavanja. Oscilacije povećanja priroda pojedinih poljoprivrednih kultura ovise, kako o projektno-izvedbenim elementima cijevne drenaže, tako i o primjeni i provedbi odgovarajućih agrotehničkih mjera i radova te fizikalno-kemijskim svojstvima tla.

Navedeni podaci odnose se, u prvom redu, na povećanje priroda pšenice i kukuruza te šećerne repe. U sklopu toga važno je sagledati i odnos vrijednosti naknada za odvodnjavanje i povećanog priroda poljoprivrednih kultura. Naime, redovna naknada za odvodnjavanje plaća se u ekvivalentnoj vrijednosti 1,0—1,5 dt pšenice po hektaru melioriranih poljoprivrednih površina. Nakon izgradnje sustava podzemnog odvodnjavanja prosječno povećanje priroda pšenice je od 9,0 do 23,0 dt pšenice po hektaru. To potvrđuje opravdanost i potrebu izgradnje sustava podzemnog odvodnjavanja.

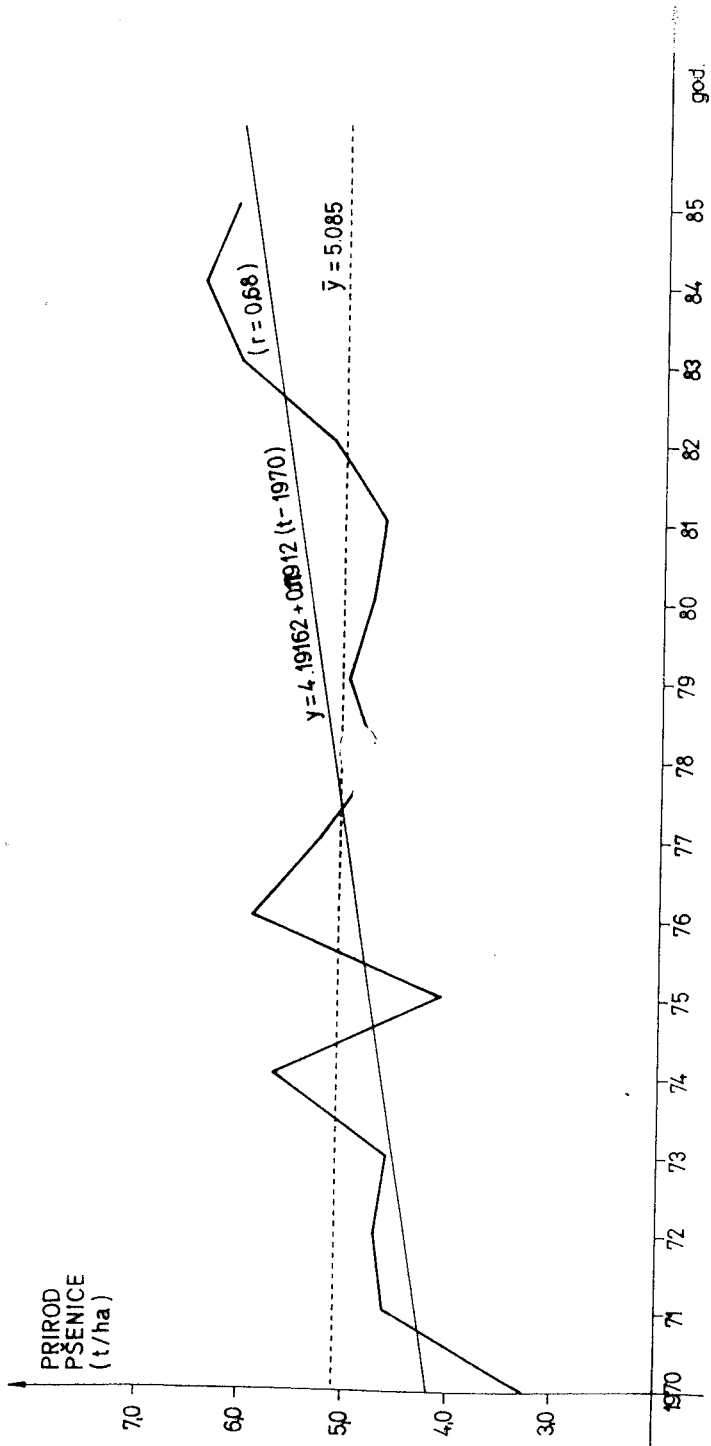
Odgovarajući pokazatelji vidljivi su i na slici 3. i 5, gdje su dati prosječni prirodi pšenice kao i trend priroda pšenice na površinama društvenog posjeda Slavonije i Baranje od 1970. do 1985. god. Pri tome treba imati u vidu da se podaci priroda pšenice odnose na sve površine društvenog posjeda i sa sustavom podzemnog odvodnjavanja i bez njega. Također je bitno imati u vidu da je najveći dio sustava podzemnog odvodnjavanja izgrađen od 1978. do 1985. god. Iz raspoloživih podataka evidentno je povećanje priroda ratarskih kultura od 23 do 58 % nakon izgradnje sustava podzemnog odvodnjavanja na površinama društvenog posjeda. Slični pokazatelji pšenici vidljivi su i u porastu priroda kukuruza na dreniranim površinama što je vidljivo na sl. 4. i 6.

Pored utjecaja na povećanje priroda poljoprivrednih kultura, posebno značenje sustava podzemnog odvodnjavanja je u stvaranju uvjeta za pravovremenu pripremu zemljišta za sjetvu te racionalno korištenje strojeva u svim fazama uzgoja poljoprivrednih kultura. U sklopu toga posebno značenje je u manjoj potrošnji tekućeg goriva i maziva te smanjenja kvarova, a na taj način i manja potreba odgovarajućih repromaterijala u procesu rada i održavanja pojedinih poljoprivrednih strojeva.

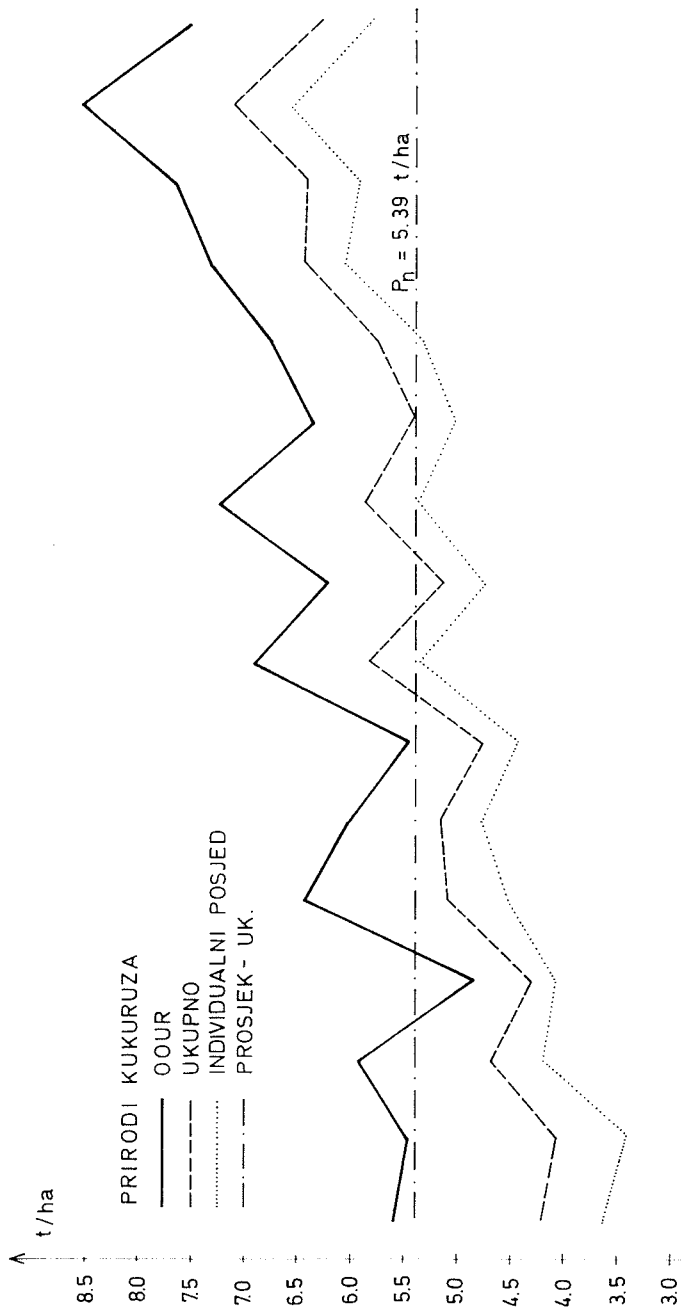
Posebno značenje cijevne drenaže je i u stvaranju uvjeta za lakše kretanje poljoprivrednih strojeva i vozila, što je bitno i za strukturu zemljišta — ne dolazi do »gaženja« zemljišta i zbijanja oraničnog i podoraničnog sloja. To se vidi u procesu pripreme zemljišta, ali i u provedbi žetve. U Slavoniji i Baranji najviše oborina padne u lipnju i srpnju — što stvara velike probleme i u provedbi žetve ječma i pšenice. Međutim, na dreniranim površinama i u »kišnim mjesecima« moguće je pravovremeno izvršavanje odgovarajućih poljoprivrednih radova. Pri tome je bitno imati u vidu da efikasnost i kvaliteta funkcioniranja cijevne drenaže ovisi, u prvom redu, i o stupnju i kvaliteti održavanja te funkcioniranju sustava površinskog odvodnjavanja.



Sl. 2. Ukupno zasijane površine po zajednicama općina SR Hrvatske u 1985. god.

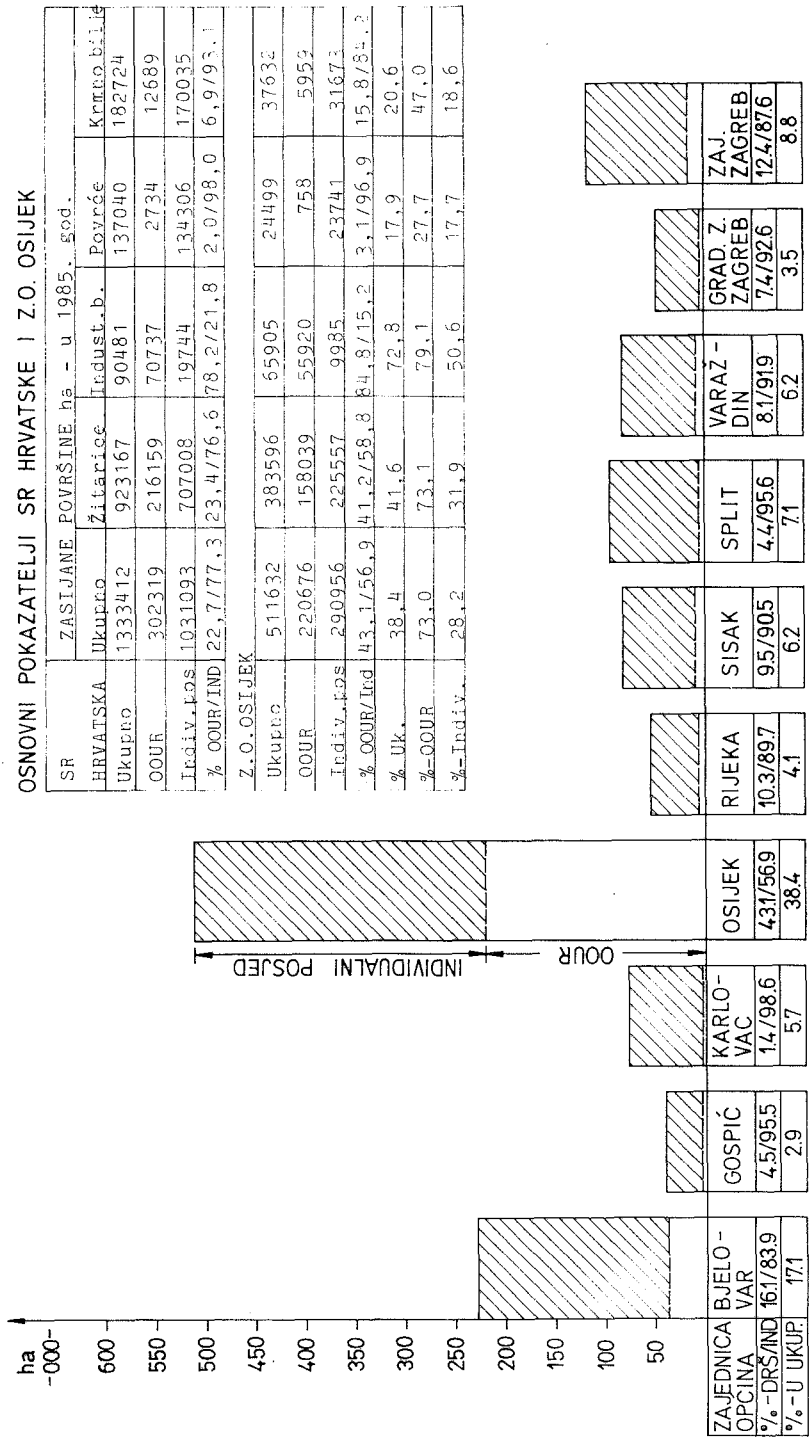


Sl. 3. Prosječan prirod. pšenice u Slavoniji i Baranji od 1970—1985. god.



UKUPNO t/ha	4.21	4.06	4.67	4.30	5.06	5.14	4.76	5.80	5.14	5.87	5.42	5.72	6.40	6.40	7.08	6.26
OOOR t/ha	5.59	5.45	5.89	4.81	6.42	6.01	5.46	6.91	6.23	7.19	6.38	6.71	7.29	7.63	8.53	7.49
INDIVID. t/ha	3.63	3.41	4.17	4.07	4.49	4.70	4.45	5.34	4.74	5.35	5.02	5.29	6.04	5.91	6.54	5.89
GODINA	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985

Sl. 4. Prosječni prirodni kukuruza u Slavoniji i Baranji od 1970. do 1985. godine



Sl. 5. Analiza trenda proizvodnje pšenice OOUR-a u Slavoniji i Baranji od 1970. do 1985. god.

4. DALJNJE POTREBE I MOGUĆNOSTI IZVEDBE SUSTAVA PODZEMNOG ODVODNJAVANJA U SR HRVATSKOJ

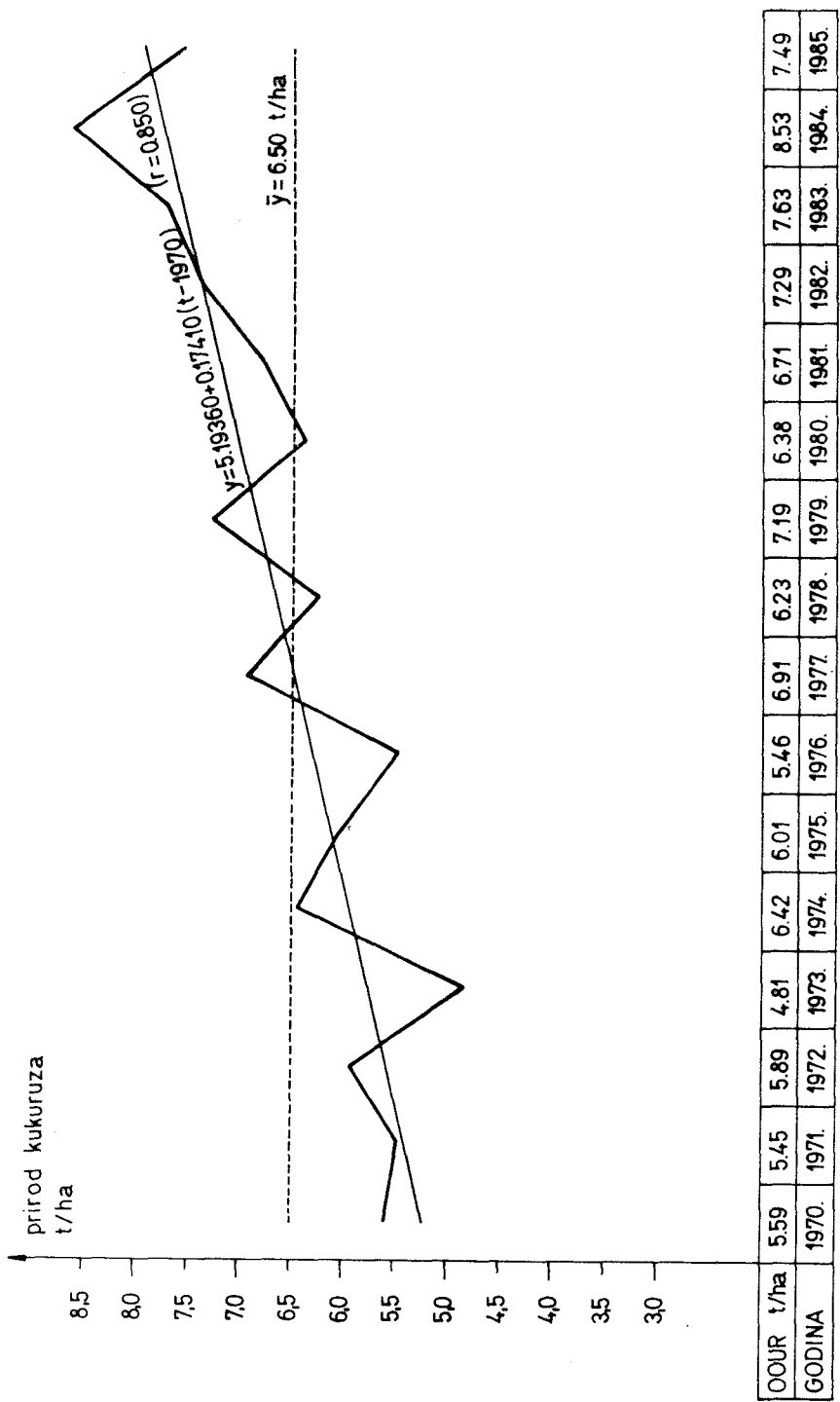
Do kraja 1985. god. u SFR Jugoslaviji izgrađeni su sustavi podzemnog odvodnjavanja na 183.000 ha poljoprivrednog zemljišta, a od toga na 99.140 ha u SR Hrvatskoj. Međutim, iako je u SR Hrvatskoj najviše dreniranih površina i najviše strojeva za izvedbu cijevne drenaže, i nadalje je prisutna potreba izgradnje sustava podzemnog odvodnjavanja.

Prema raspoloživim terenskim obilježjima za 1,160.000 ha melioracijskih područja potrebna je izgradnja sustava podzemnog odvodnjavanja na 822.350 ha, od čega je do kraja 1985. drenirano 99.140 ha. Znači da u narednim razdobljima ostaje potreba izgradnje sustava podzemnog odvodnjavanja na 723.210 ha. Pri tome treba imati u vidu da su ukupne melioracijske površine 1,845.510 ha, a zasijane površine u 1985. god. bile su 1,333.412 ha. Posebno su potrebna odgovarajuća terenska ispitivanja i mjerenja za preostalih 685.510 ha melioracijskih površina, odnosno poljoprivrednih zemljišta. Također je potrebno imati u vidu da je u društvenom posjedu bilo zasijano 302.319 ha, odnosno 22,7 %, a u individualnom 1,031.093 ha ili 77,3 % — od sveukupno zasijanih 1,333.412 ha poljoprivrednih površina SR Hrvatske. Pokazatelji o zasijanim površinama po zajednicama općina vidljivi su na slici 2.

Međutim, od posebne važnosti je da je od 302.319 ha zasijanih površina u društvenom posjedu do kraja 1985. god. bilo 99.090 ha dreniranih površina, odnosno 32,8 %. Prema raspoloživim hidropedološkim i ostalim terenskim obilježjima potrebno je izvršiti dreniranje još 165.800 ha, tj. 54,6 % od zasijanih površina društvenog posjeda u 1985. god. Nije potrebna izvedba cijevne drenaže na 37.469 ha. Pored dreniranja navedenih površina, posebno je potrebna izvedba sustava podzemnog odvodnjavanja na 55.350 ha zemljišta društvenog posjeda, koje do sada nisu bile zasijane.

Od ukupno zasijanih površina individualnog posjeda potrebna je izgradnja sustava podzemnog odvodnjavanja na 502.060 ha poljoprivrednih zemljišta. Znači da je prema raspoloživim pokazateljima terenskih obilježja i zahtjevima suvremene poljoprivredne proizvodnje potrebna izgradnja sustava podzemnog odvodnjavanja na još 723.210 ha, odnosno na 54,2 % zasijanih površina u 1985. godini.

Raspoloživim kapacitetima postojećih strojeva u SR Hrvatskoj godišnje je moguće drenirati od 18.700 do 25.700 ha. Prosječno godišnje izvršenje računato je od 260.000 do 340.000 m' ugrađenih drenskih PVC cijevi po pojedinom stroju, ili od 720 do 990 ha. Prosječan razmak cijevi računat je sa 27,5 m, a od ukupno ugrađenih drenskih cijevi promjera 50—65—80 mm računate su 95 %, dok su promjera od 100 do 220 mm računate sa 5 %. I nadalje je moguće izvršiti 10—15 % radova strojevima iz ostalih republika. To znači da se kapacitetima rada 30 strojeva može godišnje izgraditi novih sustava podzemnog odvodnjavanja na površini od 21.500 do 29.500 ha poljoprivrednih zemljišta. Pri tome treba imati u vidu i starost strojeva te potrebu nabave novih da bi se zadržali prosječno isti godišnji kapaciteti za izgradnju novih sustava podzemnog odvodnjavanja. Znači da je po navedenim kapacitetima moguće izvršiti dreniranje preostalih 165.800 ha površina, od zasijanog društvenog posjeda u 1985. god., u razdoblju od 6 do 8 godina te 2—3 godine za površine društvenog posjeda koje nisu bile zasijane u 1985. god. (55.350 ha).



Sl. 6. Analiza trenda prirodna kukuruza na poljoprivrednim površinama društvenoga posjeda Slavonije i Baranje od 1970. do 1985. godine

Pored navedenih kapaciteta strojeva, bitno je i osiguranje potrebnih financijskih sredstava za izvedbu novih sustava podzemnih odvodnjavanja. Sredstva za realizaciju navedenih programa trebala bi biti u visini sredstava u razdoblju 1981—1985. god. Jasno, da se pri tome računa i na porast cijena radova cijevne drenaže u visini porasta cijena poljoprivrednih kultura.

To su prosječni pokazatelji za dreniranje od 21.500 do 29.500 ha zemljišta društvenog posjeda — svake godine. Pri tome treba imati u vidu i realnost daljnjeg povećanja zasijanih površina društvenog posjeda kao i potrebu dreniranja njihova većeg dijela.

Međutim, i nadalje ostaje problem realizacije izgradnje sustava podzemnog odvodnjavanja na melioracijskim površinama individualnog posjeda. Naime, do sada su zanemarive površine dreniranog zemljišta individualnog posjeda, a te površine su u 1985. god. bile na 1,031.093 ha, odnosno na 77,3 % od ukupno zasijanih površina. Zna se da je potrebno dreniranje i 502.060 ha poljoprivrednih zemljišta individualnog posjeda. Za realizaciju tog programa, a prema sadašnjim kapacitetima strojeva, potrebno je razdoblje od 17 do 23 godine.

Slijedi da je za izgradnju novih sustava podzemnog odvodnjavanja na preostalim 723.210 ha potreban period od 25 do 34 godine — računajući raspoložive kapacitete rada strojeva u 1985. god. (25 do 30 drenopolagača) i prosječan razmak drenskih cijevi na 27,5 m, te ugradnju 95 % cijevi promjera 50—65—80 mm i 5 % promjera od 100 do 220 mm.

Za sagledavanje odnosa vrijednosti izgradnje cijevne drenaže i ekvivalentne vrijednosti priroda pešnice u 1985. god. bitni su slijedeći polazni pokazatelji za razmak drenskih cijevi od 27,5 m:

Cijevi mm	Vrijednost izgradnje drenaže — din/ha			Ekvivalentna vrijednost pšenice dt/ha
	bez filtra	gran. šljunak	ukupno	
50	65.265	87.360	152.625	16,32—38,16
65	74.875	87.360	162.235	18,72—40,56
80	89.289	87.360	176.649	22,32—44,16

Vrijednost ugradnje samo filtra od granuliranog šljunka je 87.360 din/ha, odnosno 21,84 dt pšenice po hektaru.

Ukupna vrijednost izvedbe drenaže prosječnog razmaka cijevi 27,5 m, s filtrom od granuliranog šljunka i promjera cijevi 65 mm je 162.235 din/ha, odnosno ekvivalentne vrijednosti pšenice 40,56 dt/ha.

Gledajući komparativne pokazatelje bitno je imati u vidu polazne vrijednosti u 1985. god., i to za:

- cijevi \varnothing 50 mm 55 din/m', \varnothing 65 mm 79 din/m', i \varnothing 80 mm 115 din/m'
- nabavu, dopremu i ugradnju filtra od granuliranog šljunka 2.400 din/m³, odnosno 240 din/m' drenaže
- ugradnju drenskih PVC cijevi — rad stroja 108 dm/m'

- ugradnju fazonskih komada i cijevi promjera od 100 do 220 mm —
10 % od vrijednosti nabave i ugradnje drenskih cijevi promjera
50—65—80 mm
- prosječnu otkupnu vrijednost pšenice 4.000 din/dt.

Također je bitno da je rad strojeva računat s iskopom drenskog rova dubine od 0,70 do 1,30 m i širine 0,18 m, a količina filtra od granuliranog šljunka 0,10 m³/m', odnosno 36,4 m³/ha dreniranog zemljišta.

Posebno značenje je u sagledavanju vrijednosti izvedbe drenaže bez filtra, što odgovara ekvivalentnoj vrijednosti pšenice od 16,32 do 22,32 dt/ha, a s filtrom od granuliranog šljunka je od 38,16 do 44,16 dt/ha. Također je bitan podatak da je od ukupno izgrađenih sustava podzemnog odvodnjavanja do kraja 1985. god. s filtrom od granuliranog šljunka izvedena drenaža na 35 % površina i da se to učešće planira i u narednim razdobljima.

Uspoređujući vrijednosti izgradnje sustava podzemnog odvodnjavanja i ekvivalentne vrijednosti pšenice bitno je ponoviti podatak da je evidentno prosječno povećanje priroda pšenice od 9,0 do 23,0 dt/ha — nakon izvedbe cijevne drenaže. U sklopu toga bitan je i podatak da je vrijednost izgradnje drenaže promjera cijevi 65 mm i prosječnog razmaka 27,5 m u 1985. god. iznosila 74.875 din/ha odnosno u ekvivalentnoj vrijednosti pšenice od 18,7 t/ha, a to je u praksi potvrđeno kao realnost nakon izgradnje sustava podzemnog odvodnjavanja.

Jasno, da pri tome treba posebno analizirati i ostale troškove hidromelioracija i agromelioracije u procesu uređenja zemljišta i uzgoja poljoprivrednih kultura. Međutim, iz navedenih pokazatelja bitno je u procesu planiranja zadržati i polazne odnose vrijednosti izgradnje sustava podzemnog odvodnjavanja i poljoprivrednih kultura, odnosno vrijednosti hidromelioracija i agromelioracije te strukture odgovarajućih troškova.

Na osnovi raspoloživih podataka o izgrađenim sustavima podzemnog odvodnjavanja, povećanja priroda poljoprivrednih kultura te odnosa vrijednosti izvedbe drenaže i povećanja vrijednosti poljoprivrednih kultura evidentna je daljnja potreba i realnost mogućnosti izgradnje sustava podzemnog odvodnjavanja.

Ispravna procjena porasta žetvenih priroda na melioracijskim površinama od velike je važnosti za hidrotehničko projektiranje i ekonomsko opravdanje izgradnje hidromelioracijskih sustava. Ekonomske karakteristike tih sustava usko su povezane s tehničkim, društvenim i pravnim aspektima, pa u sklopu interakcije terenskih obilježja i zahtjeva suvremene poljoprivredne proizvodnje treba nalaziti optimalna rješenja hidromelioracijskih sustava. Već u fazi sistematizacije i analize raspoloživih podataka potrebno je imati u vidu da je osnovni zadatak nalaženja metoda za racionalna rješenja hidromelioracijskih sustava, u a sklopu realizacije programa rentabilne proizvodnje poljoprivrednih kultura.

U sistemskom i jedinstvenom rješavanju hidromelioracijskih sustava bitno je imati u vidu cilj koji treba ostvariti kroz maksimiranje dohotka, na melioracijskom i širem društvenom području.

Planiranje i projektiranje te potrebu i realnost izgradnje hidromelioracijskih i agromelioracijskih sustava treba provoditi kao sastavni dio cjelo-

kupnog ekonomskog planiranja i zbog toga trebaju biti temeljito povezani s planovima razvoja svih privrednih i društvenih subjekata u procesu našeg daljnjeg privrednog i društvenog razvoja. Proces planiranja treba da sadrži i ocjenu alternativnih mogućnosti, uključujući mjere i radove koji se moraju izvesti po odgovarajućoj vremenskoj i financijskoj dinamici. Ekonomsko-financijska opravdanost realizacije projektnog rješenja ovisi o nizu tehničko-tehnoloških elemenata, ali pri tome treba voditi računa da li će i koliko koristi biti veće od ukupnih troškova izgradnje, održavanja i korištenja hidromelioracijskih sustava.

U izvršavanju navedenih poslova potrebna je stalna suradnja planera, projektanata, izvođača radova, investitora i korisnika hidromelioracijskih sustava. Osnovni cilj koji treba ostvariti realizacijom predloženih rješenja jest u maksimiranju dohotka, na melioracijskom području i na području šire društvene zajednice.

Za izgradnju sustava podzemnog odvodnjavanja od posebne je važnosti pravovremena i kvalitetna provedba odgovarajućih terenskih snimanja i ispitivanja poljoprivrednih zemljišta. O pouzdanosti toga ovise i projektno-izvedbena rješenja čija realnost i stupanj kvalitete utječu na troškove proizvodnje poljoprivrednih kultura. U sklopu iznalaženja optimalnih tehničko-financijskih rješenja potrebno je koristiti i dosadašnja iskustva u izgradnji sustava podzemnog odvodnjaavanja i njihovu utjecaju na poljoprivrednu proizvodnju.

LITERATURA:

1. *Vlaketić K.*, Utjecaj drenaže na nekim hidromorfnim tlima u Slavoniji na njihov vodni režim i prirod gajenih kultura, disertacija, Novi Sad, 1983.
2. *Marušić J.*, Analiza rada drenopolagača vodoprivrednih i poljoprivrednih organizacija u SR Hrvatskoj; SOUR »Vodoprivreda Hrvatske« Zagreb, 1980—1985.
3. Republički zavod za statistiku Zagreb, Zasijsane površine i prirodni poljoprivrednih kultura, Zagreb, 1985.
4. *Marušić J.*, Obim i utjecaj drenaže poljoprivrednih zemljišta u SR Hrvatskoj, Glasnik poljoprivrede, Privredni pregled, Beograd, 1986.
5. *Marušić J.*, Optimalizacija hidromelioracijskih sustava i njihov utjecaj na ekonomičnost proizvodnje hrane, disertacija, Zagreb, 1986.

UTJECAJ PROJEKTNIH ELEMENATA NA TROŠKOVE IZVEDBE HIDROMELIORACIJSKIH SUSTAVA PODZEMNOG ODVODNJAVANJA

Dr JOSIP MARUŠIĆ, dipl. ing. građ.

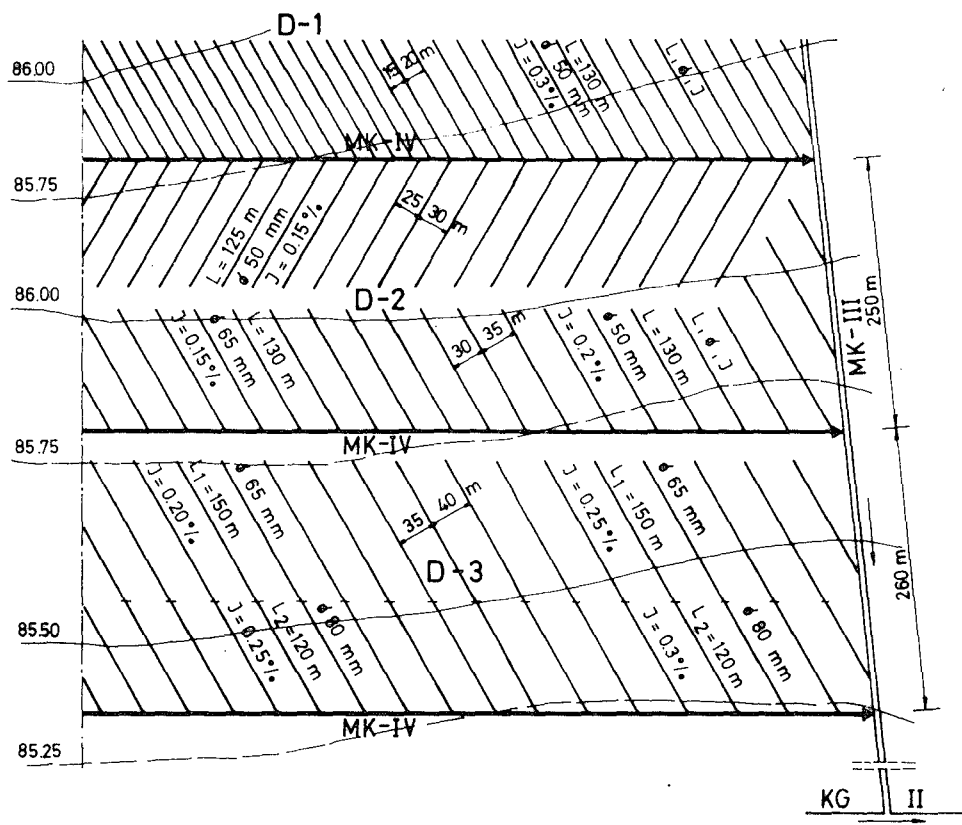
NEVEN KUSPILIĆ, dipl. ing. građ.

1. OSNOVNI PROJEKTNI ELEMENTI SUSTAVA PODZEMNOG ODVODNJAVANJA

U procesu definiranja projektnih elemenata bitno je pravovremeno i točno vrednovanje njihovih utjecaja na troškove izvedbe sustava podzemnog odvodnjavanja. I pored znatnog povećanja priroda poljoprivrednih kultura nakon izvedbe sustava podzemnog odvodnjavanja, u praksi se još uvijek ne provode u potpunosti potrebna terenska ispitivanja koja su neophodna za iznalaženje njihovih optimalnih projektno-izvedbenih rješenja. Naime, i pored korištenja inozemnih normativa u procesu projektiranja, potrebno je imati u vidu da bez kvalitetnih terenskih snimanja i ispitivanja kao i laboratorijskih te kontinuiranih praćenja i analiza podataka pokusnih polja, nema niti potvrde opravdanosti primjene normi, propisa, formula, nomograma — bez obzira na njihovo porijeklo i autore. Osnovno je imati u vidu visoke troškove izvedbe cijevne drenaže koji trebaju biti opravdani odgovarajućim porastom prinosa i prihoda poljoprivrednih kultura te racionalnim korištenjem poljoprivredne mehanizacije.

U procesu iznalaženja optimalnih projektno-izvedbenih rješenja sustava podzemnih odvodnjavanja bitno je pravovremeno vrednovanje njihovih osnovnih projektnih elemenata, kao što su:

- razmak drenskih cijevi (m'),
- profil drenskih cijevi (mm),
- vrsta i tehnologija ugradnje drenskih cijevi (PVC, glina, iskop drenskog rova i ugradnja, utiskivanje cijevi),
- širina i dubina drenskog rova (m),
- vrsta i način ugradnje filtra (granulirani šljunak, plastika, stiropor, slama i dr.),
- raspored i dužina drenskih cijevi (sisala, hvatala, kolektori),
- vrsta i broj spojnih i ostalih fazonskih elemenata (spojnice, reduceri, T-komadi, kutnici, uljevi, čepovi, izljevni štitnik, završni poklopci i dr.),
- položaj drenskih cijevi u odnosu na konfiguraciju terena i smjer obrade zemljišta te primjenu agromelioracija,
- odnos mjerodavnih kota drenskih cijevi (pad i dubina) i mjerodavnih elemenata otvorenih melioracijskih kanala.

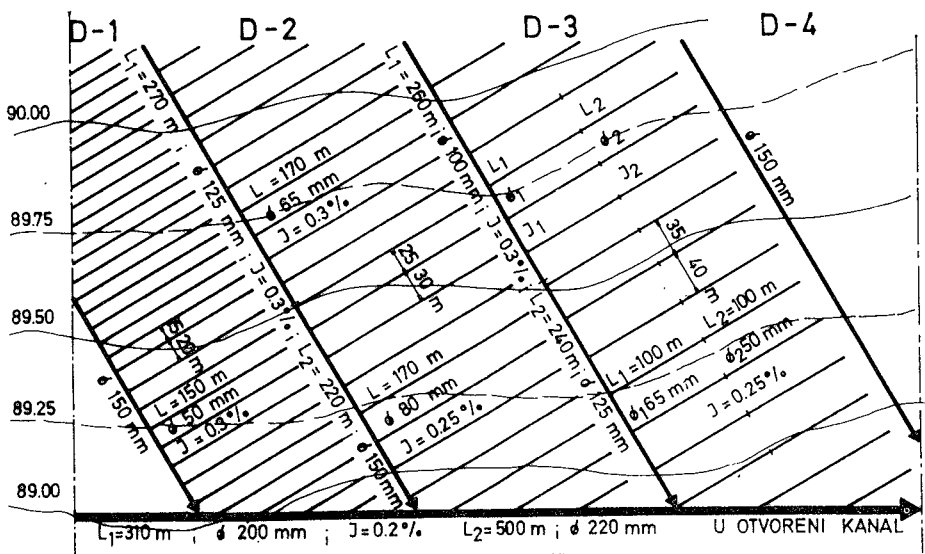


Sl. 1. Sustav kombinirane odvodnje s upustom drenskih cijevi u otvorene melioracijske kanale IV i III reda

Osnovni tlocrtni elementi sustava podzemnog odvodnjavanja kao i promjeri drenskih cijevi dati su na slikama 1. i 2, dok su ostali projektni elementi obrađeni u drugim radovima ove knjige, pa ih nije potrebno ponavljati niti opisno niti grafički.

Težište ove analize usmjereno je u vrednovanju i sagledavanju troškova izvedbe cijevne drenaže zbog utjecaja:

- razmaka drenskih cijevi od 10 do 50 m,
- profila drenskih cijevi od 50 do 200 mm,
- ugradnje filtra od ganuliranog šljunka (širina drenskog rova 0,14 — 0,18 — 0,23 m, visina filtra iznad cijevi 0-60 m, 0,09 — 0,11 — 0,14 m³/m'),
- ugradnje PVC drenskih cijevi s filtrom od plastice promjera od 50 do 200 mm.



Sl. 2. Sustav podzemne odvodnje s kombinacijom drenskih cijevi, sisala, sakupljača i kolektora, cijevi \varnothing od 50 do 250 mm

Pokazatelji troškova pojedinih projektno-izvedbenih rješenja dati su numerički i grafički — po mjerodavnim cijenama radova u drugom polugodištu 1986. godine, a i odnosi tih troškova prema ekvivalentnoj vrijednosti pšenice (dt/ha, din/ha).

2. OSNOVNI UTJECAJNI ČINIOCI NA PROJEKTNO-IZVEDBENE ELEMENTE SUSTAVA PODZEMNIH ODVODNJAVANJA

U procesu terenskih snimanja i laboratorijskih ispitivanja potrebno je pravovremeno sagledavanje njihova značenja i utjecaja na projektno-izvedbene elemente sustava podzemnog odvodnjavanja. U sklopu toga bitno je imati u vidu i pravovremeno vrednovati utjecaj slijedećih prirodnih i ostalih činilaca, kao što su:

- klimatska obilježja melioracijskih područja,
- hidropedološka i ostala svojstva tla,
- hidrologija i hidrografija slivnih površina,
- nivo izgrađenosti i funkcioniranja kanalske mreže površinske odvodnje i odgovarajućih hidrotehničkih objekata,
- vegetacija područja i zahtjevi poljoprivredne proizvodnje,
- geodetski podaci melioracijskih područja,
- lokacija i veličina površina na kojima se izvodi cijevna drenaža,
- projektno rješenje cijevne drenaže (razmak, profil, pad dna i dubina drenskih cijevi, s filtrom i bez njega),

- pripremljenost terena i trasa za rad drenopolagača,
- vremenska dinamika izvođenja radova s obzirom na vlažnost zemljišta i vegetaciju biljaka,
- imovinsko-pravni problemi zemljišta na kojem se izvode sustavi podzemnog odvodnjavanja,
- križanje drenova sa cjevovodima, saobraćajnicama i ostalim objektima na terenu,
- ugradnja filter materijala (granulirani šljunak, stiropor, šljaka, plastika, slama) usporava rad drenopolagača od 15 do 35 % u odnosu na ugradnju drenskih cijevi bez filtra,
- ugradnja drenskih cijevi promjera od 100 do 220 mm je sporija od 30 do 90 % u odnosu na ugradnju cijevi promjera 50 — 65 i 80 mm,
- ugradnja drenskih cijevi na dubinu od 130 cm do 170 cm također usporava rad drenopolagača za 30 do 120 %,
- širina drenskog rova je 0,14 — 0,18 — 0,23 — 0,28 m i također utječe na cijenu izgradnje i efekte odvodnje cijevne drenaže,
- broj fazonskih komada (spojnice, koljena, redukcija, T-komadi) i spoj cijevi sisala i hvatala, odnosno ispust sisala (izljevi) u otvorene kanale i u drenske kolektore također usporavaju izvedbu cijevne drenaže,
- nabava i dovoz drenskih cijevi s odgovarajućim fazonskim komadima,
- nabava potrebnih repromaterijala za redovan rad i popravak strojeva,
- osiguranje dinarskih i deviznih sredstava za redovan repromaterijal te za održavanje i popravak stroja kao i laser uređaja,
- servisna služba za potrebe drenopolagača i laser uređaja,
- nabava i dovoz energije, odnosno plinskog ulja te odgovarajućih maziva za redovan rad strojeva,
- izrada projektne dokumentacije drenaže na osnovi odgovarajućih i pouzdanih terenskih podataka — sa što manje izmjena za vrijeme izvođenja radova,
- uvjeti rada i življenja svih potrebnih radnika u procesu izvođenja cijevne drenaže — s primjenom odgovarajućih mjera za zaštitu na radu,
- proizvodne i radne karakteristike drenopolagača i ostalih radnika uključenih u procesu rada strojeva i kompletnog izvođenja cijevne drenaže,
- efikasna organizacija svih vrsta i faza radova u procesu izvođenja cijevne drenaže poljoprivrednih zemljišta — s kontinuiranom kontrolom izvođenja odgovarajućih radova.

Svaki od navedenih čimbenika utječe na rad strojeva, na cijenu koštanja i konačne efekte cijevne drenaže. S obzirom na ograničeno vrijeme izvođenja

drenaže, potrebno je u procesu rada pravovremeno rješavati prisutne probleme i svesti utjecaj navedenih činilaca na najmanju moguću mjeru, što pridonosi smanjenju ukupnih troškova izgradnje hidromelioracijskih sustava.

3. MJERODAVNE VRIJEDNOSTI MATERIJALA I RADA U PROCESU IZVEDBE SUSTAVA PODZEMNOG ODVODNJAVANJA (RUJAN 1986. GODINE)

U sklopu proračuna i analize troškova izvedbe sustava podzemnog odvodnjavanja bitno je imati u vidu učešće troškova nabave, transporta i ugradnje odgovarajućih materijala te rada strojeva i radnika. Posljednjih godina evidentan je sve veći i brži porast troškova odgovarajućih materijala i samih strojeva koji su neophodni za izvedbu radova u sklopu cijevne drenaže poljoprivrednih zemljišta.

U sagledavanju troškova izgradnje sustava podzemnog odvodnjavanja, pored odgovarajućih jediničnih cijena materijala i rada, bitno je imati u vidu i vrijednost ukupnih priroda poljoprivrednih kultura na dreniranim zemljištima. Tako su prosječni prinosi pšenice u 1986. godini bili od 5,3 do 6,8 tona pšenice po hektaru žetvenih površina. S prosječnom otkupnom cijenom pšenice 70.000 din/t proizlazi da su ostvareni prihodi iznosili od 371.000 do 476.000 din/ha. Jasno da u ostvarenim ukupnim приходima treba posebno sagledati i učešće ostalih troškova u procesu proizvodnje odgovarajućih poljoprivrednih kultura.

Detaljniji podaci o vrijednosti materijala i rada u procesu izvedbe sustava podzemnih odvodnjavanja dati su u tabeli 1, pa ih nije potrebno posebno objašnjavati.

U vezi vrijednosti rada strojeva također je bitno imati u vidu strukturu cijene koštanja ugradnje drenskih PVC cijevi. S obzirom na to da nema drenopolagača domaće proizvodnje, veliko je učešće troškova nabave tih strojeva. Kalkulacije su rađene za drenopolagače srednje snage (135 KW) čija je nabavna cijena u 1986. godini iznosila 128.000 \$ (a 1 \$ = 400 din). Jasno, da na proizvođačku cijenu treba dodati i ostale troškove u procesu nabave strojeva koji u prosjeku iznose 65 % od nabavne cijene (carina, porez, transport, kamate, usluge zastupnika i uvoznika, banke i ostalih obveza po važećoj regulativi). Stopa amortizacije računata je sa 14 %, odnosno radni vijek drenopolagača od 7 godina. Prosječna potrošnja tekućeg goriva računata je s 24,0 l/sat a nabavna cijena »D-2« u rujnu 1986. godine bila je 157,00 din/litri, a posebno treba računati troškove dopreme te maziva. Norma rada drenopolagača srednje kategorije računata je 1100 efektivnih sati rada godišnje, s ugradnjom 230 m/sat — drenskih cijevi promjera 50 — 65 — 80 mm na dubinu od 0,70 — 1,30 m te iskop drenskog rova širine 0,14 — 0,18 — — 0,23 m.

U strukturi cijene koštanja rada drenopolagača računato je učešće pojedinih troškova prema slijedećem:

— materijalni troškovi i repromaterijal	27 %
— amortizacija	18 %
— tekuće gorivo i mazivo	24 %
— osobni dohoci i druge obveze	31 %

U procesu rada i cijeni rada drenopolagača uračunati su i troškovi devet radnika. Mjerodavne brutto satnice radnika računane su prema sljedećem:

— rukovodilac radova (VŠS ili SSS — 1)	2.950 dinara/sat
— poslovođa radova (SSS ili VKV — 1)	2.690 dinara/sat
— rukovaoci stroja (KV — 2 izvršioca)	2.460 dinara/sat
— vozač terenskog vozila (KV — 1)	2.300 dinara/sat
— pomoćni radnici za ugradnju spojnih i fazonskih elemenata (PKV — 4)	1.950 dinara/sat
Ukupni troškovi devet radnika	20.660 dinara/sat

Prosječna cijena rada drenopolagača i navedenih devet radnika u procesu ugradnje drenskih PVC cijevi u normalnim terenskim uvjetima računata je sa 65.430 dinara/sat. U toj cijeni uračunata su i odgovarajuća izdvajanja za sredstva proširenja materijalne osnove rada te sredstva rezervi i zajedničke potrošnje (10 % u odnosu na cijenu koštanja) u sklopu redovnog poslovanja vodoprivrednih organizacija).

Podaci o nabavnim cijenama kao i cijenama fcco gradilište PVC drenskih cijevi dati su u tabeli 1, pa ih nije potrebno posebno opisivati.

Tabela 1.

**MJERODAVNE VRIJEDNOSTI MATERIJALA I RADA U PROCESU IZVEDBE
SUSTAVA PODZEMNOG ODVODNJAVANJA — RUJAN 1986. GOD.**

Redni broj	PVC drenskih cijevi	Vrijednost drenskih cijevi din/m'				Vrijednost ugradnje din/m'
		Bez filtra		S filtrom plastica		
		Nabavna	Fcco grad.	Nabavna	Fcco grad.	
1.	Ø 50 mm	90,00	108,00	296,00	355,00	254,00
2.	Ø 65 mm	134,00	161,00	409,00	491,00	254,00
3.	Ø 80 mm	190,00	228,00	530,00	636,00	254,00
4.	Ø 100 mm	276,00	331,00	690,00	828,00	293,00
5.	Ø 125 mm	363,00	436,00	934,00	1121,00	332,00
6.	Ø 160 mm	785,00	942,00	1560,00	1872,00	381,00
7.	Ø 200 mm	985,00	1182,00	1931,00	2317,00	457,00
8.	Ø 250 mm	1256,00	1507,00	2510,00	3138,00	574,00

Ukupna vrijednost filtra od grinuliranog šljunka 6.800 din/m³.

U navedenoj vrijednosti uračunata je:

— nabavna vrijednost granuliranog šljunka	1.900 din/m ³
— transport kamionima na cca 50 km	2.100 din/m ³
— ugradnja filtra u drenski rov	2.800 din/m ³

U vrijednosti ugradnje uračunat je utovar u prikolice, transport traktorima do drenskih rovova i ugradnja šljunka.

Vrijednost rada strojevima na iskopu drenskog rova dubine od 0,70 do 1,30 m, širine od 0,14 do 0,23 m s ugradnjom drenskih PVC cijevi promjera 50, 65 i 80 mm računata je s 254 din/m'.

Vrijednost rada strojevima na ugradnji PVC drenskih cijevi s filtrom od šljunka računata je ($f = 1,25$) — 318 din/m'.

U ukupnoj vrijednosti izvedbe drenaže uračunati su i poslovi:

- | | |
|------------------------------|------------------------|
| — ugradnja spojnih elemenata | (9,0 %) rad ručno |
| — zatrpavanje drenskog rova | (9,0 %) rad strojevima |

4. ANALIZA TROŠKOVA IZVEDBE RAZNIH VARIJANTI SUSTAVA PODZEMNOG ODVODNJAVANJA

U vezi s analizom troškova izvedbe raznih varijanti sustava podzemnog odvodnjavanja dati su odgovarajući numerički (tabele 1. do 9) i grafički pokazatelji (slika 1. do 9). Mjerodavni pokazatelji dati su kako za učešće troškova pojedinih materijala tako i za učešće rada na ugradnji cijevi i filtra drenaže. Naime, posebne i sumarne podatke važno je sagledati već u procesu iznalaženja projektnih rješenja sustava podzemnog odvodnjavanja. Zbog nedovoljnog sagledavanja financijskih elemenata pojedina projektna rješenja znatno povećavaju troškove izvedbe cijevne drenaže, a na taj način i troškove proizvodnje poljoprivrednih kultura.

Iako se kod nas s izvedbom sustava podzemnih odvodnjavanja počelo 1975-ih godina, mi još uvijek nemamo naše norme za projektiranje. Primjena inozemnih normi i propisa odgovara za zemljišta istih ili sličnih hidropedoloških obilježja i zahtjeva uzgoja poljoprivrednih kultura. Međutim, za optimalna rješenja potrebno je sistematsko praćenje i analize podataka odgovarajućih pokusnih polja.

Naime, osnovno je imati u vidu da stupanj i troškovi izvedbe sustava podzemnog odvodnjavanja, u prvom redu, ovise o stupnju pouzdanosti terenskih snimanja i ispitivanja kao i odgovarajućih laboratorijskih ispitivanja te rezultata pokusnih polja. U sklopu toga od posebne važnosti je izbor i korištenje odgovarajućih normativa i propisa u procesu iznalaženja optimalnih projektnih i izvedbenih rješenja cijevne drenaže. Međutim, u praksi se još uvijek ne sagledava u dovoljnoj mjeri značenje navedenih konstatacija i načela.

4.1. Osnovni elementi raznih varijanti projektno-izvedbenih rješenja

U ovom radu i analizi troškova cijevne drenaže osnovni zadatak je da se ukaže na pravovremeno sagledavanje troškova izvedbe pojedinih varijanti projektnih rješenja — s obzirom na razmake i profile drenskih cijevi te ugradnje filtra od granuliranog šljunka i plastice. Rezultati provedenih proračuna i odgovarajući komparativni pokazatelji dati su tabelarno i grafički, pa se u nastavku daju samo osnovni i potrebni opisni pokazatelji.

U vezi s tim posebno treba sagledati postotak učešća pojedinih profila drenskih cijevi prema podacima u tabeli 2.

Tabela 2.

OSNOVNI ELEMENTI RAZNIH VARIJANTI PROJEKTNO-IZVEDBENIH
RJEŠENJA SUSTAVA PODZEMNOG ODVODNJAVANJA — PREMA UČEŠĆU
RAZLIČITIH PROMJERA CIJEVI

PVC drenske cijevi promjer	Postotak (%) učešća PVC drenskih cijevi po varijantama projektno-izvedbenih rješenja						
	1	2	3	4	5	6	7
50 mm	100	60	40	20	—	—	—
65 mm	—	30	40	55	70	50	10
80 mm	—	10	15	20	20	30	60
100 mm	—	—	5	5	5	10	15
125 mm	—	—	—	—	3	5	10
160 mm	—	—	—	—	2	3	3
200 mm	—	—	—	—	—	2	2
Ukupno %	100	100	100	100	100	100	100

Za varijantu broj 4 dati su posebno odgovarajući brojevi i grafički pokazatelji za razmak drenskih cijevi na 27,5 m. To su prosječni elementi projektno-izvedbenih rješenja izgrađenih sustava podzemnog odvodnjavanja u SR Hrvatskoj od 1973. do 1985. godine.

Vrijednost ugradnje PVC drenskih cijevi \varnothing 50, 65 i 80 mm računata je s 254 din/m' na dubinu od 0,70—1,30 m' i širine drenskog rova 0,14—0,18 m'.

Vrijednost ugradnje PVC drenskih cijevi ostalih promjera računata je prema slijedećem:

\varnothing 100 mm — 293 din/m', \varnothing 125 mm — 332 din/m', \varnothing 160 mm — 381 din/m' i \varnothing 200 mm — 457 din/m'.

Odgovarajući numerički i grafički pokazatelji dati su za izvedbu navedenih projektno-izvedbenih rješenja bez filtra i s filtrom od plastice.

Posebno se ukazuje na projektnu varijantu 4 za koju učešće pojedinih profila odgovara prosječno ugrađenim dužinama drenskih cijevi u SR Hrvatskoj — od 1973. do kraja 1985. godine (na 99.140 ha dreniranih površina i 33,268.005 m' cijevi).

4.2. Vrijednost »PVC« drenskih cijevi i izvedbe sustava podzemnog odvodnjavanja bez filtra

Osnovni podaci dati su u tabeli 3. i na slici 3, pa se daju samo odgovarajući komparativni pokazatelji.

Za razmake od 10 do 50 m i promjere 50, 65 i 80 mm date su posebno vrijednosti nabave i ugradnje drenskih PVC cijevi. Također je bitno sagledati odnos razmaka (m) i gustoće (m'/ha) cijevi. U troškovima nabave i ugradnje pojedinih profila cijevi bitno je imati u vidu da se troškovi odnose za normalne uvjete rada drenopolagača s ugradnjom cijevi u drenske rove širine od 0,14 — 0,18 — 0,23 m i na dubinu od 0,70 do 1,30 m.

Tabela 3.

VRIJEDNOST »PVC« DRENSKIH CIJEVI I IZVEDBE SUSTAVA PODZEMNOG
ODVODNJAVANJA BEZ FILTER MATERIJALA, RUJAN 1986. GOD.

Razmak drenskih cijevi m	Dužina dren- skih cijevi m'/ha	Vrijed- nost ugradnje cijevi din/ha	Vrijednost PVC drenskih cijevi — din/ha			Ukupna vrijednost izvedbe cijevne drenaže — din/ha		
			∅	∅	∅	∅	∅	∅
			50 mm	65 mm	80 mm	50 mm	65 mm	80 mm
10	100,0	254.000	108.000	161.000	228.000	362.000	415.000	321.000
15	666,6	169.316	72.000	107.333	152.000	241.316	276.649	321.316
20	500,0	127.000	54.000	80.000	114.000	181.000	207.500	192.000
25	400,0	101.600	43.200	64.400	91.200	144.800	166.000	192.800
30	333,3	84.658	36.000	53.667	76.000	120.658	138.325	160.658
35	285,7	72.568	30.856	45.998	65.140	103.424	118.566	137.708
40	250,0	63.500	27.000	40.250	57.000	90.500	103.750	120.500
45	222,2	56.439	24.000	35.778	50.667	80.439	92.217	107.106
50	200,0	50.800	21.600	32.200	45.600	72.400	83.000	96.400

U vrijednosti ugradnje cijevi računat je rad stroja (215 din/m'), ručna ugradnja fazonskih dijelova (9,0 %) i zatrpavanje drenskog rova (9,0 %), što je ukupno 254 din/m'.

U vrijednost PVC drenskih cijevi uračunata je nabava, transport i deponiranje na gradilištu (na trasi projektnih drenova) i 5 % PVC cijevi promjera od 100 do 200 mm.

U sklopu datih pokazatelja bitno je imati u vidu da je 70 % drenaže u SR Hrvatskoj izvedeno s prosječnim razmakom cijevi od 20 do 35 m. S obzirom na to da je najviše ugrađeno cijevi promjera 65 mm, vidljiva je vrijednost ugradnje tih cijevi koja je za 57,8 % veća od vrijednosti njihove nabave. U strukturi cijene izvedbe drenaže od cijevi promjera:

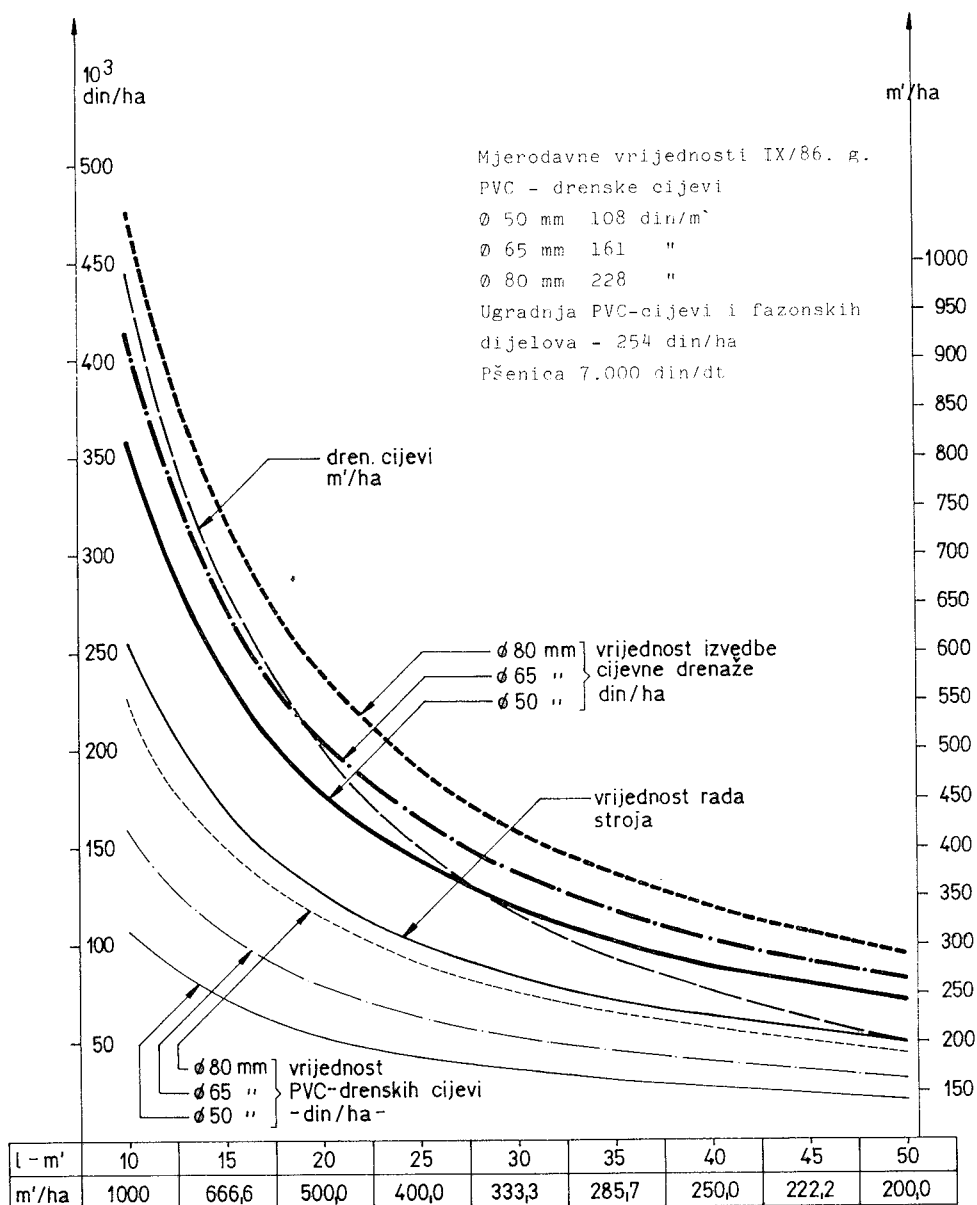
- 50 mm učešće rada je 70,2 % a cijevi 29,8 %
- 65 mm učešće rada je 61,2 % a cijevi 31,8 %
- 80 mm učešće rada je 52,7 % a cijevi 47,3 %.

To su pokazatelji o kojima treba voditi računa u procesu iznalaženja optimalno tehničko-financijskih rješenja drenaže.

4.3. Vrijednost »PVC« drenskih cijevi i izvedbe sustava podzemnog odvodnjavanja s filtrom od plastice

Prema hidropedološkim obilježjima pojedinih tala potrebna je i odgovarajuća ugradnja filtra u sklopu izvedbe cijevne drenaže. Posljednjih godina počelo se i s ugradnjom filtra od plastice, pa su u vezi s tim provedeni potrebni proračuni, a osnovi pokazatelji dati su u tabeli 4. i na slici 4.

Opis filtra od plastice PES-250 (proizvodnje RO Analit Osijek) dat je u drugom radu priručnika (ove knjige) pa se ovdje daju samo mjerodavni komparativni pokazatelji provedenih proračuna.



Sl. 3. Vrijednost »PVC« drenskih cijevi i vrijednost izvedbe sustava podzemnog odvodnjavanja bez filter materijala

Tabela 4.

VRIJEDNOST »PVC« DRENSKIH CIJEVI I IZVEDBE SUSTAVA PODZEMNOG
ODVODNJAVANJA S FILTROM OD PLASTICE, RUJAN 1986. GOD.

Razmak drenskih cijevi m	Dužina dren- skih cijevi m'/ha	Vrijed- nost ugradnje cijevi din/ha	Vrijednost PVC drenskih cijevi s filtrom od plastice — din/ha			Ukupna vrijednost izvedbe cijevne drenaže — din/ha		
			Ø 50 mm	Ø 65 mm	Ø 80 mm	Ø 50 mm	Ø 65 mm	Ø 80 mm
10	1000,0	254.000	355.000	491.000	636.000	609.000	745.000	890.000
15	666,6	169.316	236.667	327.333	424.000	405.983	496.649	593.316
20	500,0	127.000	177.500	245.500	318.000	304.500	372.500	445.000
25	400,0	101.600	142.000	196.400	254.400	243.600	298.000	356.000
30	333,3	84.658	118.333	163.667	212.000	202.991	248.325	296.658
35	285,7	72.568	101.429	140.286	181.714	173.997	212.854	254.282
40	250,0	63.500	88.750	122.750	159.000	152.250	186.250	222.500
45	222,2	56.439	78.889	109.111	141.333	135.328	165.550	197.772
50	200,0	50.800	71.000	98.200	127.200	121.800	149.000	178.000

U vrijednosti ugradnje »PVC« drenskih cijevi uračunat je rad stroja (215 din/m'), ručna ugradnja fazonskih dijelova (9,0 %) i zatrpavanje drenskog rova dozerima (9,0 %).

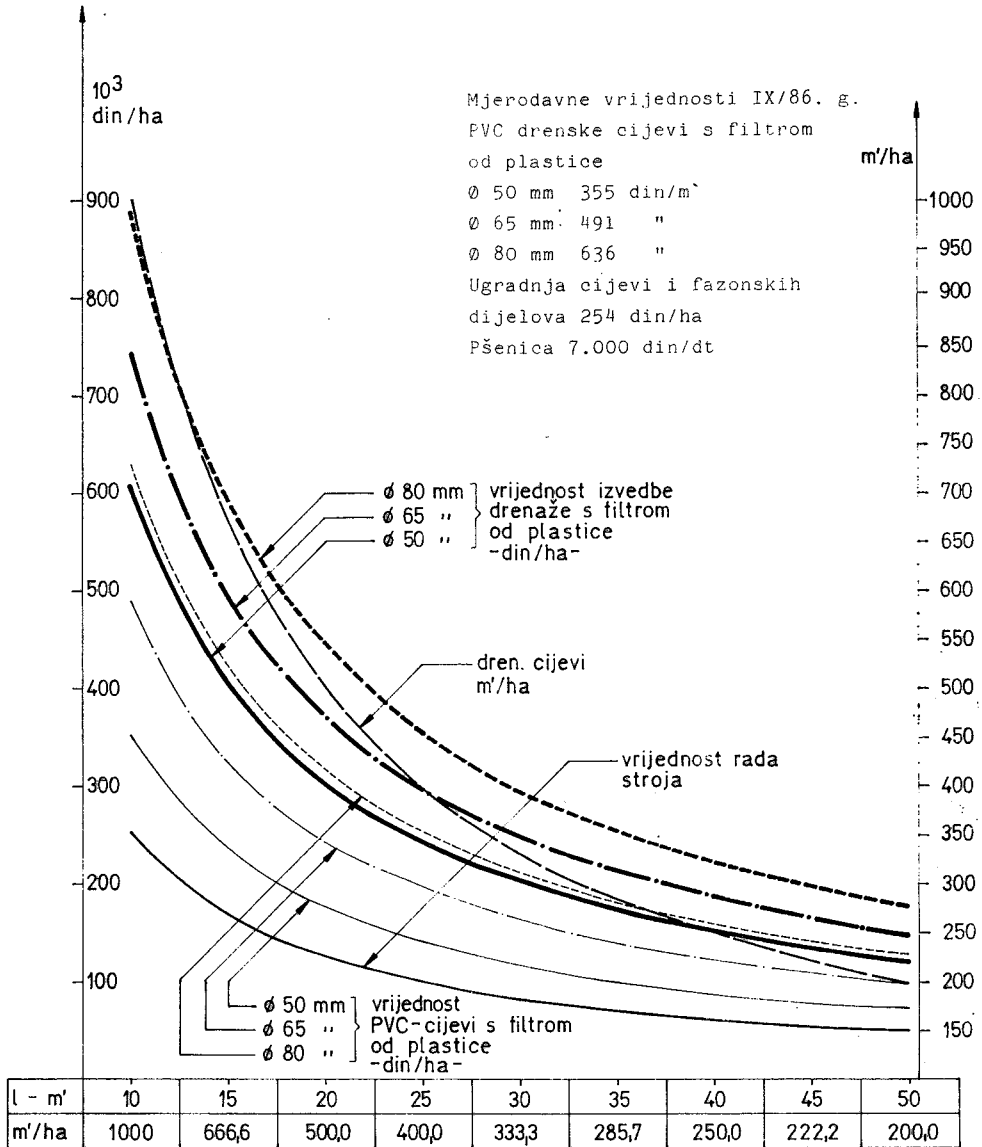
U vrijednosti PVC drenskih cijevi s filtrom od plastice uračunata je nabava, transport i deponiranje na trasi pojedinih drenova i 5 % cijevi promjera 100 do 220 mm.

Vrijednost rada strojeva na ugradnji PVC drenskih cijevi s filtrom od plastice (debljina oko cijevi do 2,5 mm) računata je i kao vrijednost ugradnje tih cijevi bez filtra odnosno kompletni troškovi ugradnje 254 din/m'. Troškovi nabave pojedinih profila cijevi s filtrom od plastice dati su u tabeli 1. (din/m'), a ukupni troškovi tih cijevi za različite razmake vidljivi su u tabeli 4. Posebni sumarni troškovi nabave i ugradnje drenskih cijevi s filtrom od plastice prikazani su u tabeli 4. i na slici 4. — za razmake cijevi od 10 do 50 m, ugradnju cijevi na dubinu od 0,70 do 1,30 m i širinu drenskog rova od 0,18 do 0,23 m — u normalnim terenskim uvjetima rada.

Osnovni mjerodavni pokazatelji su slijedeći:

- vrijednost ugradnje cijevi 50.800—254.000 d/ha
- vrijednost cijevi s plasticom 71.000—636.000 d/ha
- ukupna vrijednost izvedbe drenaže 121.800—890.000 d/ha
- za Ø 50 mm — učešće rada je 41,7 % a cijevi 58,3 %
- za Ø 65 mm — učešće rada je 34,1 % a cijevi 65,9 %
- za Ø 80 mm — učešće rada je 28,5 % a cijevi 71,5 %.

S obzirom na to da još uvijek nemamo dovoljno praktičnih pokazatelja u vezi hidrauličkog i ostalog djelovanja filtra od plastice, pored navedenih tehničko-financijskih pokazatelja, potrebna su kontinuirana i kvalitetna praćenja efekata tog filtra u procesu korištenja različitih varijanti sustava podzemnog odvodnjavanja.



Sl. 4. Vrijednost drenskih »PVC« cijevi i vrijednost izvedbe sustava podzemnog odvodnjavanja s filtrom od plastice

4.4. Vrijednost izvedbe sustava podzemnog odvodnjavanja s različitim učešćem pojedinih profila PVC drenskih cijevi — bez filtra (za sedam projektno-izvedbenih varijanti drenaže)

S obzirom na to da su u tabeli 3. i na slici 3. prikazani proračuni za različite razmake i 100 % učešće pojedinih profila cijevi bez filtra, posebno su provedeni proračuni i za različito učešće tih cijevi u sklopu izvedbe sustava podzemnog odvodnjavanja. Naime, hidropedološka obilježja tla i zahtjevi suvremene proizvodnje poljoprivrednih kultura određuju potrebu ugradnje različitog učešća pojedinih profila cijevi. Rezultati provedenih proračuna dati su u tabeli 5. i slici 5.

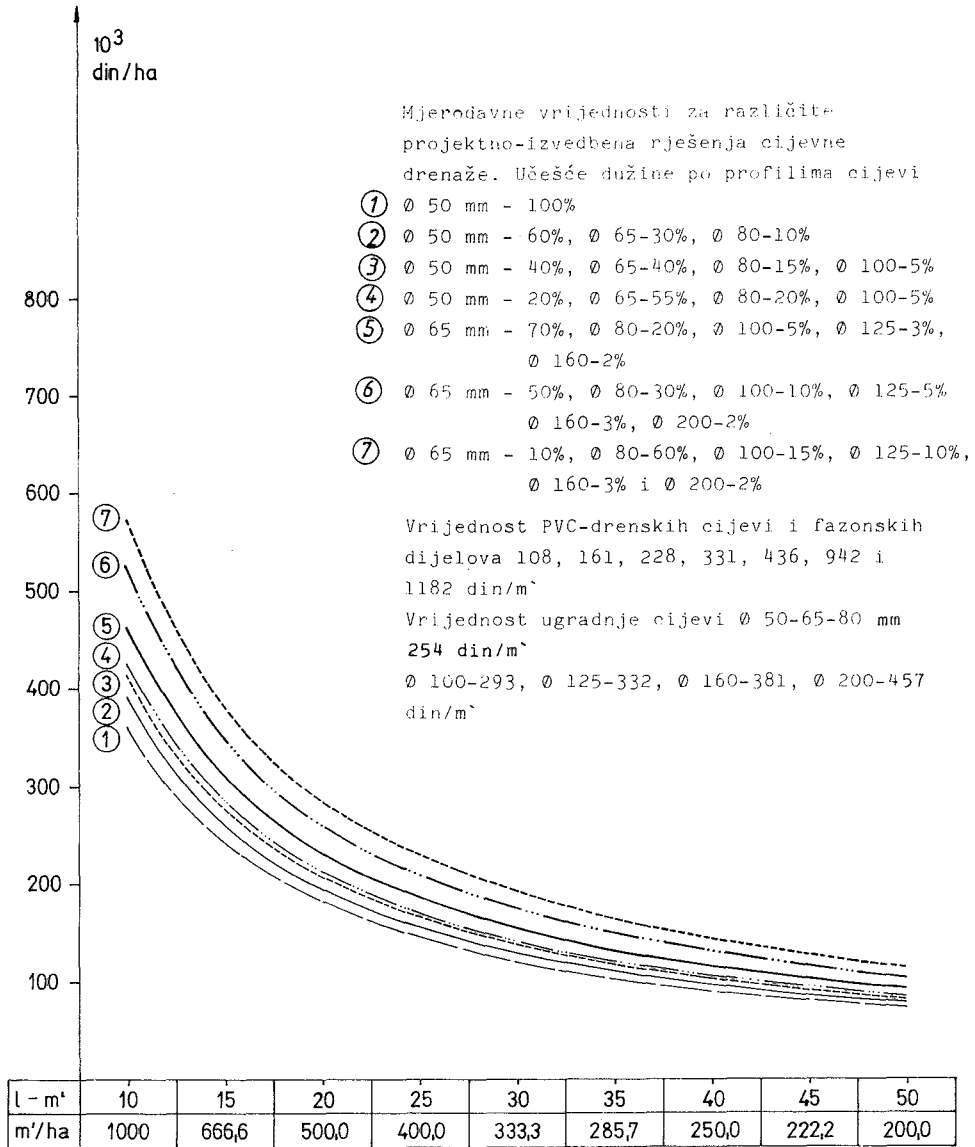
Tabela 5.

VRIJEDNOST IZVEDBE SUSTAVA PODZEMNOG ODVDNJAVANJA S RAZLIČITIM UČEŠĆEM POJEDINIH PROFILA PVC DRENSKIH CIJEVI — BEZ FILTRA, RUJAN 1986. GOD.

Razmak drenskih cijevi m'	Dužina drenskih cijevi m'/ha	Vrijednost izvedbe drenaže s različitim profilima PVC drenskih cijevi bez filtra (7 varijanti) — din/ha						
		1. var.	2. var.	3. var.	4. var.	5. var.	6. var.	7. var.
10	1000,0	362.000	389.900	414.130	428.250	467.600	525.370	581.190
15	666,6	241.333	259.933	276.084	285.500	311.800	350.240	382.545
20	500,0	181.000	194.950	207.065	214.125	233.850	262.895	286.785
25	400,0	144.800	155.960	165.652	171.300	187.080	210.150	229.428
30	333,3	120.666	129.967	138.043	142.750	155.900	176.130	191.143
35	285,7	103.424	111.408	118.359	126.342	133.588	150.317	103.950
40	250,0	90.500	97.475	103.532	107.063	116.925	131.457	143.394
45	222,2	80.444	86.644	92.029	95.167	103.933	117.028	127.395
50	200,0	72.400	77.980	82.860	85.650	93.540	105.074	114.714

Učešće pojedinih profila PVC drenskih cijevi po projektno-izvedbenim varijantama drenaže:

1. \varnothing 50 mm — 100 %
2. \varnothing 50 mm — 60 %, \varnothing 65 — 30 %, \varnothing 80 — 10 %
3. \varnothing 50 mm — 40 %, \varnothing 65 — 40 %, \varnothing 80 — 15 %, \varnothing 100 — 5 %
4. \varnothing 50 mm — 20 %, \varnothing 65 — 55 %, \varnothing 80 — 20 %, \varnothing 100 — 5 %
5. \varnothing 65 mm — 70 %, \varnothing 80 — 20 %, \varnothing 100 — 5 %, \varnothing 125 — 3 %, \varnothing 160 — 2 %
6. \varnothing 65 mm — 50 %, \varnothing 80 — 30 %, \varnothing 100 — 10 %, \varnothing 125 — 5 %, \varnothing 160 — 3 %, \varnothing 200 — 2 %
7. \varnothing 65 mm — 10 %, \varnothing 80 — 60 %, \varnothing 100 — 15 %, \varnothing 125 — 10 %, \varnothing 160 — 3 %, \varnothing 200 — 2 %



Sl. 5. Vrijednost izvedbe sustava podzemnog odvođnjavanja s različitim profilima drenskih »PVC« cijevi bez filtra, rujun 1986. god.

Osnovni komparativni pokazatelji za sedam varijanti projektno-izvedbenih rješenja cijevne drenaže su slijedeći:

- vrijednost ugradnje cijevi 50.800—283.140 din/ha
- vrijednost PVC drenskih cijevi 21.600—298.050 din/ha
- ukupna vrijednost izvedbe drenaže 72.400—581.190 din/ha

Posebno je važno sagledati za navedenih sedam varijanti projektno-izvedbenih rješenja učešće troškova nabave i dopreme cijevi te njihove ugradnje (imajući u vidu i polazne podatke tabele 1).

Varijante drenaže	Iznos i učešće troškova po hektaru	
	Rada	Cijevi
1	50.800—254.000 din, 70,2 %	21.600—108.000 din, 29,8 %
2	50.800—254.000 din, 65,1 %	27.180—135.900 din, 34,9 %
3	51.190—255.950 din, 61,8 %	31.670—158.350 din, 38,2 %
4	51.190—255.950 din, 59,8 %	34.460—172.300 din, 40,2 %
5	52.166—260.830 din, 55,8 %	41.374—206.770 din, 44,2 %
6	53.934—269.670 din, 51,3 %	51.140—255.700 din, 48,7 %
7	55.104—283.140 din, 48,7 %	59.610—298.050 din, 51,9 %

U vezi s dobivenim rezultatima treba sagledati osnovne pokazatelje varijante 4, čije učešće pojedinih profila cijevi odgovara prosječnim elementima do sada izvedene drenaže u SR Hrvatskoj, a to je na cca 60 % dreniranih poljoprivrednih površina do kraja 1985.

Ostali potrebni pokazatelji dati su u tabeli 5. i na slici 5, pa nisu potrebna posebna obrazloženja.

4.5. Vrijednost izvedbe sustava podzemnog odvodnjavanja s različitim učešćem pojedinih profila PVC drenskih cijevi s filtrom od plastice

Iako je ugradnja plastice kao filtra započela tek poslije 1980. godine, provedeni su odgovarajući proračuni s različitim učešćem pojedinih profila PVC drenskih cijevi, s obzirom na manje troškove ugradnje nego filtra od granuliranog šljunka. Međutim, i nadalje ostaje problem praćenja hidrauličkih i ostalih efekata drenaže s raznim materijalima kao filtrima cijevne drenaže. Jedinične cijene PVC drenskih cijevi s filtrom od plastice date su u tabeli 1. a odgovarajući numerički podaci u tabeli 6, a grafički na slici 6.

Tabela 6.

VRIJEDNOST IZVEDBE SUSTAVA PODZEMNOG ODVODNJAVANJA S RAZLIČITIM UČEŠĆEM POJEDINIH PROFILA PVC DRENSKIH CIJEVI I S FILTROM OD PLASTICE, RUJAN 1986.

Razmak drenskih cijevi m'	Dužina drenskih cijevi m'/ha	Vrijednost izvedbe drenaže s različitim profilima PVC drenskih cijevi i s filtrom od plastice (7 varijanti) — din/ha						
		1. var.	2. var.	3. var.	4. var.	5. var.	6. var.	7. var.
10	1000,0	609.000	677.900	731.150	765.600	844.200	947.320	1.045.020
15	666,6	406.000	451.933	487.433	510.349	562.619	631.087	695.920
20	500,0	304.500	338.950	365.575	382.800	421.965	473.315	521.940
25	400,0	243.600	271.160	292.460	306.240	337.572	378.652	417.552
30	333,3	203.000	225.967	243.717	255.200	281.310	315.543	347.960
35	285,7	173.991	193.676	208.890	218.732	241.111	270.452	298.237
40	250,0	152.250	169.475	182.788	191.400	210.983	236.658	260.970
45	222,2	135.333	150.644	162.378	170.133	187.540	210.362	231.973
50	200,0	121.800	135.580	146.230	153.120	168.840	189.464	209.004

Učešće pojedinih profila PVC drenskih cijevi po projektno-izvedbenim varijantama drenaže:

1. Ø 50 mm — 100 %
2. Ø 50 mm — 60 %, Ø 65 — 30 %, Ø 80 — 10 %
3. Ø 50 mm — 40 %, Ø 65 — 40 %, Ø 80 — 15 %, Ø 100 — 5 %
4. Ø 50 mm — 20 %, Ø 65 — 55 %, Ø 80 — 20 %, Ø 100 — 5 %
5. Ø 65 mm — 70 %, Ø 80 — 20 %, Ø 100 — 5 %, Ø 125 — 3 %, Ø 160 — 2 %
6. Ø 65 mm — 50 %, Ø 80 — 30 %, Ø 100 — 10 %, Ø 125 — 5 %, Ø 160 — 3 %, Ø 200 — 2 %
7. Ø 65 mm — 10 %, Ø 80 — 60 %, Ø 100 — 15 %, Ø 125 — 10 %, Ø 160 — 3 %, Ø 200 — 2 %

U vezi s provedenim proračunima i dobivenim rezultatima bitno je sagledati učešće pojedinih profila cijevi s datih sedam varijanti projektno-izvedbenih rješenja cijevne drenaže. Osnovni komparativni mjerodavni pokazatelji su slijedeći:

Varijante drenaže	Iznos i učešće troškova po hektaru	
	Rada	Cijevi
1	50.800—254.000 din, 41,7 %	71.000—355.000 din, 58,3 %
2	50.800—254.000 din, 37,5 %	84.700—423.900 din, 62,5 %
3	51.190—255.950 din, 35,0 %	95.040—475.000 din, 65,0 %
4	51.190—255.950 din, 33,4 %	101.930—509.650 din, 66,6 %
5	52.166—260.830 din, 30,9 %	116.674—583.370 din, 69,1 %
6	53.934—269.670 din, 28,5 %	135.530—677.650 din, 71,5 %
7	55.104—275.520 din, 26,4 %	153.900—769.500 din, 73,6 %

Bitno je uočiti veliko učešće vrijednosti PVC drenskih cijevi s filtrom od plastice — od 58,3 % do 73,6 %, za razliku od onih bez plastice gdje je učešće vrijednosti cijevi od 29,8 % do 48,7 %.

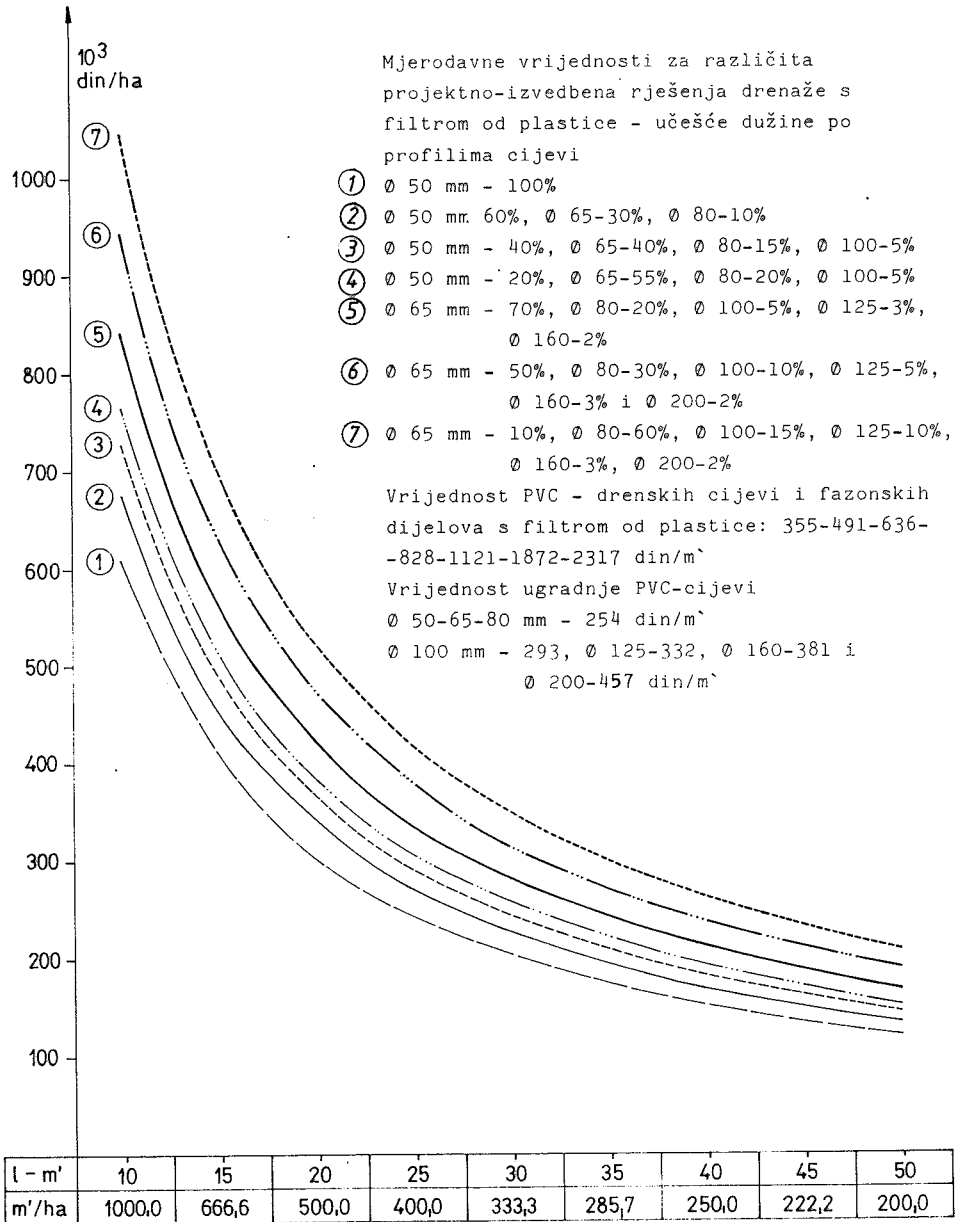
Međutim, osim povećanja financijskih troškova zbog ugradnje filtra od plastice potrebno je i praćenje njegove hidrauličke provodljivosti te utjecaja na porast prinosa poljoprivrednih kultura. Na žalost, kod nas još uvijek ne postoji dovoljno i pouzdano praćenje navedenih pokazatelja u procesu djelovanja cijevne drenaže i proizvodnje poljoprivrednih kultura.

4.6. Vrijednost nabave, transporta i ugradnje filtra od granuliranog šljunka u procesu izvedbe sustava podzemnog odvodnjavanja

Primjena filtra od granuliranog šljunka znatno poskupljuje izvedbu sustava podzemnog odvodnjavanja, pa su u vezi s tim provedeni proračuni. Po-

lazni elementi i dobiveni rezultati dati su u tabeli 7. a grafički prikazi na slici 7. i 8.

Navedene pokazatelje treba sagledati u sklopu podataka tabele 1, 2. i 3. te slike 3. i 5.



Sl. 6. Vrijednost izvedbe sustava podzemnog odvodnjavanja s različitim profilima drenskih »PVC« cijevi i filtrom od plastice, rujan 1986. god.

Tabela 7.

**VRIJEDNOST NABAVE, TRANSPORTA I UOGRADNJE FILTRA
OD GRANULIRANOG ŠLJUNKA U PROCESU IZVEDBE SUSTAVA
PODZEMNOG ODVODNJAVANJA — RUJAN 1986. GODINE**

Razmak cijevi m	Količina granuliranog Dužina cijevi m/ha	Količina granuliranog šljunka — m ³ /ha			Vrijednost granuliranog šljunka — din/ha			Vrijed. cijevi Ø 65 din/ha
		0,14 m	0,18 m	0,23 m	0,14 m	0,18 m	0,23 m	
10	1000,0	90,0	110,0	140,0	612.000	748.000	952.000	415.000
15	666,6	60,0	73,3	93,3	408.000	500.480	634.440	276.649
20	500,0	45,0	55,0	70,0	306.000	374.000	476.000	207.500
25	400,0	36,0	44,0	56,0	244.800	299.200	380.800	166.000
30	333,3	30,0	36,7	46,7	204.000	249.560	319.600	138.325
35	285,7	25,7	31,4	40,0	174.760	213.520	272.000	118.566
40	250,0	22,5	27,5	35,0	153.000	187.000	238.000	103.750
45	222,2	20,0	24,4	31,1	136.000	165.920	211.480	92.217
50	200,0	18,0	22,0	28,0	122.400	149.600	190.400	83.000
27,5	363,6	32,7	40,0	50,9	222.360	272.000	346.120	150.894
Količina šljunka m ³ /m'		0,09	0,11	0,14	612	748	952	din/m'

Ugradnja filtra od granuliranog šljunka računata je u visini 0,60 m i širini drenskog rova 0,14 — 0,18 — 0,23 m, odnosno s količinom 0,09 — 0,11 — 0,14 m³/m'.

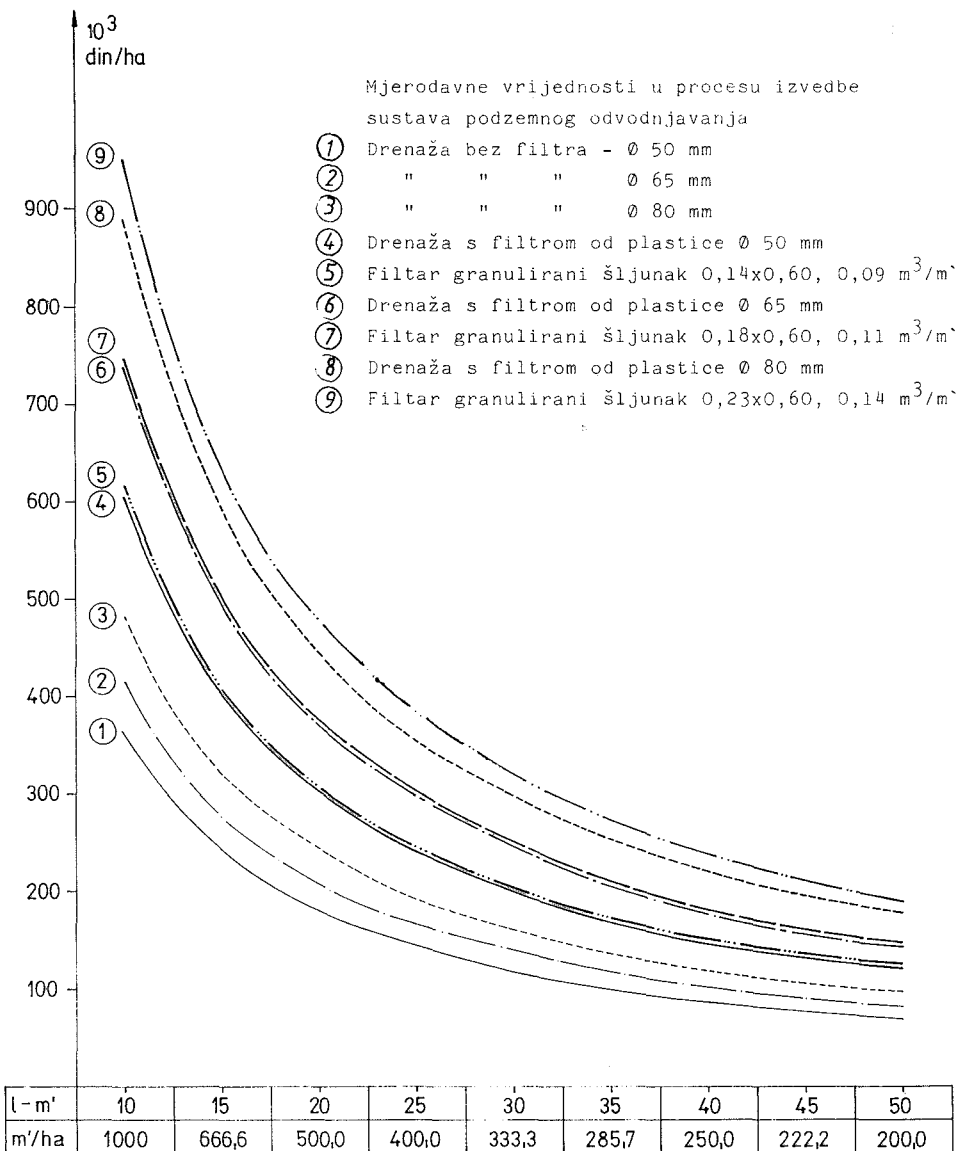
Vrijednost nabave i transporta šljunka kamionima na udaljenost 50 km te poslovi ugradnje filtra računati su sa 6.800 din/m³.

U sklopu te cijene treba posebno računati sporiji rad strojeva (za 25 %) zbog ugradnje filtra od granuliranog šljunka.

U zadnjoj koloni je vrijednost izvedbe drenaže s cijevima Ø 65 m — bez filtra.

Potreba i funkcija ugradnje granuliranog šljunka kao filtra cijevne drenaže obrazložena je u drugim radovima ove knjige, pa se u ovoj analizi daju samo mjerodavni komparativni financijski pokazatelji. Važno je sagledati količine granuliranog šljunka (m³/m' i m³/ha) s obzirom na širinu drenskog rova (0,14 — 0,18 — 0,23 m) i visinu ugradnje filtra (0,60 m — 0,65 m). Osnovni financijski pokazatelji su slijedeći:

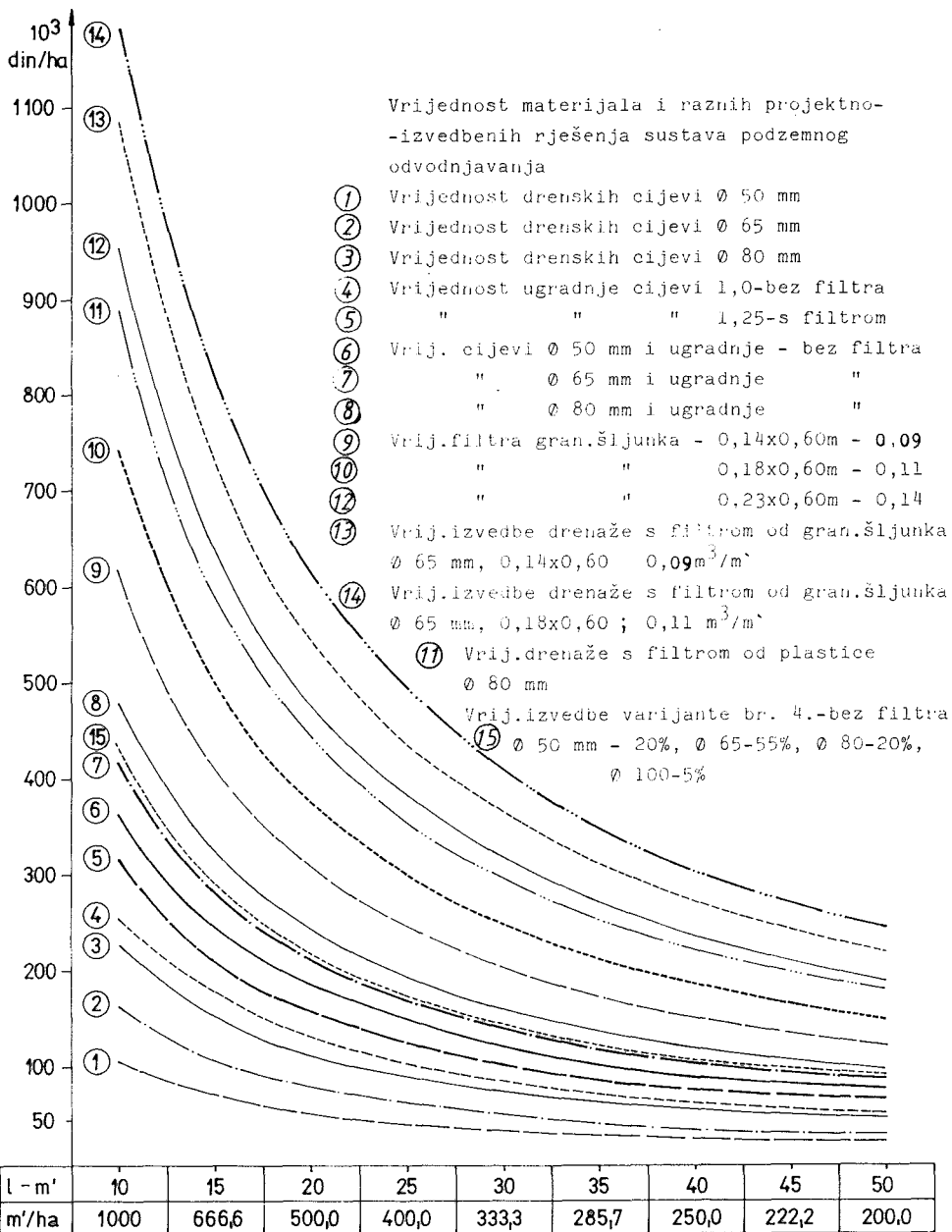
Širina drenskog rova	Količina šljunka m ³ /m'	Vrijednost nabave, transporta i granuliranog šljunka	Vrijednost filtra drenaže
0,14 m	0,09	222.360—612.000 din/ha	612 din/m'
0,18 m	0,11	272.000—748.000 din/ha	748 din/m'
0,23 m	0,14	346.120—952.000 din/ha	952 din/m'



Sl. 7. Vrijednost izvedbe sustava podzemnog odvodnjavanja bez filtra, s filtrom od plastice i samo filtra od granuliranog šljunka

Vidljivo je da je vrijednost samo nabave, transporta i ugradnje filtra do granuliranog šljunka veća od kompletne vrijednosti nabave i ugradnje PVC drenskih cijevi bez filtra, i to za:

- promjera 50 mm od 69,1 — 106,6 — 162,9 %
- promjera 65 mm od 47,5 — 80,0 — 129,4 %
- promjera 80 mm od 27,0 — 55,2 — 97,5 %



Sl. 8. Vrijednost materijala i raznih projektno-izvedbenih rješenja sustava podzemnog odvodnjavanja

Posebno su dati podaci za razmak drenskih cijevi 27,5 m, što odgovara prosječnim elementima cca 30 % izvedene drenaže u SR Hrvatskoj a mjerađavna vrijednost filtra od granuliranog šljunka je od 272.000—346.120 din/ha.

4.7. Vrijednost izvedbe sustava podzemnog odvodnjavanja s ugradnjom filtra od granuliranog šljunka i profila PVC drenskih cijevi 65 mm

Pored visokih troškova nabave, transporta i ugradnje filtra od granuliranog šljunka dati su i sumarni pokazatelji izvedbe drenaže profila cijevi 65 mm u tabeli 8, a za ostale profile moguće je sagledati sumarne vrijednosti u sklopu tabele 3. i 8. te slika 3, 7. i 8.

Tabela 8.

VRIJEDNOST IZVEDBE SUSTAVA PODZEMNOG ODVODNЈAVANJA S UGRADNЈOM FILTRA OD GRANULIRANOG ŠLЈUNKA I PROFILOM DRENSKIH CIJEVI 65 mm — RUЈAN 1986. GODINE

Razmak cijevi m	Dužina cijevi m/ha	Vrijednost cijevi Ø 65 mm din/ha	Vrij. ugr. cijevi Ø 65 mm din/ha	Vrij. filtra od gran. šljunka din/ha	Ukup. vrij. izv. cij. dren. din/ha	Ekvival. vrij. pšenice tona
10	1000,0	161.000	318.000	748.000	1.227.000	17,53
15	666,6	107.333	211.979	500.480	819.792	11,71
20	500,0	80.500	159.000	374.000	613.500	8,76
25	400,0	64.400	127.200	299.200	490.800	7,01
30	333,3	53.667	105.989	249.560	409.216	5,84
35	285,7	45.998	90.853	213.520	350.371	5,01
40	250,0	40.250	79.500	187.000	306.750	4,38
45	222,2	35.778	70.660	165.920	272.358	3,89
50	200,0	63.600	149.600	149.600	245.400	3,51
275	363,6	58.540	115.625	272.000	446.165	6,37
Ukup. vrij.	Ø 50 mm	108	318	748	1.174	—
izv. dren.	Ø 65 mm	161	318	748	1.227	—
din/m'	Ø 80 mm	228	318	748	1.294	—

Ukupna vrijednost (din/ha) data je za izvedbu sustava podzemnog odvodnjavanja slijedećih mjerodavnih elemenata:

— vrijednost drenskih PVC cijevi promjera 65 mm	161 din/m'
— vrijednost ugradnje cijevi (254 × 1,25)	318 din/m'
— vrijednost granuliranog šljunka (6.800 din/m ³) (za širinu rova 0,18 m, visinu ugradnje 0,60 m)	748 din/m'
Ukupna vrijednost:	1.227 din/m'

Posebno je data ukupna vrijednost (din/m) za izvedbu drenaže Ø 50, 65 i 80 mm s ugradnjom PVC drenskih cijevi i filtera od granuliranog šljunka.

Date su posebno vrijednosti cijevi \varnothing 65 mm i ugradnje cijevi 65 mm, te vrijednosti nabave, transporta i ugradnje filtra od granuliranog šljunka kao i ekvivalentna vrijednost priroda pšenice potrebne za izvedbu drenaže s filtrom od granuliranog šljunka.

Međutim, za kompletno sagledavanje komparativnih i mjerodavnih vrijednosti raznih varijanti cijevne drenaže (posebno vrijednost materijala i rada kao i sumarna vrijednost) dati su odgovarajući pokazatelji na slici 8.

U sklopu toga bitno je sagledati odvojene i sumarne podatke i pokazatelje date u tabelama 3—8, i na slikama 3—8. Mjerodavne vrijednosti date su za razmake cijevi od 10—50 m, dubinu ugradnje 0,70 do 1,30 m — u normalnim uvjetima rada.

Polazna vrijednost ugradnje PVC drenskih cijevi bez filtra računata je s 254 din/m' a s filtrom od granuliranog šljunka 318 din/m' ($f = 1,25$). Vrijednost nabave, transporta i ugradnje filtra od granuliranog šljunka računata je 612 — 748 — 952 din/m'. Ukupna vrijednost izvedbe cijevne drenaže s ugradnjom filtra od granuliranog šljunka je od 446.165 do 1.227.600 din/ha.

U strukturi ukupne vrijednosti izvedbe takve drenaže učešće je slijedeće:

— nabave cijevi \varnothing 65 mm je	13,6 %	(161 din/m')
— ugradnje cijevi \varnothing 50 — 65 — 80 mm	25,9 %	(318 din/m')
— nabave i ugradnje filtra	61,0 %	(748 din/m')

To ukazuje na posebno značenje detaljnih terenskih ispitivanja i snimanja kao i potrebnih laboratorijskih ispitivanja hidropedoloških i ostalih obilježja tala prije nego se predloži i usvoji ugradnja filtra od granuliranog šljunka. Naime, i pored povećanja priroda poljoprivrednih kultura nakon izvedbe takve drenaže te smanjenja troškova pripreme i obrade zemljišta — ulaganja u filter od granuliranog šljunka znatno povećavaju troškove hidromelioracijskih radova i poskupljuju troškove proizvodnje poljoprivrednih kultura. U sklopu iznalaženja optimalnih tehničko-financijskih rješenja cijevne drenaže potrebno je istovremeno definiranje i odgovarajućih agromelioracijskih radova i mjera prije nego se donese odluka o ugradnji zaista preskupog filtra od granuliranog šljunka.

4.8. Ekvivalentna vrijednost priroda pšenice potrebne za izvedbu različitih projektnih rješenja sustava podzemnog odvodnjavanja

S obzirom na to da je osnovni zadatak izvedbe cijevne drenaže u stvaranju i održavanju vodozračnog režima u tlu prema zahtjevima suvremene i optimalne proizvodnje poljoprivrednih kultura, od posebne je važnosti sagledati potrebnu ekvivalentnu vrijednost prinosa pšenice (kao osnovne kulture) za izvedbu odgovarajućih rješenja sustava podzemnog odvodnjavanja. Naime, to je jedan od bitnih pokazatelja prije nego investitor usvoji predloženo projektno rješenje cijevne drenaže. Iz raspoloživih podataka datih u tabelama od r. b. 3, do r. b. 8, posebno se daju sumarni mjerodavni komparativni pokazatelji u tabeli broj 9.

Tabela 9.

**EKVIVALENTNA VRIJEDNOST PRIRODA PŠENICE ZA IZVEDBU RAZLIČITIH
PROJEKTNIH RJEŠENJA SUSTAVA PODZEMNOG ODVODNJAVANJA**

Razmak cijevi m	Dužina cijevi m/ha	Vrsta drenaže	Ekvivalentna vrijednost priroda pšenice za razne profile cijevi			
			Ø 50 mm	Ø 65 mm	Ø 80 mm	var. 4.
10	1000	bez filtra	5,17	5,93	6,89	6,12
		f-plastica	8,70	10,64	12,71	10,94
		f-šljunak	16,77	17,53	18,49	17,65
15	666,6	bez filtra	3,45	3,95	4,59	4,08
		f-plastica	5,80	7,09	8,48	7,29
		f-šljunak	11,21	11,71	12,35	11,82
20	500,0	bez filtra	2,59	2,96	3,44	3,06
		f-plastica	4,35	5,32	6,36	5,47
		f-šljunak	8,39	8,76	9,24	8,85
25	400	bez filtra	2,07	2,37	2,80	2,45
		f-plastica	3,48	4,26	5,09	4,38
		f-šljunak	6,71	7,01	7,39	7,08
30	333,3	bez filtra	1,72	1,98	2,30	2,04
		f-plastica	2,90	3,55	4,24	3,65
		f-šljunak	5,59	5,84	6,16	5,90
35	285,7	bez filtra	1,48	1,69	1,97	1,75
		f-plastica	2,49	3,04	3,63	3,12
		f-šljunak	4,79	5,01	5,28	5,05
40	250	bez filtra	1,29	1,48	1,72	1,53
		f-plastica	2,18	2,66	3,18	2,73
		f-šljunak	4,19	4,38	4,62	4,42
45	222,2	bez filtra	1,15	1,32	1,53	1,36
		f-plastica	1,93	2,37	2,83	2,43
		f-šljunak	3,72	3,89	4,10	3,93
50	200	bez filtra	1,03	1,19	1,38	1,22
		f-plastica	1,74	2,13	2,54	2,19
		f-šljunak	3,35	3,51	3,70	3,54
27,5	363,6	bez filtra	1,88	2,16	2,50	2,21
		f-plastica	3,16	3,87	4,62	3,97
		f-šljunak	6,10	6,37	6,72	6,43

Vrijednost pšenice u 1986. godini računata je sa 70.000 din/t, odnosno 175 \$/t (1 \$ = 400 dinara, rujan 1986. godine).

S prosječnim projektним elementima varijante 4 bez filtra do sada je izvedeno cca 63 % — a s filtrom od granuliranog šljunka cca 32 % sustava podzemnog odvodnjavanja u SR Hrvatskoj ($F_{uk} = 99.140$ ha do kraja 1985. godine).

Mjerodavne vrijednosti date su za razmake cijevi od 10 do 50 m te profile 50 — 65 i 80 mm, i to bez filtra, s filtrom od plastice i filtrom od granuliranog šljunka. Vrijednost pšenice računata je sa 70.000 din/tona — kao mjerodavna otkupna cijena roda pšenice u ljeto 1986. godine. Navedene potrebne prinose pšenice treba sagledati i u prosjeku povećanih prinosa pšenice (od 23 do 58 %) nakon izvedbe odgovarajućih varijantnih rješenja cijevne drenaže i primjene suvremene agrotehnike u procesu poljoprivredne proizvodnje.

Komparativni pokazatelji odnosa vrijednosti izvedbe cijevne drenaže i potrebne ekvivalentne vrijednosti pšenice prikazane su na slici 9, i to posebno za vrijednosti cijevne drenaže:

- bez filtra s ugradnjom cijevi promjera 50, 65 i 80 mm (broj 1, 2, 3),
- varijanta broj 4 — \varnothing 50 mm — 20 %, \varnothing 65 mm — 55 %, \varnothing 80 mm — 20 % i \varnothing 100 mm — 5 % — bez filtra (4),
- s filtrom od plastice za promjere cijevi 50, 65 i 80 mm (5, 6 i 7),
- varijanta broj 4 — s filtrom od plastice (8),
- s filtrom od granuliranog šljunka za promjere cijevi 50, 65 i 80 mm (9, 10, 11),
- varijanta 4 s filtrom od granuliranog šljunka (12).

U sklopu tih varijanti i odgovarajućih vrijednosti bitno je sagledati i ekvivalentnu vrijednost potrebnih priroda pšenice na tabeli 9, pa se navode samo ekstremne vrijednosti.

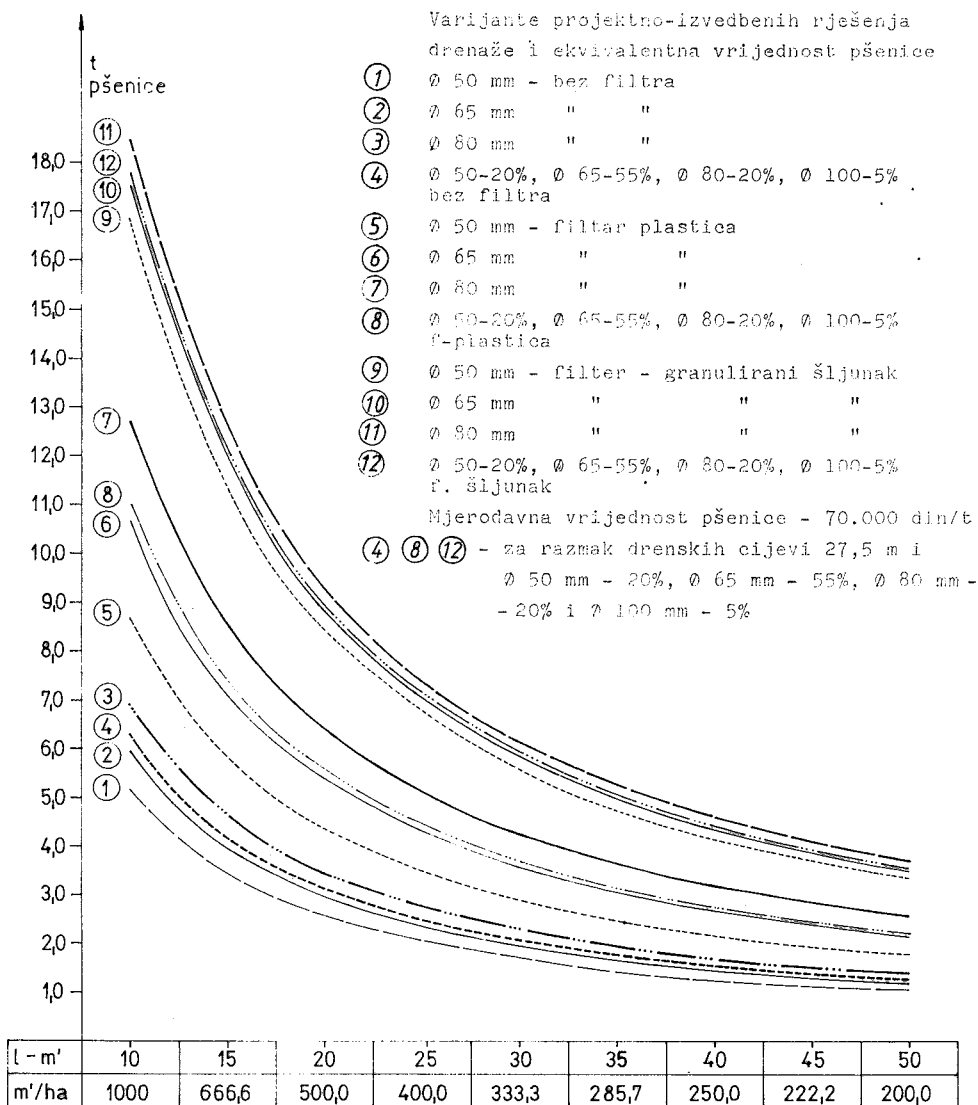
Vrsta drenaže	Potrebna vrijednost pšenice — tona			
	\varnothing 50 mm	\varnothing 65 mm	\varnothing 80 mm	Var. 4
— bez filtra	1,88— 5,17	2,16— 5,93	2,50— 6,89	2,21— 6,12
— filter plastica	3,16— 8,70	3,87—10,64	4,62—12,71	3,97—10,94
— filter granulirani šljunak	6,10—16,77	6,37—17,53	6,72—18,49	6,43—17,65

Prosječni prinosi pšenice u 1986. godini na dreniranim površinama ostvareni su od 5,3 do 7,2 t/ha.

Posebno je važno sagledati potrebne ekvivalentne vrijednosti prinosa pšenice za varijantu 4, što odgovara prosječnim elementima izvedene drenaže bez filtra i s filtrom od granuliranog šljunka. Detaljniji pokazatelji vidljivi su u tabeli 9. i na slikama 8. i 9.

5. OSNOVNE NAPOMENE U VEZI S UTJECAJEM PROJEKTNIH ELEMENATA NA TROŠKOVE IZVEDBE SUSTAVA PODZEMNOG ODVOĐNJAVANJA

Dosadašnja izvedba sustava podzemnih odvođnjavanja potvrdila je porast priroda ratarskih kultura od 23,0 do 58,0 % te smanjenje troškova u procesu korištenja poljoprivredne mehanizacije. Međutim, ne postoje konti-



Sl. 9. Ekvivalentna vrijednost priroda pšenice za izvedbu različitih projektih rješenja sustava podzemnog odvodnjavanja

nuirana i kvalitetna mjerenja te analiza ostalih potrebnih pokazatelja — kako u vezi s visinom troškova izvedbe drenaže i efikasnošću funkcioniranja tako i troškovima u procesu pripreme i obrade zemljišta, te u vezi s uzgojem poljoprivrednih kultura. Još uvijek se ne vrše u potpunosti neophodna terenska snimanja i mjerenja, bez kojih nema niti kvalitetnih projektno-izvedbenih rješenja cijevne drenaže. S obzirom na to da mi još uvijek ne-

mamo naše norme ili odgovarajuće propise, neophodno je povećati broj pokusnih polja s različitim projektno-izvedbenim rješenjima drenaže te uzgojem različitih poljoprivrednih kultura. Pri tome je potrebno locirati pokusna polja na melioracijskim područjima s različitim hidropedološkim i ostalim obilježjima zemljišta kao i s uzgojem različitih poljoprivrednih kultura.

U sklopu iznalaženja optimalnih projektno-izvedbenih rješenja cijevne drenaže osnovni je zadatak zadovoljiti odnos troškova hidromelioracijskih radova i troškova proizvodnje poljoprivrednih kultura, odnosno vrijednost povećanja njihovih priroda prema prethodnom stupnju proizvodnje. U sklopu toga bitni su i elementi financiranja izvedbe hidromelioracijskih radova.

Iz dosadašnjih naših iskustava i provedenih proračuna može se zaključiti slijedeće:

1. Izvedba cijevne drenaže bez filtra tehnički i financijski je opravdana za razmake cijevi od 20 do 40 m i profile 65 i 80 mm te varijantu 4 — pod uvjetom da se ostvari u normalnim uvjetima povećanje prinosa, minimum 15—25 % u odnosu na prethodne prosječne prirode pšenice.

2. Izvedba cijevne drenaže s filtrom od plastice financijski je opravdana za razmake cijevi od 25 do 50 m i profile 65 i 80 mm te varijantu 4 — pod uvjetom da se ostvari u normalnim uvjetima povećanje prinosa minimum 30—40 % u odnosu na prethodne prosječne prirode pšenice.

3. Izvedba cijevne drenaže s filtrom od granuliranog šljunka financijski je opravdana za razmake od 35 do 50 m i profile 65 i 80 mm te varijantu 4 — pod uvjetom da ostvari u normalnim uvjetima povećanje prinosa minimum 45—70 % u odnosu na prethodne prosječne prirode pšenice.

Navedeni financijski odnosi važe za sve tri varijante drenaže, imajući u vidu da bi vrijednost povećanog prinosa pšenice u periodu od tri do pet godina bila u visini vrijednosti izvedbe cijevne drenaže. Prosječan prinos pšenice prije izvedbe drenaže računat je sa 4,0 t/ha.

Međutim, u sklopu provedbe kompletnih hidromelioracijskih i agromelioracijskih radova potrebno je posebno analizirati i ostale prirodne i proizvodne, utjecajne činioce, prisutne u procesu stvaranja i održavanja optimalnog vodozračnog režima prema zahtjevima suvremene proizvodnje poljoprivrednih kultura.

Pored važnosti pravovremenog sagledavanja i korektnog vrednovanja vrijednosti izvedbe sustava podzemnog odvodnjavanja, od posebne je važnosti i njihovo hidrauličko funkcioniranje, i to naročito u vegetacijskom periodu razvoja poljoprivrednih kultura. Međutim, kod nas još uvijek nije dovoljno kvalitetno održavanje sustava površinskog odvodnjavanja, pa zbog toga dolazi i do smanjenja efikasnosti, odnosno djelovanja cijevne drenaže. S obzirom na visoke troškove izvedbe sustava podzemnog odvodnjavanja te potrebe njihova efikasnog djelovanja od neophodne je važnosti i kvalitetno održavanje sustava površinskog odvodnjavanja, što je uvjet i za efikasno funkcioniranje sustava podzemnog odvodnjavanja — a zajedno u cilju stvaranja i održavanja vodozračnog režima za optimalne tehničko-financijske uvjete proizvodnje poljoprivrednih kultura.

LITERATURA:

1. Privredna komora Slavonije i Baranje, Odbor za poljoprivredu i vodoprivredu, Prosječni prirodni ratarskih kultura na površinama društvenog posjeda u Slavoniji i Baranji, Osijek, 1980—1985.
2. *Kos Z., Marušić J.*, Projektiranje, propisi i standardi kod odvodnjavanja, Priručnik za hidrotehničke melioracije, knjiga 2, DONH, Zagreb, 1984.
3. *Marušić J.*, Analiza osnovnih elemenata i troškova cijevne drenaže, *Građevinar* 37 (6), Zagreb, 1985.
4. *Marušić J.*, Optimalizacija hidromelioracijskih sustava i njihov utjecaj na ekonomičnost proizvodnje hrane, disertacija, Zagreb, 1986.

TIPSKU GRAĐEVINE I MATERIJALI DRENSKIH MREŽA

Prof. dr ZORKO KOS, dipl. ing. građ.

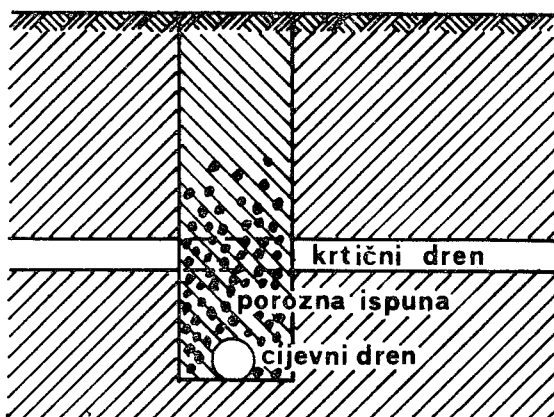
Dr JOSIP MARUŠIĆ, dipl. ing. građ.

I TIPSKU GRAĐEVINE NA DRENSKIM MREŽAMA

Za pravilno funkcioniranje cijevne drenaže, kao i radi jednostavnog i urednog održavanja sustava kao cjeline (osnovne i detaljne mreže) neophodno je na određenim karakterističnim točkama mreže ugraditi građevine koje se često ponavljaju, pa zaslužuju posebnu pažnju kod planiranja i projektiranja. Stoga je veoma važno da te građevine budu po konstrukciji jednostavne, u pogonu pouzdane, pogodne za održavanje i jeftine. Najčešće se pojavljuju izljevi, spojevi više drenova, reviziona okna, hvatala površinskih voda i drugo.

1. IZLJEV

Izljev, odnosno ispust vode u rov ili kanal višeg reda mora biti tako projektiran da ne izaziva eroziju pokosa i dva jarka, te da ne ometa mehaničko održavanje kanala. Pri tome treba razlikovati (po funkciji) dva tipa takvih izljeva: za pojedinačne drenove — sisala i za sabirne drenove — hvatala.



Sl. 1. Izljev zemljanog u cijevni dren

Kod izljeva sabirnog drena većih dimenzija obično se izgrađuje manji utočni objekt od betona, kamenog zida i sličnog. Pri tome treba dio drena uzvodno od utoka (60—120 cm) pojačati betonskom ili željeznom cijevi, izgraditi slapište, odnosno osiguranje pokosa i dva kanala, a otvor cijevi predvidjeti rešetkom radi sprečavanja ulaza životinja. Ako razina vode u recipientu povremeno naraste i iznad izljeva, treba otvor cijevi providjeti i povratnim poklopcem koji se zatvara porastom vodostaja iznad cijevi, a otvara obrnutim tlakom vode. Na priloženoj slici dati su presjeci triju starijih modela takvih izljeva, te skica u perspektivi jednog novijeg tipa.

Kod drenskog sustava gdje svaki pojedini dren ima izljev u otvoreni vodotok, konstrukcija ispusta mora biti veoma jednostavna i jeftina. Pri tome je moguć veći broj tehničkih rješenja, od kojih spominjemo:

— dugu ispusnu cijev koja se po potrebi može izvaditi ili teleskopski uvući u dren da bi se omogućilo čišćenje mehanizacijom. U krajevima s oštrom zimom ovaj tip može biti oštećen opterećenjem ledom ili snijegom;

— zaštitnu oblogu na pokosu kanala u okolišu cijevi, i to iz elastičnog plastičnog materijala armiranog vlaknima;

— na nekim recentnim projektima u nas pojedinačni su se drenovi na izljevju osiguravali ojačanom ispusnom cijevi, zaštitnom valovitom plastičnom oblogom te rešetkom (pokretnom) za sprečavanje ulaza životinja. U nekim evropskim zemljama (npr. Nizozemska), u pravilu, ne predviđaju se nikakve mjere za sprečavanje ulaza životinja za cijevi do 5 cm promjera, dok se za veće promjere takvi uređaji preporučuju. U svakom slučaju, rešetke moraju biti pokretne, kako bi bilo omogućeno redovno čišćenje drena.

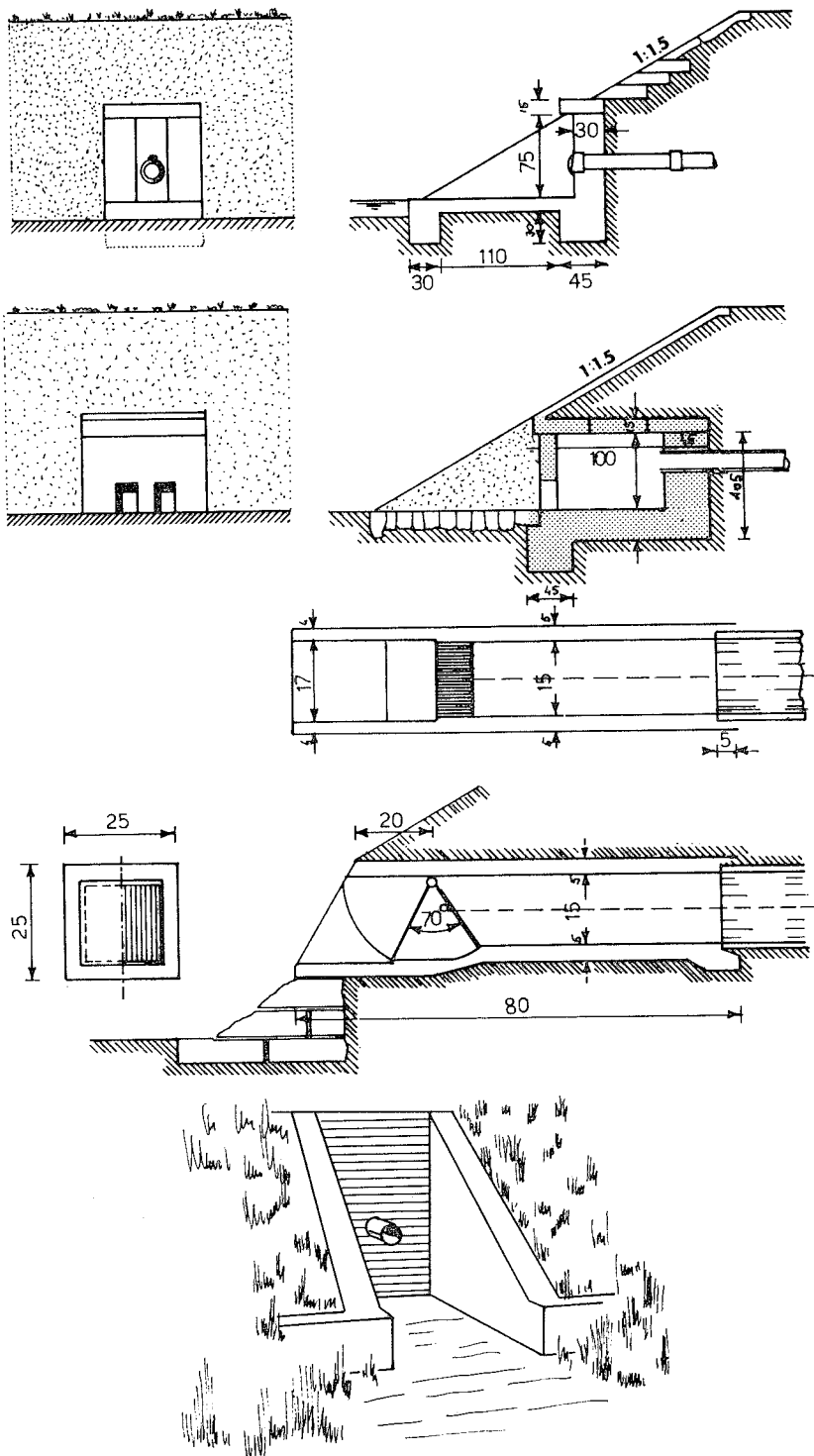
2. ČVOROVI DRENSKIH CIJEVI

Kod križanja dvaju ili više drenskih cijevi, odnosno kod uljeva sisala u hvatalo moguće je više tehničkih rješenja. U pravilu, sva se ta rješenja mogu podijeliti u dvije osnovne skupine, i to direktan spoj (najčešće pomoću fazonskih komada) ili s pomoću rivizijskog okna, odnosno drenske cisterne.

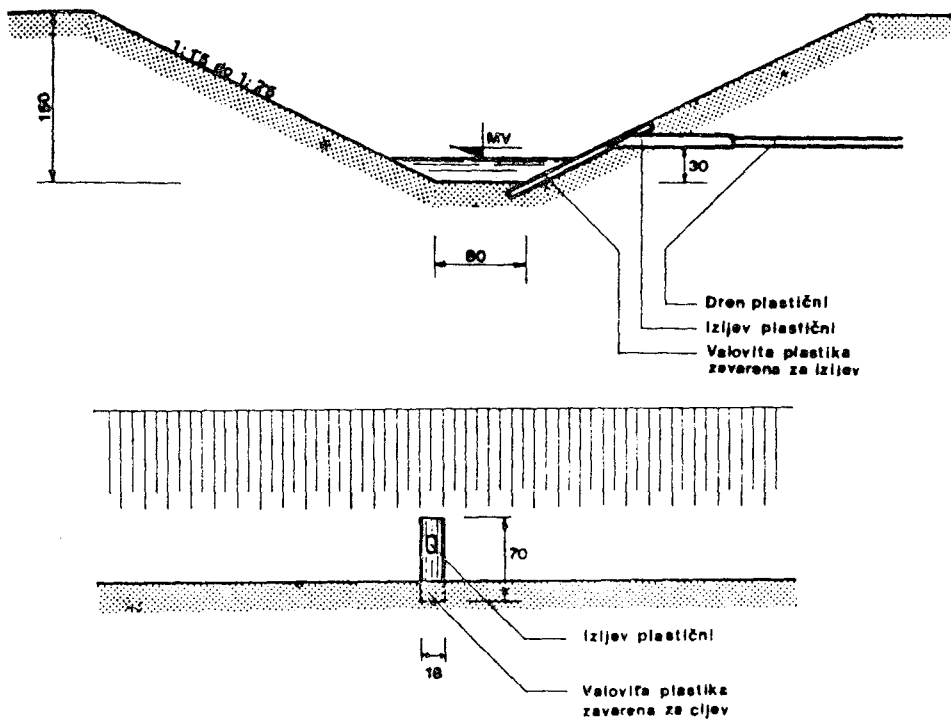
a) Spajanje cijevi višeg reda s cijevima nižeg (prema hijerarhijskom principu) može se provesti direktno ili uz pomoć odgovarajućih fazonskih komada. Najčešće se primjenjuju križni i T-komadi uz dimenzije i karakteristike koje vrijede za cijevi istog promjera i materijala koje se koriste kod gradnje mreže za odvod gradskih otpadnih voda (kanalizacije).

b) Revizijsko okno, koje se još zove drensko okno, prikupište ili drenska cisterna, tip je objekta koji služi za kontrolu ispravnosti rada uzvodne mreže kao i za spajanje više drenova u jednoj točki.

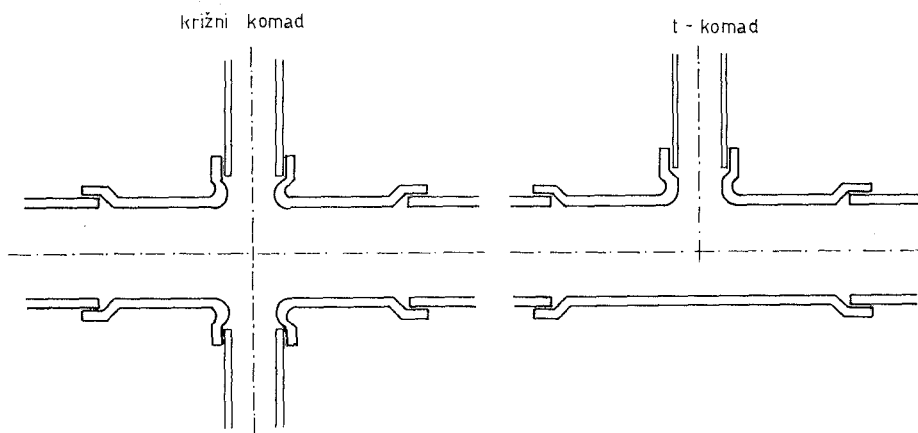
Okno se najčešće projektira tako da ujedno služi i kao taložnica za pješkoviti materijal koji voda sobom donosi. Zbog toga se dno obično planira tako da je niže za najmanje 30 cm od ulaza ili izlaza najniže položene cijevi u komori. Poželjno je da dno sisala u oknu bude bar 10 cm iznad gornjeg ruba cijevi hvatala, kako bi se ovaj prvi mogao normalno prazniti za vrijeme čišćenja.



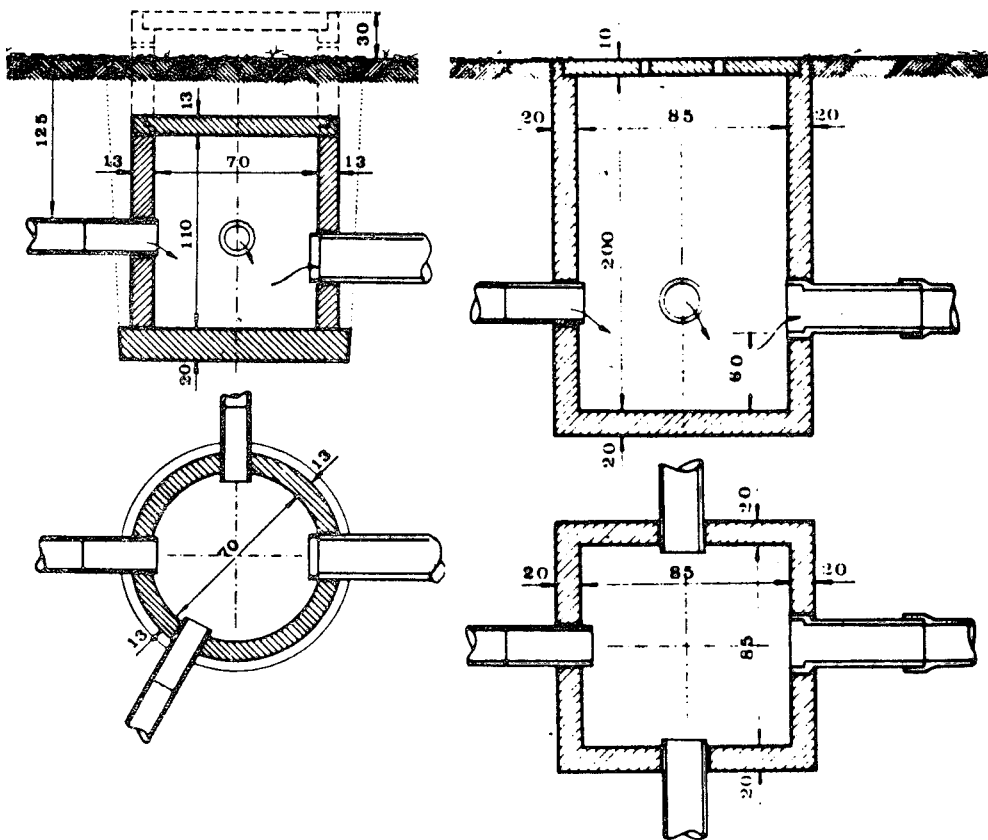
Sl. 2. Razni tipovi izljeva drenova-hvatala



Sl. 3. Detalj izljeva na drenaži polja Krvar u Istri (Mirna)



Sl. 4. Tipični čvorovi



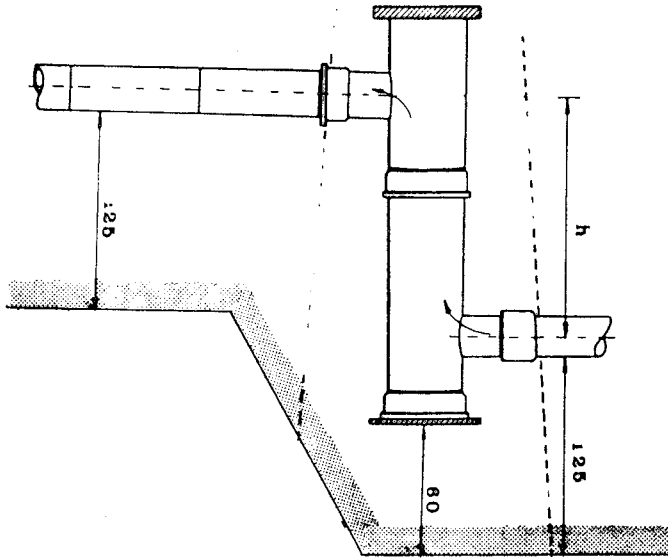
Sl. 5. Tip drenskog revizijskog okna kružnog i pravokutnog presjeka

Pokrovni dio okna može biti iznad ili ispod razine terena. Ukoliko se pokrovna ploča postavi na dovoljnu dubinu, tako da ne ometa uobičajene operacije obrade tla, onda tip s ukopanim poklopcem ima izvjesne prednosti pred nadzemnim, jer se na taj način onemogućavaju oštećenja i zloupotrebe. Što se građenja, pak, tiče, okno može biti sagrađeno od betona.

3. DRENSKA STEPENICA

Drenska stepenica je zapravo poseban tip drenskog okna koja se ugrađuje na mjestima nagle promjene (skoka), odnosno sniženja nivelete diktriranog terenskim uvjetima.

Može se graditi kao drensko okno iz monolitnog betona, ili pak za tu svrhu služe drenske cijevi većih profila, kao što je na priloženoj skici to i prikazano.

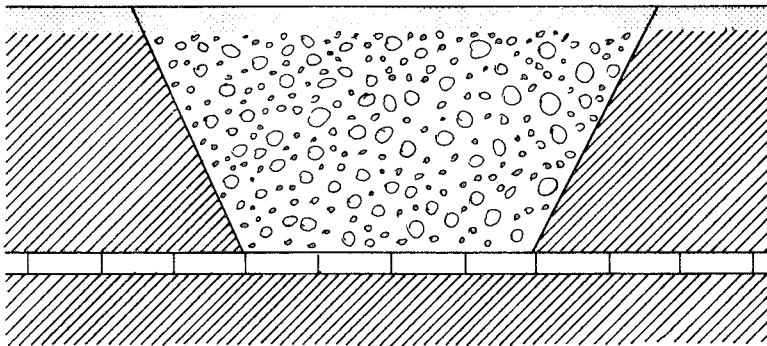


Sl. 6. Tip drenske stepenice izrađene od cijevi

4. ZAHVAT POVRŠINSKIH VODA

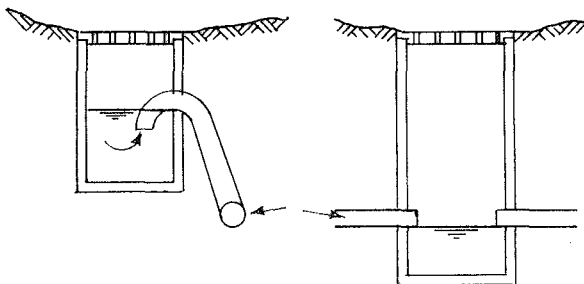
Na dreniranom polju, gdje površinska voda često stagnira, što se redovno događa u depresijama teških tala, moguće je ovaj problem riješiti na dva načina, tj. moguće je te vode uvesti u drenski sustav primjenom dviju vrsta prikladnih građevina, i to:

a) s pomoću tzv. slijepog zahvata koji se sastoji iz šljunčanog ili kamenog nasipa, što se prostire od površine tla do drena, kao što se to dobro uočava na priloženoj skici;



Sl. 7. Zahvat površinskih voda u vidu filtera

b) s pomoću sabirnog okna s perforiranim poklopcem, što u mnogome podsjeća na upojne bunare. Kao što se iz priloženih slika može vidjeti, ima dvije vrste ovih sabirnih okana.



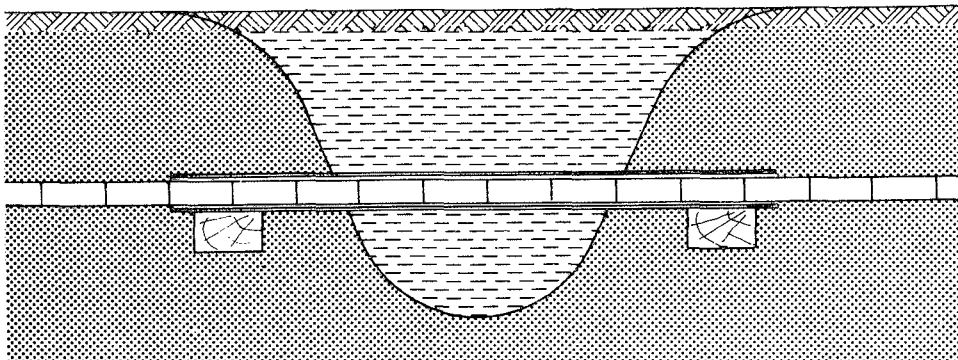
Sl. 8. Zahvat površinskih voda pomoću sabirnih okana

U prvom slučaju okno je položeno bočno od drenskog cjevovoda, a voda se iz okna prebacuje u dren s pomoću obične teglice. U drugom, pak, slučaju okno se upravo nalazi u pravcu drenske cijevi (u osovinu). Treba, međutim, napomneuti da je u oba slučaja poželjno da se okno providi taložnicom za mulj, kako bi se na minimum svela opasnost od začepljenja.

5. DRENSKI PRIJELAZI

Na mjestima gdje drenske cijevi prelaze preko nestabilnog zemljišta, što može biti uzrokovano uslijed recentno nasipanih jaraka ili depresija, odnosno naplavina vodnih tokova, dren može pretrpjeti jača oštećenja, ili mu se niveleta može bitno iskriviti uslijed slijeganja tla.

Preko takvih gnijezda dren se može premostiti s pomoću jednostavne konstrukcije, koja se može sastojati ili iz jednostavne drvene konstrukcije, ili pak iz čelične cijevi u koju se polaže drenska.



Sl. 9. Prijelaz drena preko slabo nosivih gnijezda

Pored opisanih građevina, ponekad se na drenskoj mreži grade i neke druge, kao što su prolazi ispod prometnica (ceste i željeznice), sifoni, teglice i druge. Kako se ove vrste građevina ne pojavljuju baš često i u većem broju, neće se posebno opisivati.

II MATERIJALI ZA IZVEDBU CIJEVNE DRENAŽE

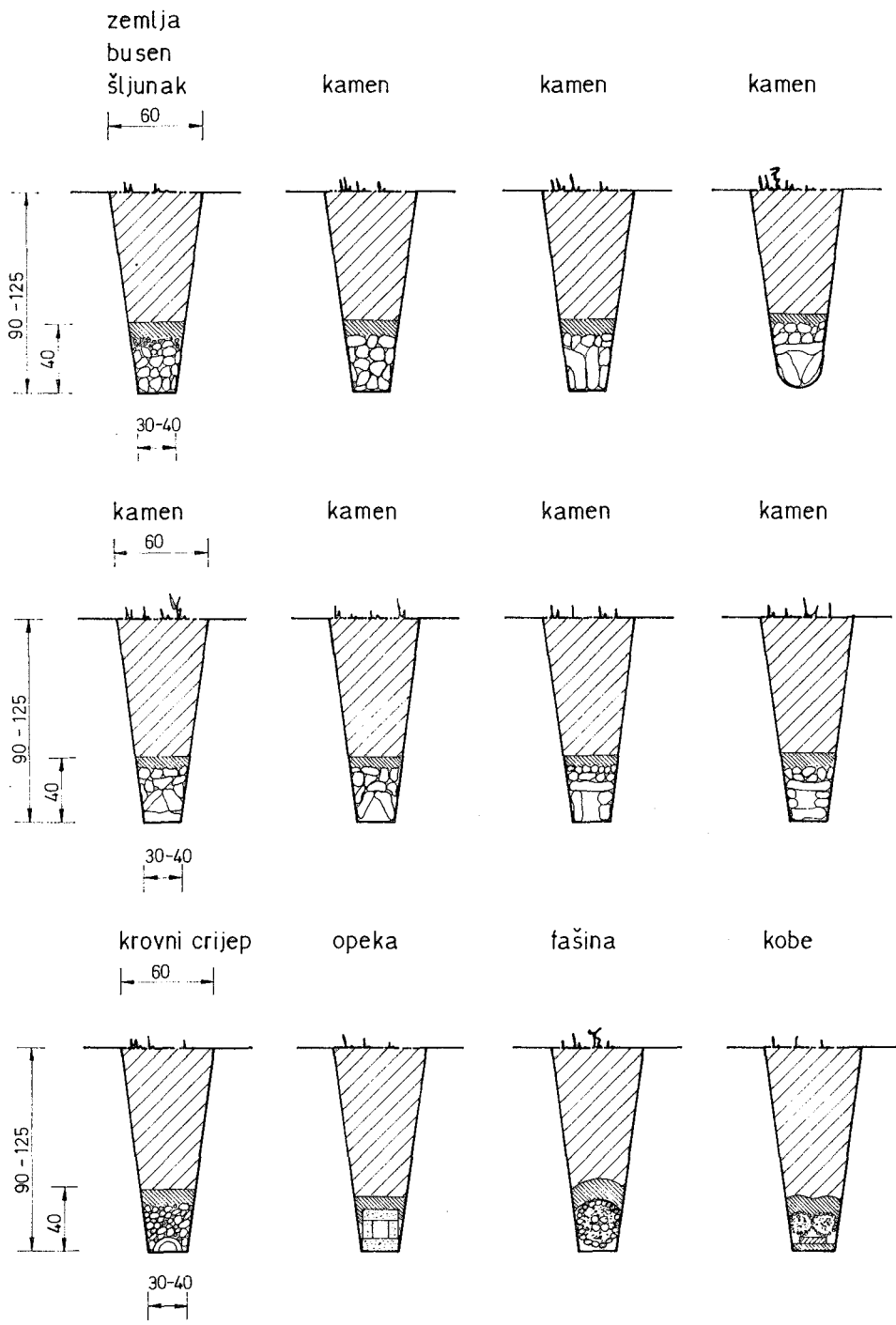
1. UVOD

U procesu izrade projektnih rješenja cijevne drenaže posebno značenje ima izbor odgovarajućih materijala, i to u prvom redu za drenske cijevi i filter. Naime, o izboru i primjeni odgovarajućih ugradbenih materijala oviši hidrauličko funkcioniranje, cijena izgradnje kao i održavanje drenaže, odnosno sustava podzemnog odvodnjavanja. Hidropedološka svojstva tla i zahtjevi suvremene proizvodnje poljoprivrednih kultura uvjetuju osnovne projektno-izvedbene elemente drenaže. Razmatrajući raspoložive pokazatelje u drugim zemljama i kod nas vidljiva je i primjena različitih materijala, čak i za iste projektno-izvedbene elemente drenaže. Kao i u ostalim hidrotehničkim objektima, tako je i u hidromelioracijama evidentna primjena sve suvremenijih i funkcionalnijih materijala. U vezi s korištenjem različitih materijala u drenaži dati su osnovni pokazatelji na slici 1. Od izvedbe prvih drenaža do današnjih dana vidljiva je i primjena raspoloživih materijala — i to prvenstveno ručnim iskopom drenskog rova i ručnom ugradnjom odgovarajućih materijala.

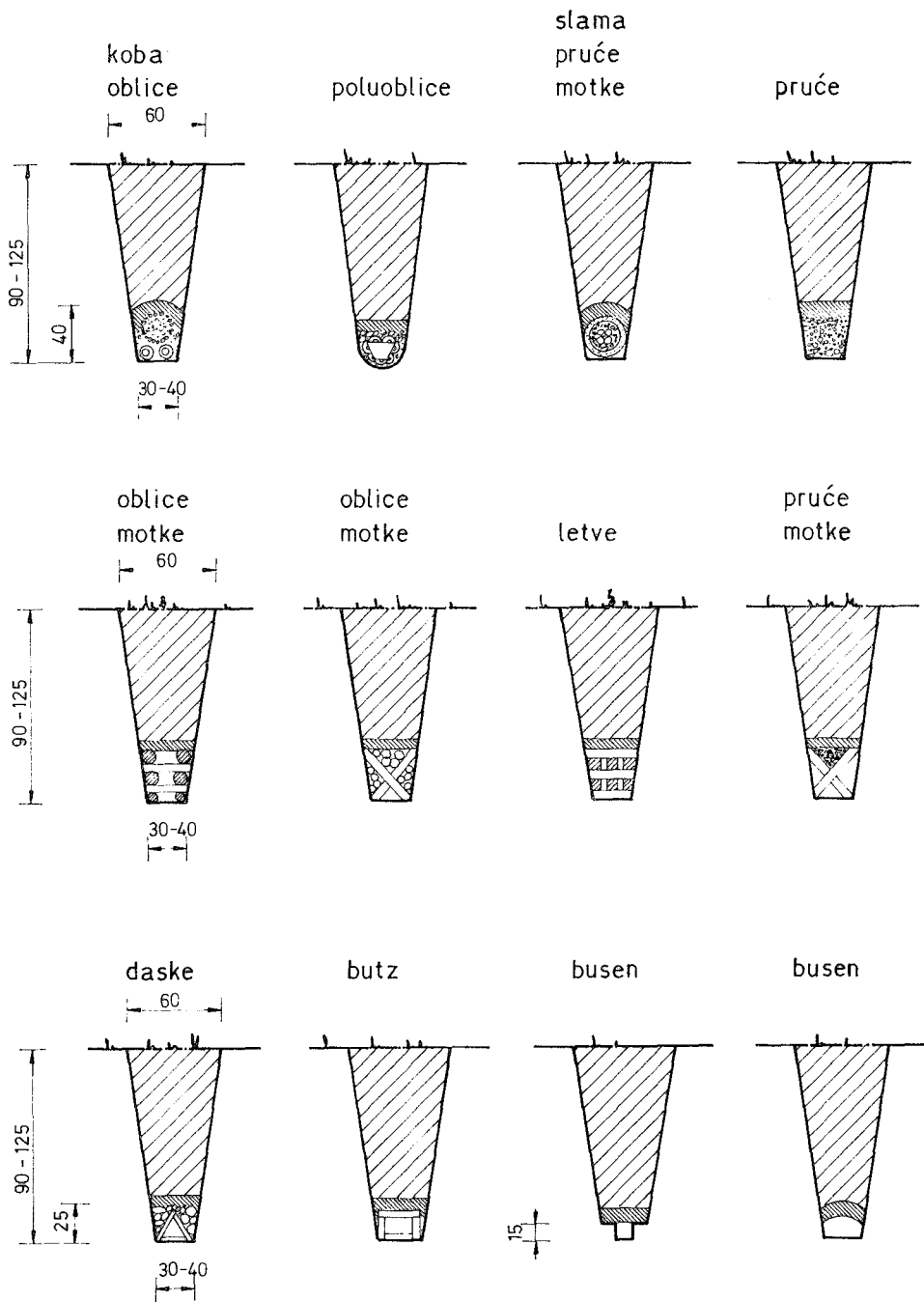
Do konstrukcije i korištenja prvih strojeva za ugradnju glinenih drenskih cijevi i te cijevi su ugrađivane ručno. Proizvodnjom drenskih cijevi od tvrdog polivinil klorida (»PVC«) i konstrukcijom specijalnih strojeva (»drenmasteri«) prestaal je i ručna izvedba drenaže poljoprivrednih zemljišta.

Na slici 1. dati su osnovni pokazatelji izvedbe drenaže od najstarijih vremena i različitih materijala do primjene glinenih i PVC drenskih cijevi, pa nisu potrebna posebna obrazloženja. Međutim, smatra se potrebnim da današnji projektanti, izvođači i korisnici sustava podzemnog odvodnjavanja imaju u vidu i postupni razvoj drenaže kroz primjenu različitih, odnosno raspoloživih materijala. Iako su PVC drenske cijevi dominantne u suvremenoj izvedbi cijevne drenaže, ne smije se zanemariti i daljnja primjena glinenih drenskih cijevi. Pri tome je bitno imati u vidu postojanost glinenih cijevi, s obzirom na odgovarajuće vanjske i unutarnje pritiske i njihov vijek trajanja. Efikasnost i trajnost tih cijevi potvrđena je i kod nas na osnovi raspoloživih pokazatelja prvih sustava drenaže koji su izvedeni u k. o. Nelin-dvor i Brezovica — na melioracijskim područjima kod Donjeg Miholjca i Našica. Detaljni podaci o prvim drenažama izvedenim od 1903. do 1905. god. postoje u knjizi »Melioracije tla« — prof. Stjepana Belle, 1935. god. Promjeri glinenih drenskih cijevi bili su 6 i 9 cm, dužina 33 cm, a dubina ugradnje od 0,80 do 1,10 m.

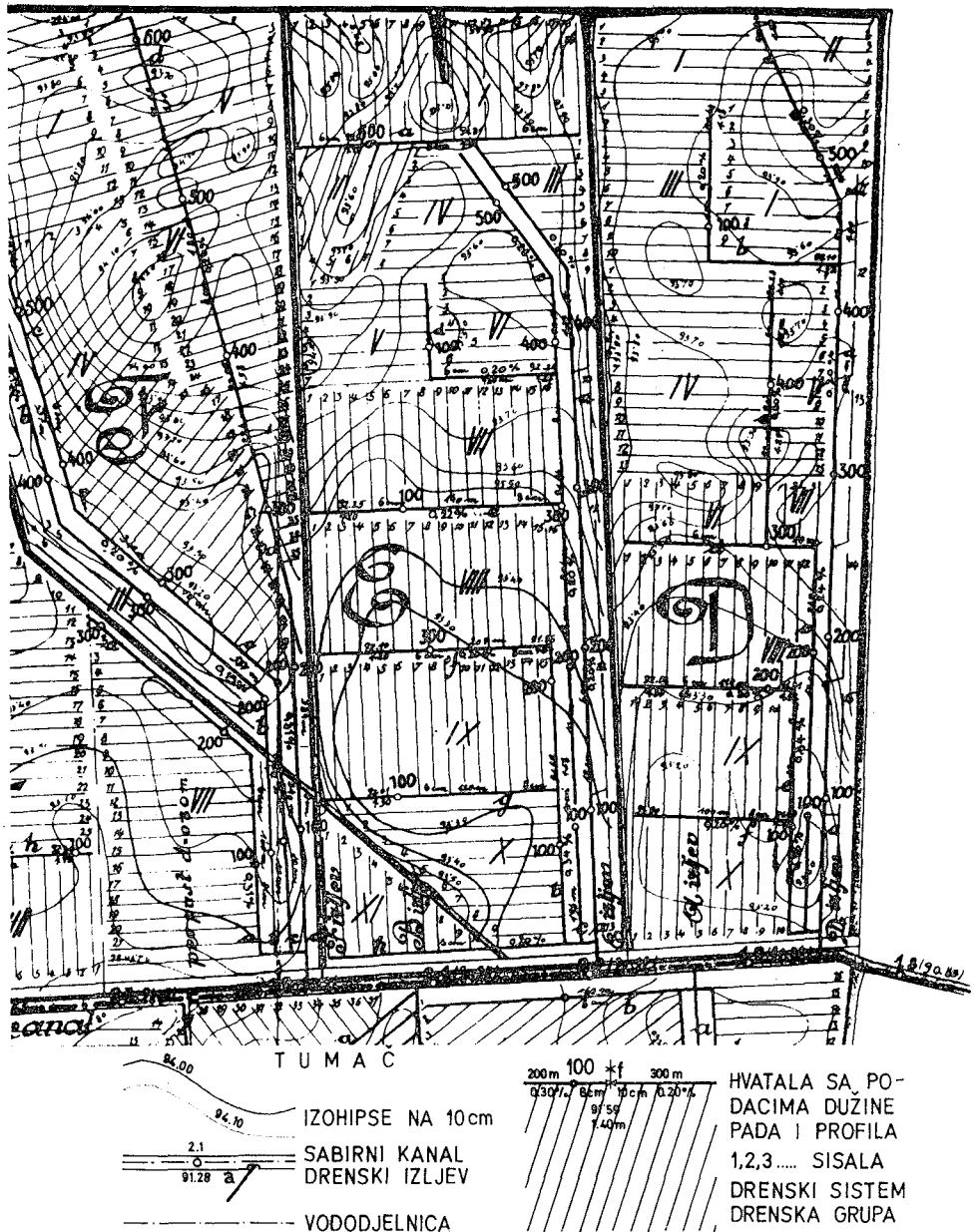
Odgovarajući podaci o projektnim elementima te drenaže dati su na slici 2, pa nisu potrebna posebna obrazloženja. Međutim, treba imati u vidu da je primjena glinenih cijevi i nadalje dijelom prisutna u zemljama s dugom tradicijom izgradnje sustava podzemnog odvodnjavanja (u Engleskoj, Nizozemskoj, Zapadnoj Njemačkoj, Poljskoj, SSSR-u, ČSSR-u).



Sl. 1. a) Karakteristični poprečni profili drenaže s ručnom ugradnjom raznih materijala



Sl. 1. b) Karakteristični poprečni profil drenaže s ručnom ugradnjom raznih materijala



Sl. 2. Situacija dijela projektnog rješenja drenaže od glinenih cijevi u K.O. Brezovica (D. Miholjac) 1903. god.

2. PVC DRENSKE CIJEVI

Primjena PVC drenskih cijevi u zemljama s dužom tradicijom izvedbe cijevne drenaže prisutna je poslije 1965. godine, a kod nas poslije 70-ih godina. To su cijevi koje se proizvode od polivinilklorida. Kod nas te cijevi proizvodi RO »Analit« — Osijek i RO »Minerva« — Žalec. Osnovni pokazatelji PVC drenskih cijevi i odgovarajućih spojnih i ostalih elemenata (»fazonski komadi«) dati su na slici 3. i 4. Bitna svojstva tih cijevi su sljedeća:

- mala specifična težina,
- visoka otpornost prema kemikalijama,
- dovoljna tvrdoća na pritisak i zatezanja,
- elastičnost — savitljivost — fleksibilnost,
- ravnomjerno izrađeni i raspoređeni otvori za vodu (0,75—1,5 mm),
- glatke površine,
- dugi vijek trajanja.

Dosadašnja iskustva potvrdila su navedena svojstva drenskih cijevi i naših proizvođača. Provedbom odgovarajućih ispitivanja potvrđene su karakteristike tih cijevi u skladu sa zahtjevima standarda DIN-1187, a u skladu s podacima datim na slici 3. i 4.

U RO »Analit« — Osijek proizvode se cijevi kao i odgovarajući spojni i ostali elementi promjera od 50 do 200 mm, a u RO »Minerva« — Žalec od 50 do 125 mm. Dužina cijevi jednog koluta je od 40 do 200 m, a zbog male specifične težine olakšava se i ubrzava transport i ugradnja. Dovoljno je navesti da jedan kolut cijevi promjera 50 mm i dužine 200 m teži samo 30 kg. Na taj je način omogućena i znatno brža ugradnja PVC cijevi od glinenih drenskih cijevi. To posebno utječe i na smanjenje ukupnih troškova izvedbe sustava podzemnog odvodnjavanja zbog racionalnijeg korištenja strojeva.

Detaljniji podaci o proizvodnim i ostalim pokazateljima pojedinih promjera PVC drenskih cijevi dati su na slici 3. i 4. Međutim, pored tih pokazatelja bitno je već u fazi izrade projektne dokumentacije imati u vidu i ostale potrebne karakteristike PVC drenskih cijevi — kako u fazi izgradnje tako i u fazi funkcioniranja cijevne drenaže.

Naime, proizvodnja PVC drenskih cijevi kod nas je u skladu sa standardima koji zahtijevaju DIN-1187. S obzirom na sve veću primjenu i potrebu povećanja dreniranih površina neophodna je i izrada domaćih standarda za PVC drenske cijevi. Potrebno je imati u vidu da je do kraja 1985. cijevna drenaža u SFR Jugoslaviji izvedena na 183.500 ha, a od toga u SR Hrvatskoj na 99.140 ha. Samo u SRH na poljoprivrednim površinama ugrađeno je 36.060.495 m² PVC drenskih cijevi (prosječno 363,7 m²/ha). Savezni zavod za standardizaciju pristupio je još 1980. god. prijedlogu izrade standarda pod nazivom »Fleksibilne rebraste drenažne cijevi od replastificiranog polivinil klorida«. Prednacrt standarda je izrađen na osnovi zapadnonjemačkih DIN-1187; francuskih NF U 51-101; britanskih BS 4962 i međunarodnih

ISO/TC 138/WGI (TG 3-2) 184 standarda. Domaći standard obuhvaća četiri osnovna poglavlja:

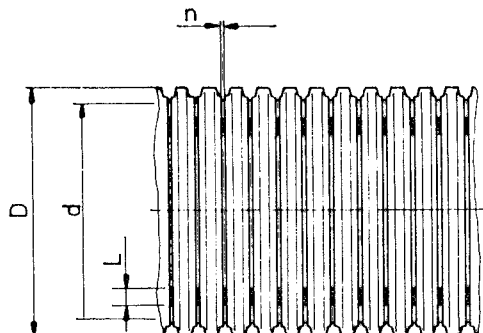
- predmet standarda,
- područje primjene,
- uvjeti kvalitete,
- ispitivanja cijevi te spojnih i fazonskih elemenata.

TEHNIČKI PODACI:

Materijal: Tvrdi PVC

Boja: Žuta

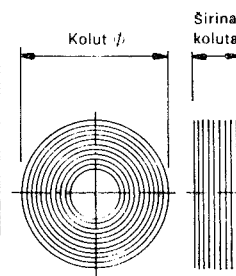
»a« DREN ANALIT
drenažna cijev proizvodi
se po DIN-u 1187.



Promjer \varnothing (mm)	Vanjski \varnothing (D) (mm)	Toleran \varnothing (mm)	Unutar \varnothing d (mm)	Toleran (mm)	Veličina preseka n · L (mm)	Broj redova	Površ otvora za ulaz vode cm^2/m	Dimenzije koluta			
								Dužina koluta	Promjer koluta unut. m	Promjer koluta vanjski m	Širina
50	50,5	+ 0—1,5	43,9	+ 2,0—0	1,2 · 4	6	26	200	0,55	1,20	50
65	65,5	+ 0—1,5	58,0	+ 2,0—0	1,2 · 4	6	28	150	0,55	1,30	50
80	80,5	+ 0—1,5	71,5	+ 2,0—0	1,2 · 4	6	30	150	0,55	1,50	70
100	100,5	+ 0—1,5	91,0	+ 2,0—0	1,2 · 4	6	28	150	0,55	1,90	85
125	126,0	+ 0—2,0	115,0	+ 2,5—0	0,9 · 5	8	61,7	50	0,55	1,90	65
160	160,0	+ 0—2,0	148,5	+ 2,5—0	1,2 · 5	8	64,2	50	0,55	1,90	70
200	200,0	+ 0—2,0	182,0	+ 2,5—0	1,2 · 5	10	108,8	40	0,55	1,80	75

a) Promjeri i otvori cijevi i dimenzije koluta cijevi

Promjer \varnothing - mm	50	65	80	100	125	160	200
Dužina role m	50	50	50	50	50	50	40
Volumen kolut · širina k	96 × 30 cm	100 × 45 cm	130 × 45 cm	150 × 50 cm	160 × 65 cm	200 × 70 cm	210 × 75 cm
Dužina role m	200	150	150	150	50	50	40
Volumen kolut · širina k	126 × 50 cm	150 × 50 cm	160 × 70 cm	200 × 85 cm	160 × 65 cm	200 × 70 cm	210 × 75 cm



b) Dužina i dimenzije koluta

Sl. 3. Osnovni podaci »PVC« drenskih cijevi

PROMJER ø - mm	50	65	80	100	125	160	200			
ø - mm	50	65	80	100	125	160	200			
ø - mm	50	65	80	100	125	160	200			
ø - mm	50	65	80	100	125	160	200			
ø - mm	60/50	80/50	80/65	100/50	100/65	100/80	125/50	125/65	125/80	
ø - mm	125/100	160/50	160/65	160/80	160/100	160/125	200/65	200/80	200/125	
ø - mm	50	65	80	100	125	160	200			
ø - mm	65/50	80/65	100/80	125/100	160/125	200/160				
ø - mm	50	65	80	100	125	160	200			
ø - mm	50	65	80	100	125	160	200			

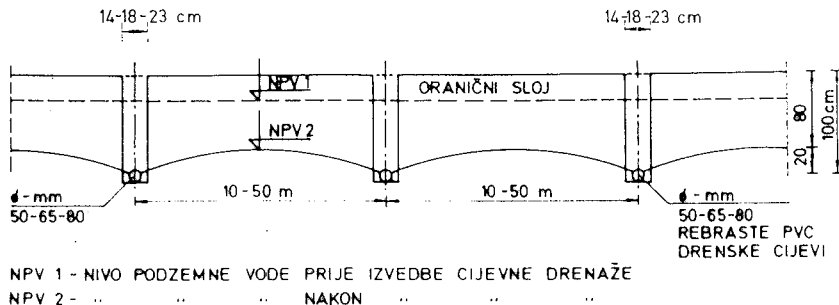
Sl. 4. Spojnice i fazonski elementi »PVC« drenskih cijevi

Vanjski promjeri PVC drenskih cijevi su 50, 65, 80, 100, 125, 160 i 200 mm, a odgovarajući unutarnji promjeri 44, 58, 72, 91, 115, 148 i 182 mm. Perforacije cijevi su širine 0,75, 1,05 i 1,60 mm, a dužine od 1,0 do 25,0 mm. Broj nepravilnih perforacija ne smije biti veći od 5 % od ukupnog broja.

Cijevi trebaju zadovoljiti određene uvjete u pogledu otpornosti prema vanjskom udaru, savijanju, pritisku i vlažnom naprezanju. Pored toga, drenske cijevi trebaju biti otporne na utjecaj atmosferilija i temperature, kako u procesu transporta i skladištenja, tako i nakon ugradnje. U sklopu proizvodnje i isporuke cijevi, pored njihovih osnovnih karakteristika, potrebno je dati i podatke o njihovu ispitivanju i izjavu o kvaliteti s podacima o tome gdje i kada i koje je ispitivanje izvršeno te oznaku standarda po kojem su ispitivanja izvršena.

Na osnovi provedenih ispitivanja kod nas je donijet JUS G.C6.540 pod naslovom »Saviljive rebraste drenažne cijevi od neomekšanog polivinilklorida«, s obaveznom primjenom od 29. VI 1983. god. Dosadašnja ispitivanja drenskih cijevi domaće proizvodnje provedena su u skladu s odredbama propisanim u DIN 1187, a na osnovi toga donijet je i JUS G.C6.540. U sklopu toga obuhvaćena je kontrola kvalitete, odnosno ispitivanja: izgled cijevi, oblik i dimenzije cijevi, masa po duljini, otvori za ulaz vode, udar utegom, savijanje cijevi, deformacija pri tjemenu pritisku, rastezanje cijevi i spoja s udarom (»impuls sile«). Međutim, treba imati u vidu da važeći JUS ne propisuje dimenzije i oblik rebra kao i ispitivanje pribora koji se upotrebljava za izvedbu mreže cijevne drenaže — neophodnih fazonskih komada različitog promjera.

Provedenim ispitivanjem te sistematizacijom i analizom mjerodavnih rezultata i pokazatelja potvrđena je potrebna kvaliteta PVC drenskih cijevi domaće proizvodnje. To je od velikog značenja za daljnje povećanje i kompletan proces izvedbe kao i samog korištenja sustava podzemnog odvodnjavanja poljoprivrednih zemljišta.



Sl. 5. Cijevna drenaža bez filter materijala

U vezi s proizvodnim karakteristikama kao i sa svojstvima u procesu korištenja PVC drenskih cijevi bitno je imati u vidu i racionalnije korištenje strojeva za njihovu ugradnju. Prema raspoloživim podacima za dreniranih 99.140 ha zemljišta prosječno izvršenje rada drenopolagača je 332 m/sat, a kreće se od 223 do 380 m/sat — za ugradnju PVC drenskih cijevi promjera 50 — 65 — 80 mm na dubinu od 0,80 do 1,30 m i bez filter materijala (sl. 5). To je znatno brže nego ugradnja glinenih drenskih cijevi promjera 60 i 90 mm. Podaci se odnose na rad strojeva s »laser uređajem« za kontrolu ugradnje cijevi na projektirani pad i dubinu. Pored toga, potrebno je imati

u vidu i smanjenje te ubrzanje poslova u procesu utovara, transporta, istovara, skladištenja te ugradnje PVC drenskih cijevi — u odnosu na strojnu ugradnju glinenih, a pogotovu betonskih drenskih cijevi.

3. FILTER MATERIJAL

Osnovna svrha filterskog materijala je da u lakšim zemljištima po mehaničkom sastavu spriječi zamuljivanje cijevi, a u teškim — glinovitim omogućući vodi brži ulaz u cijevi. Ugrađivanje filterskog materijala oko drenskih cijevi i iznad njih do ograničenog horizonta sve više se primjenjuje u drugim zemljama i u nas.

Rezultati višegodišnjih istraživanja na nizu pokusnih polja s drenažom od glinenih i PVC drenskih rebrastih cijevi potvrdili su da je u glinovitim zemljištima vrlo korisno ugrađivanje filter materijala u drenski rov — oko cijevi i iznad nje do oraničnog sloja zemljišta. To omogućava bržu i efikasniju odvodnju suvišnih voda iz zone korijena biljaka. Filter produžava radni vijek drenaže, omogućava pravovremenu primjenu suvremene agrotehnike te stvara uvjete za viši i stabilniji stupanj proizvodnje poljoprivrednih kultura.

Prihvatanje drenaže kao rješenja odvodnje suvišnih voda, naročito u glinovitim zemljištima pridonijelo je da se kompleksnije ispituje uloga i potreba primjene filtra. Hidropedološka obilježja posebno su od velikog značenja za donošenje odluke i izbora vrste te načina ugradnje odgovarajućeg filter materijala u procesu dreniranja poljoprivrednih zemljišta.

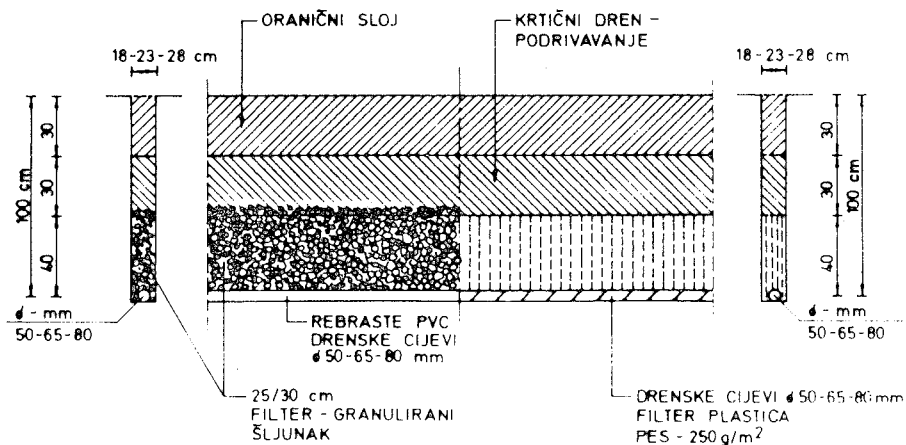
Klasifikacija i izbor filter materijala uvjetovan je njegovom svrhom i funkcijom.

Zaštitni filtri ugrađuju se oko drena u cilju sprečavanja ulaska čestica zemljišta u dren i njegova zamuljenja. Zaštitni se filtri primjenjuju u aridnim područjima gdje funkcioniranje drenaže ovisi o visokom nivou podzemne vode bogate vodorastvornim solima i zemljištima s dominantnim učešćem u mehaničkom sastavu čestica krupnijih od 0,02 mm.

Spojni — kontaktni transferibilni ili hidrološki filtri imaju sličnu ulogu, odnosno da brže odvede suvišnu vodu slabo propusnih tala u zoni djelovanja drena. Imaju naročito veliko značenje za efikasniju odvodnju hidromorfnihi glinovitihi zemljišta koja se nalaze u semihumidnim i humidnim melioracijskim, odnosno poljoprivrednim područjima.

Kao filter u drenaži se koriste slijedeći materijali:

- granulirani šljunak (veličine od 4 do 16 mm) — sl. 6,
- krupnozrnati pijesak,
- drobljeni kamen (veličine od 4 do 16 mm),
- plastica (kod nas LIO plastica PS-250) — sl. 6,
- vlaknasti treset,
- slama (od kokosa i ostale postojeane vrste slame),
- trska, šiblje, fašine,
- tresetna sitnež,
- jelove grančice, iverje, pruce,
- stiropor (»pjenušavi umjetni materijal«),
- poliuretlan.



Sl. 6. Cijevna drenaža s filter materijalom — uzdužni i poprečni presjeci

Kod normalnog zamuljenja djelotvornost filter materijala treba trajati koliko i funkcioniranje sustava cijevne drenaže. Ako se poslije izvedbe cijevne drenaže izvodi bescijevna drenaža ili melioracija tla ispod oraničnog sloja, tada sloj filtra treba biti najmanje 20 cm iznad dubine odgovarajuće melioracije tla, odnosno iznad bescijevne drenaže.

U izboru i primjeni odgovarajućeg filter materijala bitno je da on zadovolji sljedeće funkcije:

- da zadrži čestice zemlje veće krupnoće od 0,02 mm, odnosno da osigura filterski efekt,
- da propušta najsintije čestice zemlje (gline),
- da osigura hidraulični efekt, tj. smanjenje otpora pri ulazu u cijev, propusnost drena s filtrom treba biti najmanje 10 puta veća od propusnosti zemljišta u zoni djelovanja drenske cijevi,
- da omogući biokemijski efekt, odnosno smanjenje ili sprečavanje »zavrtavanja« otvora drenskih cijevi (za ulaz vode).

U izboru i primjeni filtra neophodno je detaljno poznavanje hidropedoloških svojstava tla te ove pojave:

- primarnog zamuljenja koje se javlja nakratko, i to neposredno nakon završetka izvedbe radova, a nastaje u kasnijem djelovanju i korištenju drenaže,
- sekundarnog zamuljenja koje je stalno prisutno u procesu funkcioniranja drenaže.

Prema raspoloživim podacima o dreniranim površinama kod nas, u najvećoj mjeri se kao filter koristi »granulirani šljunak« (frakcije od 4—8—12—16—32 mm) — sl. 6. Međutim, u manjoj mjeri je ugrađivan i drobljeni kamen (odgovarajuće frakcije kao i šljunak) te granulati stiropora.

U posljednje vrijeme evidentna je sve veća primjena filtra od plastice PES-250 g/cm² — kao zaštitni filter omotan oko drenskih cijevi — sl. 6. Značajnija ispitivanja efekta tog filtra provode se od 1968. god. na pokusnim poljima melioracijskog područja »Karašica—Vučica« — odnosno na području općina Donji Miholjac i Našice. Istovremeno su vršena ispitivanja efekta filtra od granuliranog šljunka, i to s kontinuiranom ispunom rova i djelomičnom ispunom drena — po dužini cijevi. Slična ispitivanja provode se na pokusnim poljima Črnc-polja od 1981.

Pri primjeni odgovarajućih filter materijala osnovno je definiranje njihovih hidrauličkih obilježja i efekata koje trebaju zadovoljiti u procesu sniženja i odvodnje suvišnih podzemnih voda s poljoprivrednih zemljišta. Međutim, istovremeno je potrebno imati u vidu i vrednovati i odgovarajuće financijske pokazatelje — nabavne cijene, troškova transporta, utovara, istovara, skladištenja i ugradnje filter materijala. Pri tome je bitno pravovremeno odrediti i mjerodavnu udaljenost od mjesta isporuke do mjesta ugradnje pojedinog filter materijala, vrstu transporta i tehnologiju ugradnje filtra. Jasno da su projektni elementi drenaže od posebnog značenja za izbor i način ugradnje filtra te cijenu izvedbe sustava podzemnog odvodnjavanja — što je obrađeno u drugom radu ove knjige.

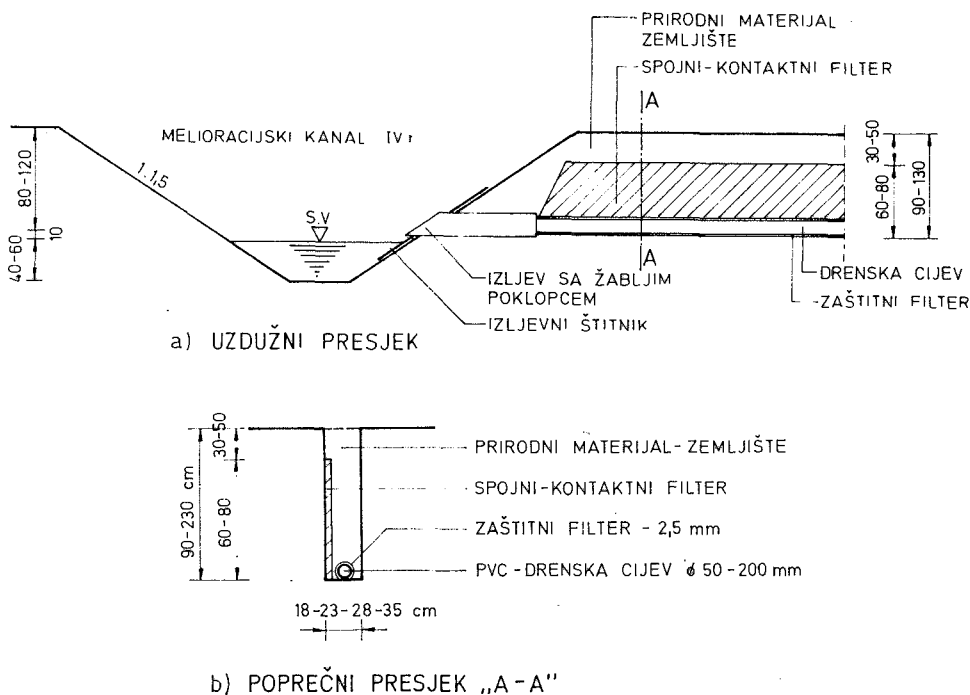
Međutim, pri izboru i načinu ugradnje pojedinih filter materijala te njihovih efekata u procesu korištenja sustava podzemnih odvodnjavanja bitno je imati u vidu sljedeće:

- fizikalna svojstva tla i nastale promjene nakon ugradnje odgovarajućeg filter materijala,
- kemijska svojstva tla,
- retencijski kapacitet tla,
- visina vodnog lica u pjezometrima ugrađenim na dubini drenskih cijevi,
- visina lica u pjezometrima ugrađenim na dubinu sloja tla od površine do 40 cm,
- količina istjecanja vode iz drenova za različite varijante projektnih rješenja i filter materijala
- praćenje agrotehničkih zahvata i primjena zaštitnih mjera te praćenje razvoja poljoprivrednih usjeva,
- praćenje klimatskih i hidroloških obilježja melioracijskih područja,
- praćenje sekundarnih mjera — podrivanje i krtičenje,
- praćenje priroda poljoprivrednih kultura po varijantama projektnih rješenja i vrsti filter materijala,
- praćenje djelovanja otvorene kanalske mreže,
- praćenje odgovarajućih promjena »kretanja« soli u dreniranom zemljištu,
- praćenje i analiza troškova izgradnje i korištenja sustava podzemnog odvodnjavanja, s obzirom na različite varijante projektnih rješenja i filtra cijevne drenaže.

U primjeni filtra od plastice bitno je imati u vidu i zadovoljiti slijedeće pokazatelje i uvjete:

- otpornost pri dugotrajnom ležanju u zemljištu i podzemnoj vodi,
- otpornost pri naizmjeničnom vlaženju i sušenju,
- otpornost na djelovanje mraza,
- otpornost na djelovanje kemijskih spojeva koji mogu biti prisutni u podzemnoj vodi (utjecaj kemikalija, otopina gnojiva, tehnoloških otpadnih voda),
- otpornost na truljenje, djelovanje mikroorganizama i životinja u zemljištu,
- zaštita od djelovanja mikroorganizama,
- dovoljna elastičnost kako u eksploataciji ne bi došlo do oštećenja i promjene strukture,
- neutralnost u pogledu utjecaja na kvalitet drenirane vode,
- dovoljna čvrstoća spoja oko drenskih cijevi zbog potrebe sprečavanja zamuljenja.

Ako se plastika (tekstilni filtri) ugrađuje kao zaštitni filter drenskih cijevi, potrebna debljina je do 2,5 mm — sl. 7. Plastika kao spojni filter treba da bude dovoljne debljine i propusnosti — da prihvati i brzo provede do



Sl. 7. Karakteristični uzdužni i poprečni profil drena s filtrom od »LIO« plastice

drena višak vode iz potpovršinskog sloja ili s površine zemljišta. Filtracione karakteristike plastice trebaju trajno osigurati zaštitu drenskih cijevi od zamuljenja i omogućiti efikasnu odvodnju suvišnih voda.

Osnovne karakteristike »LIO plastice tip 250« su slijedeće:

- širina 240 cm, debljina 2,5 mm, težina 250 g/m² te jačina na kidanje 60 daN po dužini i 40 daN po širini; 80 daN; a jačina na istezanje je 80 daN po dužini i 120 daN po širini (po DIN-53857 B-2).

Plastica treba da ima odgovarajuću čvrstoću na zatezanje u cilju sprečavanja oštećenja pri omotavanju drenskih cijevi s filtrom. Također je potrebno zadovoljiti čvrstoću na probijanje zbog različitih tehnologija ugradnje drenskih cijevi s filtrom od plastice. Postojanost na djelovanje temperaturnih promjena ima posebno značenje, a po važećim propisima potrebnu otpornost treba zadovoljiti za temperature do 70 °C. Konac za namotavanje tekstilnog filtra oko drenske cijevi, i to s preklopom da cijev bude potpuno pokrivena filtrom, treba biti iste trajnosti kao i tekstilni filter.

Za zaštitu drenskih cijevi tekstilnim filtrom najčešće se primjenjuju dva postupka:

a) namotavanje tekstilnog filtra s pomoću specijalnog uređaja (motovilo) na skladištu drenskih cijevi i tekstilnog filtra. Drenske cijevi se poslije namotavanja zaštitnog tekstilnog filtra i njegova fiksiranja koncem ponovo namotavaju u role, nakon toga stavljaju u skladište ili transportiraju i deponiraju na lokaciji ugradnje;

b) namotavanje tekstilnog filtra s pomoću uređaja na drenažnim strojevima u procesu iskopa drenskog rova. Istovremeno s namotavanjem zaštitnog filtra potrebno je i njegovo fiksiranje koncem, a nakon toga slijedi ugradnja drenske cijevi s tekstilnim filtrom.

SOUR »LIO« — Osijek i Institut za vodoprivredu »Jaroslav Černi« — Beograd 1981. god. (nakon provedenih odgovarajućih ispitivanja) izradili su »Privremene posebne tehničke uvjete i normative za primjenu tekstilnih filtera u odvodnjavanju poljoprivrednih zemljišta cijevnom drenažom«. Karakteristični uzdužni i poprečni profil drena sa zaštitnim i spojnim tekstilnim filtrom prikazan je na slici 7.

Kontrola kvalitete tekstilnog materijala za filter cijevne drenaže obavlja se prema odgovarajućim DIN normama i našim privremenim uputstvima, a obuhvaća slijedeća ispitivanja:

- površinska masa filtra (po DIN-5014; g/m²),
- debljina tekstilnog filtra (DIN-53855; mm, debljina se odnosi na ravnomjerno opterećenje 2 kPa),
- debljina »čupavog kovrdžavog« sloja (početne debljine 120 mm, a mjeri se pod pritiskom 0,13 kPa — debljina u komprimiranom stanju pod pritiskom 5,18 kPa),
- koeficijent filtracije određuje se na klasičnom Darcijevu aparatu,
- propusna sposobnost filtra za čestice zemljanog materijala ispituje se posebnim aparatima po metodama »naizmjeničnog« i »turbulentnog« strujanja — s određenim brojem ponavljanja poslije 7, 9, 24, 29 i 34 sata,

- čvrstoća na zatezanje utvrđuje se po DIN-53858 na dinamometrima koji odgovaraju DIN-51220,
- čvrstoća na probijanje ispituje se specijalnim maljem mase 30 kg koji se s visine 2 m pušta da slobodno pada na kružni uzorak filtra (Ø 80 mm) postavljen na podlogu od nabijenog pijeska,
- postojanost na djelovanje temperature utvrđuje se uzorcima 100 × 150 mm koji su u toku 12 sati izloženi temperaturi od 80 °C, a nakon toga se provode ispitivanja na zatezanje i propustljivost za vodu.

Međutim, treba imati u vidu potrebu dorade navedenih privremenih propisa prije nego se izrade stalni normativi za primjenu filtra od plastice i filtra od ostalih materijala.

I pored datih podataka o važećim inozemnim i našim privremenim propisima o drenskim cijevima i odgovarajućim filtrima, potrebno je imati u vidu da je opravdanost primjene odgovarajućih materijala u drenaži moguće potvrditi prvenstveno nakon kontinuiranih i kvalitetnih mjerenja te analiza u procesu funkcioniranja i korištenja drenaže, i to u tlima različitih hidropedoloških obilježja te zahtjeva uzgoja raznih poljoprivrednih kultura.

L I T E R A T U R A :

1. *Bella, S.*, Melioracije tla, Zagreb, 1935.
2. *Eggelsman, R.*, Tehnologija i materijali za drenažu u Saveznoj Republici Njemačkoj, aspekti podzemne melioracije, Vodoprivreda, 56, Beograd, 1978.
3. *Ekl, B.*, Analiza načina dreniranja zemljišta, disertacija, Rijeka — Zagreb, 1977.
4. DIN-1185, Norme za reguliranje vodnog režima u tlu cijevnom drenažom u Saveznoj Republici Njemačkoj, Prijevod s njemačkog, Poslovno udruženje vodoprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb, 1976.
5. *Plamenac, N.*, Filterski materijali u drenaži poljoprivrednih površina, Vodoprivreda, 80, Beograd, 1982.
6. *Zagorec, M., Goršek, T.*, Ispitivanje i kvalifikacija fleksibilnih rebrastih cijevi od neomekšanog polivinilklorida za drenažu, Vodoprivreda, 87, Beograd, 1984.
7. *Rudić, D.*, O novom standardu za plastične drenažne cijevi, Vodoprivreda, 80, Beograd, 1982.
8. *Marušić, J.*, Obim i utjecaj drenaže poljoprivrednih zemljišta u SR Hrvatskoj, Glasnik poljoprivredne proizvodnje, 5, Beograd, 1986.
9. *Pavlič, F.*, Informacija o pokusno-drenažnim sistemima s odvodnjom suvišnih voda s poljoprivrednog zemljišta, VRO »Sava« — Zagreb, 1986.
10. SOUR »ANALIT« — Osijek, Rebraste i savitljive cijevi za drenažu, Osijek, 1985.
11. SOZD »HMEZAD«, MINERVA, Žalec, Drenske cijevi i spojni elementi, Žalec, 1986.
12. SOUR »LIO«, Osijek, Materijali za građevinarstvo i poljoprivredu, Osijek, 1986.
 - a) Ispitivanja oko primjene plastice u drenaži poljoprivrednih površina, 1981.
 - b) Privremeni posebni tehnički uvjeti i normativi za primjenu tekstilnih filtera u odvodnjavanju poljoprivrednih površina cijevnom drenažom, 1981. — u suradnji s Institutom za vodoprivredu »Jaroslav Černi« — Beograd, 1981.

SISTEMI DETALJNE ODVODNJE ZA REGULIRANJE SUVIŠNIH VODA U TLU

Prof. dr FRANE TOMIĆ, dipl. inž. agr.

1. UVODNE NAPOMENE

Od početka agrikulture pa sve do današnjih dana poljoprivredni proizvođač — korisnik tla se manje ili više sukobljavao s problemom vode na proizvodnoj površini i u tlu. Njezino neravnomjerno pritjecanje iz atmosfere ili drugog izvora bio je povod za traženje rješenja — kako pravovremeno odstraniti suvišne vode, ili, suprotno od toga — naknaditi nedostatak vode u tlu, tako da se udovolji zahtjevima biljke za fiziološki aktivnom vodom. Dosadašnja i današnja znanost i praksa u poljoprivredi traže efikasna rješenja u reguliranju vodo-zračnog režima tla. Ostvarivanje stabilne i visoke biljne proizvodnje na većem dijelu obradivih površina u nas ovisi o uspješnom reguliranju prisutnih suvišnih voda. Suvišne vode ne samo da uvjetuju nepovoljne vodo-zračne odnose u tlu, već su suviše vlažna tla hladnija, teža za obradu i imaju smanjen kapacitet fiziološki aktivne vode. Prema tome, osnovni cilj reguliranja suvišnih voda tla je osiguranje optimalne vlažnosti u zoni rizosfere kroz cijelo vegetacijsko razdoblje. Pri optimalnoj vlažnosti tla osigurana je i potrebna količina zraka u tlu i tada je (što se tiče potrebe biljaka) odnos vode i zraka najpovoljniji. U vezi s tim su ostvareni i ostali faktori rasta i razvoja poljoprivrednih kultura — prvenstveno toplina i mineralne tvari u tlu. Za reguliranje suvišnih voda u tlu primjenjuje se sistem odvodnje u kojem detaljna odvodnja ima značajnu ulogu. Mjere detaljne odvodnje primjenjuju se uz uvjet da je riješena obrana od vanjskih voda (poplava), da je osigurana osnovna odvodnja (oplav i osnovna odvodna mreža) i da su uređene proizvodne površine.

2. PROBLEMI KOJI NASTAJU OD SUVIŠNIH VODA

Štete u biljnoj proizvodnji, koje nastaju od suvišnih voda, mogu biti ogromne. One čine loše uvjete za uzgoj biljaka općenito, izravno utječu na smanjenje prinosa i otežavaju ili, čak, onemogućavaju izvođenje agrotehničkih zahvata koje treba pravovremeno izvršiti. Kao primjer može se istaknuti da se u Slavoniji i Baranji, u pojedinim godinama, uslijed suvišne vode ne uspije obraditi, odnosno posijati čak 30 % površina. Isto se tako prosječno godišnje ne uspijeva pobrati usjev na oko 7 % zasijanih površina. Problemi i štete koje nastaju u poljoprivredi mogu se nazrijeti i podatkom da je u našoj zemlji (a isto tako i u SR Hrvatskoj) zbog suvišnih voda nesigurna biljna proizvodnja na gotovo 70 % obradivih površina.

3. OBLICI I PORIJEKLO SUVIŠNIH VODA

Suvišne vode mogu biti površinske i potpovršinske.

3.1. Suvišne površinske vode

Prema porijeklu mogu biti oborinske ili vlastite i vode koje dolaze sa strane. Oborinske ili vlastite vode potječu od oborina koje padnu na proizvodnu površinu. Voda koja dolazi sa strane potječe iz susjednih područja i vodotoka. S viših susjednih područja može se voda površinski ili kroz tlo slijevati na proizvodne površine, a iz vodotoka nailaziti pojavom poplava. U nizinskim područjima gdje je površina ravna ili je u obliku depresije, a tlo je slabije propusnosti, voda može periodično ili stalno stagnirati na površini. To su uglavnom močvarna tla, a ima ih samo u SR Hrvatskoj više od 100.000 ha. U zoni korijenova sistema ovih tala prevladavaju anaerobni uvjeti, pa je na njima otežan, ili, bolje rečeno, onemogućen uzgoj poljoprivrednih kultura.

3.2. Suvišne potpovršinske vode

Ove vode saturiraju tlo periodično ili trajno iznad vrijednosti poljskog vodnog kapaciteta. Prevlaživanje može biti u dijelu ili u cijelom profilu. Po porijeklu suvišne potpovršinske vode mogu biti također oborinske ili vlastite i vode koje nailaze sa strane. Međutim, treba razlikovati dvije grupe ovih voda:

- stagnirajuće suvišne vode,
- podzemne vode.

3.2.1. Stagnirajuće suvišne vode

Stagnirajuće suvišne vode pojavljuju se iznad slabije propusnog sloja tla koji se nalazi blizu površine terena na hidromorfim tlima. Ove vode su karakteristične za pseudoglejna tla, epiglejna i amfiglejna tla kojih ukupno ima u SR Hrvatskoj oko 1,300.000 ha.

Stagnirajuće vode iznad slabije propusnog sloja uglavnom se pojavljuju u zoni rizosfere. S obzirom na to da suvišna voda najčešće ispunjava sve pore tla, dolazi do redukcijskih procesa (spojevi željeza i mangana prelaze iz trovalentnih u dvovalentne oblike koji su topovi u vodi), koji utječu, ne samo na promjenu boje tla, već su nepovoljni za strukturu tla i za samu biljku. Ova vlažna faza (redukcijski procesi) iz zimskog razdoblja izmjenjuje se sa suhom fazom, koja se pojavljuje u ljetnom razdoblju (posebno u pseudoglejnim tlima). U suhoj fazi prevladavaju oksidacijski procesi. Željezo i mangan izlučuju se kao rđaste mrlje, pa tlo dobiva mramorasti izgled. Izmjena vlažne i suhe faze utječe na formiranje tala s različitim svojstvima. Osnovni cilj melioracija ovih tala je odvođenje suvišne vode iz korijenova sistema biljke. Time se regulira vodo-zračni režim u tlu i onemogućavaju posljedice prekomjerne vlažnosti tla, odnosno izmjene vlažnih i suhih faza. Uz odvođenje suvišne vode potrebno je izvršiti proračunavanje propusnog sloja tla. Time se ostvaruju veća prozračnost, propusnost i veći kapacitet pristupačne vode za biljke u zoni rizosfere. U sklopu ovih melioracija primjenjuje se i kalcifikacija (dodavanje kalcija) i dodavanje organske tvari u svrhu poboljšanja fizikalnih i kemijskih svojstava tla.

3.2.2. Podzemne vode

Podzemne su vode slobodne vode koje ispunjavaju sve pore u tlu, tj. saturiraju tlo do maksimalnog kapaciteta tla za vodu. Ovdje se misli na slobodnu vodu ispod površine tla, a ne na vodu koja je na većoj dubini ili pod tlakom (artešku vodu). Ovako definirana podzemna voda se često pojavljuje ili je čak stalno prisutna u nekim tlima poljoprivrednih površina. Pojava podzemne vode nedaleko od površine terena uvjetovana je prisustvom sloja, koji je zbog malog volumena pora ili malih dimenzija pora (glina) nepropusan za vodu. Nakon saturiranja površinskog sloja tla sva voda koja dolazi kod oborina ili pritječe sa strane (iz bližeg vodotoka ili uzvišenog terena) procjeđuje se kroz makropore do nepropusnog sloja i popunjavajući sve pore formira podzemnu vodu. Ovisno o specifičnim uvjetima, dubina njezine razine može biti različita. U našim nekim područjima dospijeva i do površine tla, pa je riječ o podvodnom terenu. Osim toga, dubina podzemne vode i tokom godine može znatno oscilirati. Na promjene njezine razine direktno ili indirektno neminovno utječu količine i raspored oborina. Na površinama riječnih dolina — u aluvijalnim tlima fluktuira, ovisno i o razini vode u postojećem vodotoku. U semiglejnim tlima (livadsko tlo) podzemna se voda uglavnom nalazi ispod 1 m dubine, te često utječe na prevlaživanje zone rizosfere. U ritskoj crnici (humoglej) cijeli je profil tla (sve do površine) saturiran podzemnom vodom. U drugom dijelu godine voda se povlači i spušta ispod 1 m. Isto tako, prevlaživanje rizosfere vrši se visokom razinom podzemne vode na hipoglejnim i amfiglejnim tlima. Ako se razina podzemne vode nalazi u neposrednoj blizini površine tla, tada može doći u pitanje uzgoj kulturnog bilja. U tom slučaju dolazi do djelomičnog ili čak potpunog nedostatka zraka u zoni korijena. To dovodi do anaerobnih uvjeta i biljke teže vegetiraju ili ugibaju. Prema tome, za uspješan uzgoj kulturnih biljaka potrebno je melioracijskim mjerama osigurati razinu podzemne vode ispod granice koju uzgajane kulture toleriraju. Naime, zamočvarivanje se pojavljuje kada razina podzemne vode u tlu dostigne dubinu koja je nepovoljna za uzgajane kulture. U tom slučaju, iz tog dijela rizosfere, voda istiskuje zrak i dolazi do nedostatka kisika, odnosno do promjena u biokemijskim procesima i razgradnji organske tvari. U vezi s tim, hranjivi elementi u tlu ne prelaze u biljkama pristupačne oblike, već u oblike koje biljke ne mogu koristiti ili su štetni za biljke. Zbog toga se korijenov sistem slabije razvija, biljke zaostaju u razvoju ili ugibaju. Osim toga, prisustvo podzemne vode iznad tolerantne granice uvjetuje pogoršanje fizikalnih, kemijskih i mikrobioloških svojstava, koja također ograničavaju mogućnost uzgoja poljoprivrednih kultura, pa je radi njihova melioriranja neophodno primijeniti hidrotehničke i agrotehničke mjere. Tla u kojima se nalazi previsoka razina podzemne vode ne mogu se često puta na vrijeme ili u pojedinim godinama primjenom agrotehničkih mjera uopće pripremiti i zasijati, pa je već početkom vegetacije proizvodnja neuspjela. Općenito se smatra da najpliću podzemnu vodu toleriraju livade i pašnjaci, i to na dubinu 20—30 cm. Neke povrtlarske kulture (luk, rajčica, grah, krumpir) dobro podnose podzemnu vodu na dubini 50—60 cm. Većina ratarskih kultura (žitarice) toleriraju podzemnu vodu na dubini 110—120 cm. Pri uzgoju voćarskih kultura podzemna voda treba biti ispod 150 cm. Ako se zona rizosfere vlaži kapilarnim putem od podzemne vode, u tom je slučaju vrlo značajan odnos vode i zraka u

području korijenova sistema. Ovaj odnos može se izraziti s pomoću »poroznosti aeracije«:

$$A = P - K_v$$

A = poroznost aeracije u vol. %

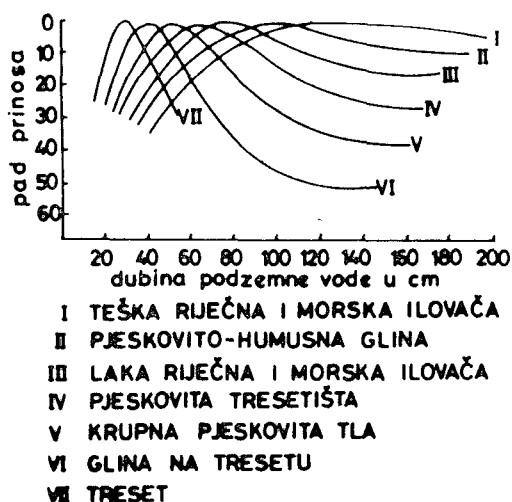
P = ukupna poroznost u vol. %

K_v = kapilarna vlažnost u vol. %.

Poznato je da su tla, koja imaju poroznost aeracije iznad 10 vol. %, dobro aerirana. Od 10—6 vol. % slabo su aerirana, a na tlima koja imaju poroznost aeracije ispod 6 % uzgoj mnogih poljoprivrednih kultura dolazi u pitanje. Vrijednost poroznosti aeracije tla ovisi, osim dubine podzemne vode, u znatnoj mjeri i o svojstvima tla. Istraživanja Miloševa (1967) pokazala su da je tlo Novosadskog rita i pored dubine podzemne vode na svega oko 50 cm, dovoljno aerirano u cijeloj dubini (do 50 cm) uz prosječnu poroznost aeracije oko 18 vol. %. Ovo je rezultat zaoravanja površinskog sloja bogatog humusom (10—12 %) i činjenice da je tlo lakšeg mehaničkog sastava pa je kapilarno vlaženje manje izraženo, a veće dimenzije pora u tlu su uvjetovale povoljniju poroznost aeracije i iznad same razine podzemne vode. Na drugom lokalitetu, dubina podzemne vode bila je na oko 85 cm, a povoljna aeracija (oko 14 vol. %) samo u sloju tla do oko 50 cm dubine. Na oba lokaliteta su ostvareni dopri ratarskih kultura. Međutim, Marjanov i Vučić (1981) iznose da je u Mošorinskom ritu na težem tlu, pri dubini podzemne vode na oko 60 cm, poroznost aeracije (do 40 cm dubine) bila svega 3—4 vol. %, pa je došlo do gušenja biljaka suncokreta. S obzirom na to da se veći dio naših hidromorfnih tala nalazi kroz cijelu vegetaciju ili u nekim njezinim razdobljima, naročito u kišovitim godinama, pod utjecajem visoke razine podzemne vode, na njima je nepovoljan vodo-zračni režim i ograničena biljna proizvodnja. U cilju poboljšanja aeracije u tim tlima prvenstveno je potrebno, primjenom mjera detaljne odvodnje (uglavnom sistemom cijevne drenaže), sniziti dubinu podzemne vode ispod njezine tolerantne dubine.

O utjecaju dubine podzemne vode na prinos pojedinih poljoprivrednih kultura, kao i o reguliranju visoke razine podzemne vode do danas je proveden znatan broj istraživanja. Značajna su istraživanja Vissera (1958) u Nizozemskoj (slika 1). Kod svake od 7 klasa tla dolazi do rasta prinosa pri povećanju razine podzemne vode do određene granice. Ova granica ili optimalna dubina podzemne vode, pri kojoj se ostvaruju najveći prinosi, sve je veća što su tla sitnijeg teksturnog sastava (optimalna dubina je puno manja na klasi VII — treset u odnosu na klasu I — teška riječna i morska ilovača). Nakon toga prinos opada s povećanjem dubine vode, s tim da krivulja o smanjenju prinosa naglije pada što su teksturne čestice tla krupnije. Objasnjenje za ovakav odnos nalazi se u tome da pri plitkoj podzemnoj vodi biljke trpe od nedostatka kisika, dok pri dubokoj razini pad prinosa uzrokuje manjak vode u zoni rizosfere. Da krupno teksturna tla zahtijevaju pliću razinu podzemne vode u odnosu na tla s finom teksturom, potvrđuju i podaci Feddesa (1971). Po njemu, optimalna dubina podzemne vode za pjeskovita tla iznosi 60—90 cm, a 100—150 cm za glinasta tla. Osim toga, značajni su kultura i klimatski uvjeti. To je logično, jer biljke s plitkim korijenom

podnose ili im odgovara plića razina podzemne vode, a obratno od toga je s biljkama koje imaju razvijeni korijen. Williamson i Kriz (1970) navode odnos prinosa određenih poljoprivrednih kultura i dubine podzemne vode (tabela 1). Podaci pokazuju da pojedine kulture (trave i djeteline) postižu najveće prinose pri plitkoj razini podzemne vode (čak, samo pri 15 cm ispod površine tla), dok neke kulture kao što su: žitarice, graašk, grah i šećerna repa, ostvaruju najveći prinos pri dubini podzemne vode od 150 cm. Ovi su



Sl. 1. Utjecaj dubine podzemne vode na prinos, ovisno o vrsti tla

rezultati dobiveni u eksperimentu gdje su održavane konstante dubine podzemne vode. Međutim, Sieben (1964) je ukazao na utjecaj visoke fluktuirajuće podzemne vode, iz razdoblja listopad—travanj, na prinose ozimih i jarih kultura. Pri vrijednosti SEW_{30} od 100—200 prinos žitarica opada.

$$SEW_{30} = \sum_{i=1}^n (30 - X_i).$$

Dakle, Sieben je proračunao tzv. SEW_{30} vrijednost, uzimajući da je tolerantna dubina podzemne vode 30 cm, a X_i dnevna dubina vode manja od 30 cm u razdoblju listopad—travanj. Znači da je SEW_{30} vrijednost u stvari zbroj vrijednosti prekoračenja granične dubine od 30 cm. Rezultati Tomića et al (1977) su pokazali da je vrijednost SEW_{30} za površine na području Vinkovaca iznosio više od 200, dok je u proljetnom periodu ovaj broj još i veći, a time je za proljetne kulture situacija izrazito nepovoljna. Iz ovog kraćeg prikaza jednog dijela literature o problemu podzemne vode, može se uočiti da prvenstveno fizikalne karakteristike tla, zatim klimatski uvjeti i vrsta kulture utječu na dozvoljenu (tolerantnu) dubinu podzemne vode. U svakom slučaju potrebno je poznavati dozvoljenu dubinu podzemne vode kako bi se uspješno regulirala primjenom adekvatnih mjera detaljne odvodnje. Danas se smatra da je cijevna drenaža, kao sistem općenito, najefikasnija za regu-

Tabela 1.

RELATIVNI PRINOS KULTURA U % PRI RAZLIČITIM DUBINAMA PODZEMNE VODE
(PREMA WILLIAMSONU I KRIZU)

Kultura	Tlo	Vlaženje	Dubina podzemne vode u cm											
			15	30	40—50	60	75	90	80—120	120	150			
Pšenica	glina	kombinirano	—	—	58	77	89	95	—	—	—	—	—	100
Ječam	glina	kombinirano	—	—	58	80	89	95	—	—	—	—	—	100
Zob	glina	kombinirano	—	—	49	74	85	95	—	—	—	—	—	100
Bijela djetelina	ilovača	kombinirano	100	97	88	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Trave	ilovača	podzemno	100	90	92	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Lucerna	pjeskovita ilovača	kombinirano	—	—	—	100	—	—	—	—	—	—	97	—
Kukuruz	zamuljena glinasta ilovača	kombinirano	45	55	67	70	—	100	—	—	—	—	—	—
Grašak	glina	kombinirano	—	—	60	90	—	100	—	—	—	100	100	100
Grah	glina	kombinirano	—	—	79	84	—	90	—	—	—	94	100	100
Soja	pjeskovita ilovača	podzemno	64	63	78	100	86	—	—	—	—	—	—	—
Rajčica	pjeskovita ilovača	kombinirano	9	28	47	60	—	100	—	—	—	—	—	—
Šećerna repa	glina	kombinirano	—	—	71	84	—	92	—	—	—	97	100	100
Uljana repica	glina	kombinirano	—	—	77	93	—	94	—	—	—	100	98	98

liranje visoke razine podzemne vode. U posljednjim godinama i u našoj su zemlji provedeni eksperimenti i objavljeno je više radova koji su razmatrali sisteme reguliranja prekomjerne vlažnosti tla a osobito reguliranje visoke razine podzemne vode (Plamenac i Timarić, 1967; Plamenac, 1973; Pejović, 1974; Tomić, 1976; Milošev, 1977; Stojšić, 1977; Vlahinić, 1971. i 1976). Istraživanja Tomića et al (1977), Plamenca i Uzelca (1977), Tomaša i Tomića (1977), Tomića i Marinčića (1979), Tomića et al (1985) pokazala su da se uređenje vodnog režima tla, na hidromorfnim tlama gdje je prisutna podzemna voda, najefikasnije rješava primjenom detaljne odvodnje sistemom cijevne drenaže. Ako je podzemna voda, koja se nalazi na neposrednoj dubini, slana, to još više otežava mogućnost uzgoja kultura. Naime, u tom slučaju dolazi do pojave zaslanjivanja tla u zoni rizosfere, što je znatno štetnije od pojave zamočvarivanja. Međutim, taj problem razmotrit će se u posebnom radu ovog priručnika.

4. RJEŠAVANJE PROBLEMA SUVIŠNIH VODA

Danas općenito vlada mišljenje da povećanje poljoprivredne proizvodnje najviše ovisi o poboljšanju vodo-zračnih svojstava na anormalnim ili defektnim tlama. Ovih tala s manjim ili većim ograničenjima za biljnu proizvodnju — u našoj zemlji ima oko 9,8 milijuna hektara (Mihalić et al, 1980), a u SR Hrvatskoj više od 2 milijuna hektara (Tomić, 1981). To su uglavnom hidromorfna tla kod kojih prisustvo suvišnih voda čini najveći faktor ograničenja. Za reguliranje suvišnih voda (površinskih, stagnirajućih i podzemnih) potrebno je primijeniti više mjera:

- obrana površina od vanjskih voda,
- osiguranje oplavi,
- osnovnu odvodnju,
- detaljnu odvodnju.

Navedene melioracijske mjere potrebno je izvoditi pojedinačno ili u raznim međusobnim kombinacijama — ovisno o stvarnim prilikama poljoprivrednih površina na kojima se namjerava izvršiti reguliranje suvišnih voda.

Budući da su se obrana površina od vanjskih voda, osiguranje oplavi, osnovna odvodnja, kao i aglomeracijske mjere, razrađivale u radovima ovog priručnika (u prošlom i ovom broju), u ovom radu razmatraju se samo problemi vezani za detaljnu odvodnju.

5. DETALJNA ODVODNJA

Nakon osigurane obrane od vanjskih voda i osigurane oplavi, moguće je efikasno riješiti problem vlastitih suvišnih voda izvođenjem sistema osnovne i detaljne odvodnje na proizvodnim površinama. Osnovnu odvodnju čine najčešće otvoreni kanali I i II reda, a rjeđe zatvoreni kolektori. Detaljnu odvodnju čine hidrotehnički i agromelioracijski zahvati koji se izvode na proizvodnim jedinicama ili tablama u svrhu reguliranja vodo-zračnog režima tla u zoni korijenova sistema.

Detaljna odvodnja može biti:

- površinska,
- podzemna,
- kombinirana.

5.1. Površinska detaljna odvodnja

Površinska detaljna odvodnja je najstariji način za reguliranje suvišnih voda tla. Postoje dokazi da su je primjenjivali i stari Rimljani (Matković, 1971). Osnovna svrha ovog načina odvodnje je da višak oborina sakupi i što prije odvede u sistem (kanale) osnovne odvodnje. Primjena površinske detaljne odvodnje posebno je značajna na tlima s težim teksturnim sastavom. Naime, ova tla imaju nepovoljan odnos mikro i makro pora, te imaju slabu propusnost tla, pa se pojavljuje suvišna površinska i stagnirajuća voda u zoni rizosfere. Sakupljanje i odvođenje suvišnih površinskih voda s proizvodnih površina je neophodno, jer preplavlivanje tla, u bilo kojoj fazi razvoja biljke, nepovoljno utječe na prinose. Ako voda duže stagnira (preplavljuje površinu), prinosi se smanjuju adekvatno izrazu po Kostjakovu (citirano po Matkoviću, 1971):

$$Y = (10 - T)^2$$

Y = prinos žitarica u postocima

T = trajanje preplavlivanja usjeva u danima.

Prema tome, ako se žitarice preplave vodom kroz 48 sati, prinos se smanjuje na oko 60 %, dok pri višednevnom preplavlivanju (8—10 dana) prinosa gotovo niti nema. Zbog toga se smatra da je nužno suvišne površinske vode odvesti u roku od 12 sati nakon njihove pojave.

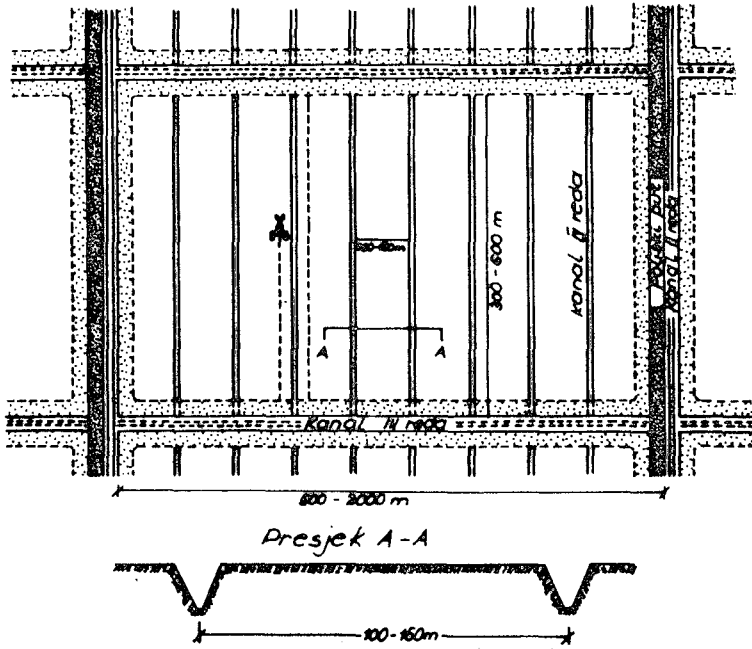
Postoji više načina površinske detaljne odvodnje, a najčešće su se primjenjivali sistemi: srednje duboki kanali, baulacija i random sistemi.

5.1.1. Sistem srednje dubokih kanala

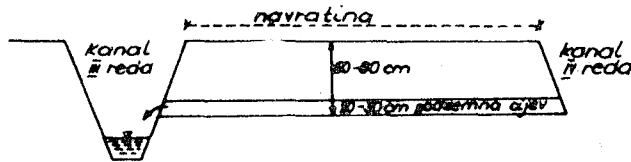
Sastoji se od mreža kanala III i IV reda. Kanali III reda su dužine 500—2000 m, a razmaknuti su 300—600 m. Oni se ulijevaju u sistem osnovne odvodnje (kanale II reda). Kanali IV reda dugi su 300 m, a razmaka su svega 100—150 m (slika 2). Dubina ovih detaljnih kanala (IV reda) je oko 1,2 m. Zbog boljeg korištenja mehanizacije formiraju se »navratine« čija je širina 12—16 m. Ispod navratine, koja se obrađuje i služi za prolazak strojeva, postavlja se cijev promjera do 25 cm za izlivanje kanala IV reda u kanal III reda (slika 3). S obzirom na to da ovaj sistem ne zahtijeva dublju kanalsku mrežu za reguliranje suvišnih površinskih voda, a i dodatne agromelioracijske mjere nisu neophodne, jeftiniji je od ostalih sistema. Međutim, nedostaci su ovog sistema što smanjuje obradivu površinu, što se ne može primijeniti na svim tlima, što ga je teže, a time i skuplje, održavati, pa se sve manje primjenjuje u praksi.

5.1.2. Sistem baulacije

Prije dvadesetak godina ovaj sistem detaljne odvodnje puno se primjenjivao za reguliranje suvišnih površinskih voda. Moguće ga je primijeniti na



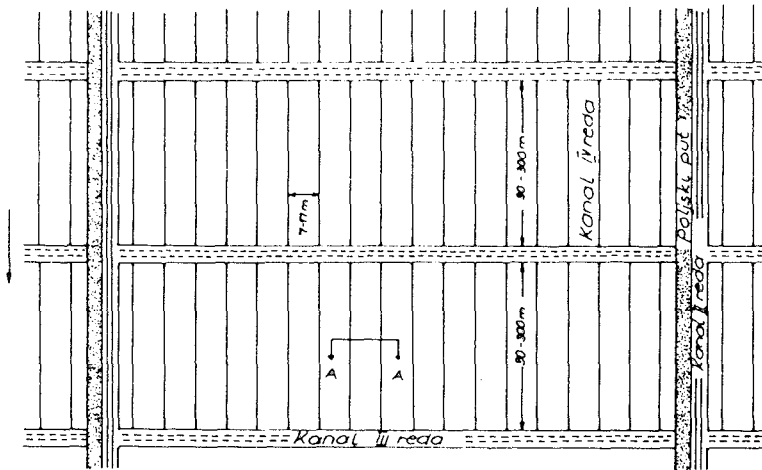
Sl. 2. Sistem srednje dubokih kanala



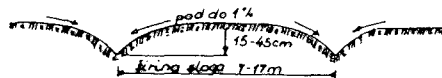
Sl. 3. Presjek podzemnog propusta iz kanala IV reda u kanal III reda

tlima težeg i teškog teksturnog sastava, gdje je prirodni nagib površine nedovoljan za uspješno otjecanje suvišne oborinske (površinske) vode. Bauliranje tla je, u stvari, »napinjanje zemljišne površine« ili izvođenje slogova na proizvodnoj površini, s pomoću načina obrade — stalno se primjenjuje »naoravanje«. Ovaj sistem ima više varijanata. Najčešće su se izvodili:

- usko slogovanje,
- dvosmjerna baulacija sa stalnim plitkim kanalima,
- dvosmjerna baulacija s plitkim kanalima,
- široko slogovanje,
- paralelni poljski kanali,
- slogovi i otvoreni poprečni kanali.



Presjek A-A



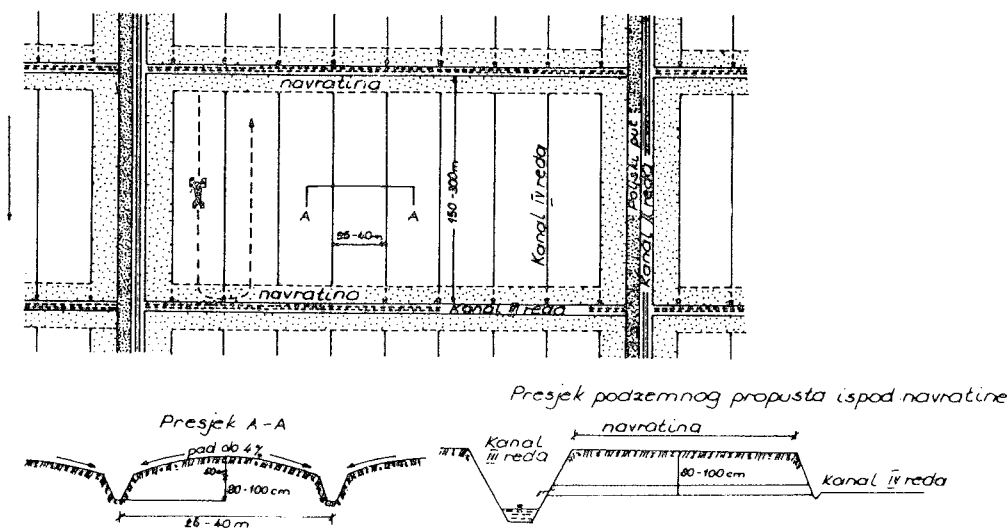
Sl. 4. Sistem usko slogovanje

5.1.2.1. *Usko slogovanje* je američki način nazvan »bedding«. Pri njegovu izvođenju površina se naorava u uske slogove (širina 7—17 m). Između dva sloga nalazi se razor koji odvodi višak površinske vode (oborina) u kanal III reda (slika 4). Identičan je i postupak formiranja slogova (do 10 m) putem oranja koje su od davnine primjenjivali individualni poljoprivredni proizvođači u nas, a najviše u zapadnoj Hrvatskoj. Beauchamp (cit. po Matkoviću, 1968) dovodio je u vezu širinu slogova i propusnost tla za vodu. U tala koja imaju vrijednost koeficijenta filtracije (k) 0,03 m/dan širina slogova iznosi 7—13 m, a pri 0,5—1,0 m/dan širina sloga je 17—30 m. Dužina slogova u pravcu generalnog nagiba je 90—300 m. Nagib napinjanja zemljanih slogova dovoljan je 10 % jer su slogovi dosta uski. Ovaj način pogodan je za manje posjede, odnosno za tla s težim teksturnim sastavom i gdje se upotrebljavaju traktori manjih snaga. Međutim, osnovni nedostatak sastoji se u neravnomjernoj sitiranosti tla vodom od sredine sloga (slogovnog hrpta) do razora. Zbog toga dolazi do neravnomjernog usjeva, a i različite mogućnosti za eksploataciju suvremene mehanizacije.

5.1.2.2. Dvosmjerna baulacija sa stalnim plitkim kanalima

To je, u stvari, talijanska varijanta u rješavanju suvišnih oborinskih ili površinskih voda na proizvodnim površinama. Toliko je metoda stara da joj Olliva (cit. po Matkoviću, 1971) pripisuje rimsko porijeklo. Pri izvođenju

baula treba ostvariti jednoličan nagib 4 % od sredine sloga do kanala IV reda na obje strane. Širina baula ili slogova je najčešće 25—40 m, a ovisi u stvari o propusnosti tla za vodu. Prema Ollivi (cit. po Matkoviću, 1968), za tla koja imaju vrlo malu propusnost širina slogova iznosi 12,5—25,0 m pri maloj propusnosti 25,0—37,5 m, a za tla s umjerenom propusnosti tla za vodu širina sloga može iznositi 37,5—50,0 m. Kako je propusnost naših teških tala (na primjer pseudoglejna tla) u granicama vrlo male i male vrijednosti, u nas se primjenjuje širina sloga od 25 do 37,5 m. Dužina slogova iznosi 150—300 m, ako su kanali IV reda jednosmjerni, a mogu biti i do 600 m dužine kad su kanali dvosmjerni (imaju nagib od sredine na obje strane prema kanalima III reda). Kanali IV reda duboki su 0,8—1,0 m, a dugi kao što je dužina sloga. Na jednom ili oba kraja ovih kanala ugrađuju se podzemni propusti cijevi) kroz koje voda ispod navratine odlazi u kanal III reda (slika 5).

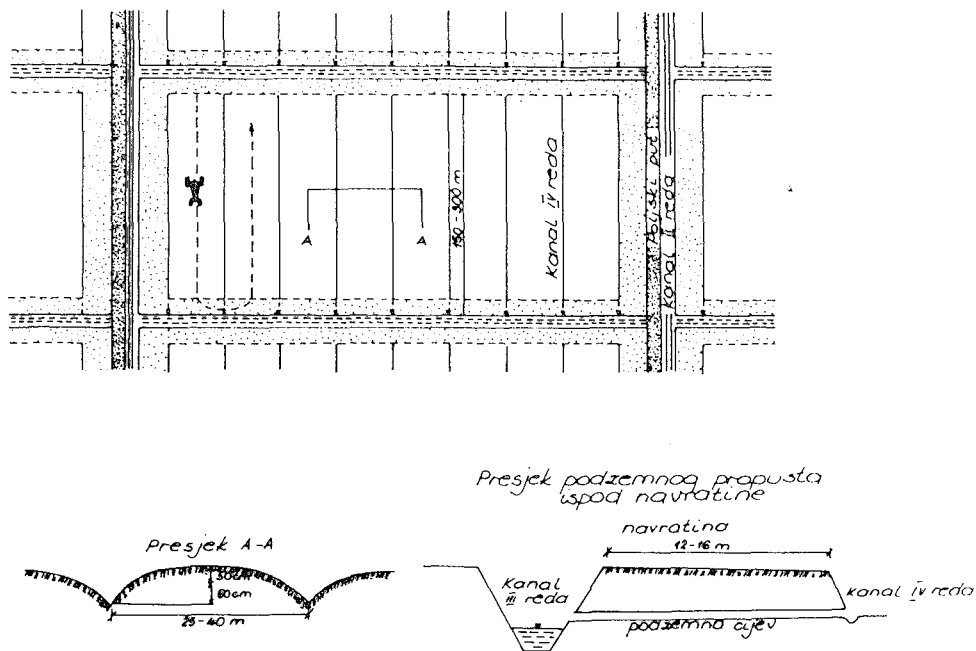


Sl. 5. Sistem dvosmjerne baulacije sa stalnim plitkim kanalima

Kanali IV reda izvode se kanalokopačem, a planiranje i napinjanje slogova s pomoću buldožera, skrepera i ostalih strojeva za uređenje površina. Budući da su se u našoj dosadašnjoj praksi ostvarivale manje dužine slogova, odnosno linije obrade tla 150—300 m, da je dosta skupo održavanje ovog sistema, da se gubi dosta obradive površine i da se dobiva neujednačen usjev (slabiji je usjev što je bliži plitkim kanalima IV reda), ovaj sistem je pokazao veći broj nedostataka, pa se danas manje primjenjuje, pogotovu na površinama društvenog sektora.

5.1.2.3. Dvosmjerna baulacija s privremeno plitkim kanalima je naša varijanta, a, u biti, je modifikacija talijanske metode dvosmjerne baulacije. Osnovna razlika ove varijante u odnosu na dvosmjernu baulaciju sa stalnim plitkim kanalima, sastoji se u kanalima IV reda. Naime, ovdje su kanali plići (0,6—0,8 m) i predstavljaju produbljene i proširene odvodne komore,

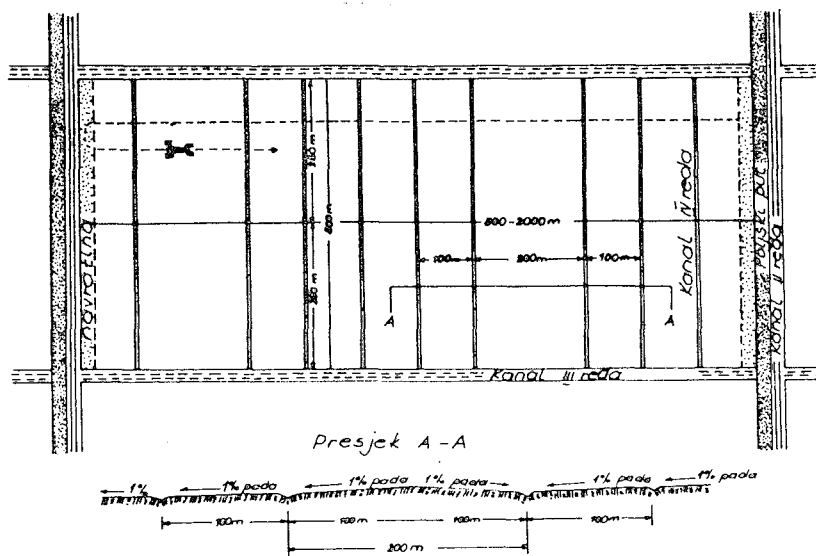
koji se formiraju naoravanjem slogova u više navrata (slika 6). Zbog toga su za domaću varijantu potrebne manje investicije i lakše je sistem održavati. Svi ostali detalji gotovo su jednaki talijanskoj varijanti dvosmjerne baulacije. Domaća varijanta se prije dvadesetak godina dosta primjenjivala u području savske doline, ali se danas, zbog navedenih razloga, zamjenjuje sa sistemima kombinirane detaljne odvodnje.



Sl. 6. Sistem dvosmjerne baulacije s privremeno plitkim kanalima

5.1.2.4. *Široko slogovanje* je varijanta koja je nastala iz načina bauliranja s užim i srednje širokim slogovima, u cilju bolje eksploatacije poljoprivrednih strojeva. Slogovi po ovoj varijanti mogu biti jednosmjerni koji su širine 150—200 m i dvosmjerni sa širinom sloga 300—400 m. Nagib slogova iznosi 0,5—1,0 %. Svi agrotehnički zahvati su se izvodili uzduž sloga čija dužina je bila i do 2000 m. Međutim, praksa je pokazala da ovaj sistem sa širokim slogovima nije prikladan za reguliranje suvišnih voda na nizinskim teškim tlima. Osim toga, ova varijanta zahtijeva veća ulaganja za izvođenje sistema, jer svaki slog predstavlja jednu tablu ili proizvodnu parcelu (2000 m × 150 do 400 m). Zbog toga je ovaj sistem doživljavao daljnje modifikacije. Jedna od nastalih varijanata je i Vojtina metoda bauliranja ili »Cross-Slope Ditch System« (Matković, 1968), ali ni ti pokušaji nisu dali bolje rezultate u našim uvjetima biljne proizvodnje.

5.1.2.5. *Paralelni poljski kanali* kao sistem je najprije primijenjen u SAD pod nazivom »Parallel Field Ditch System«. Prikladan je za veće površine (društveni sektor), gdje je ravan teren, tlo teškog teksturnog sastava i gdje

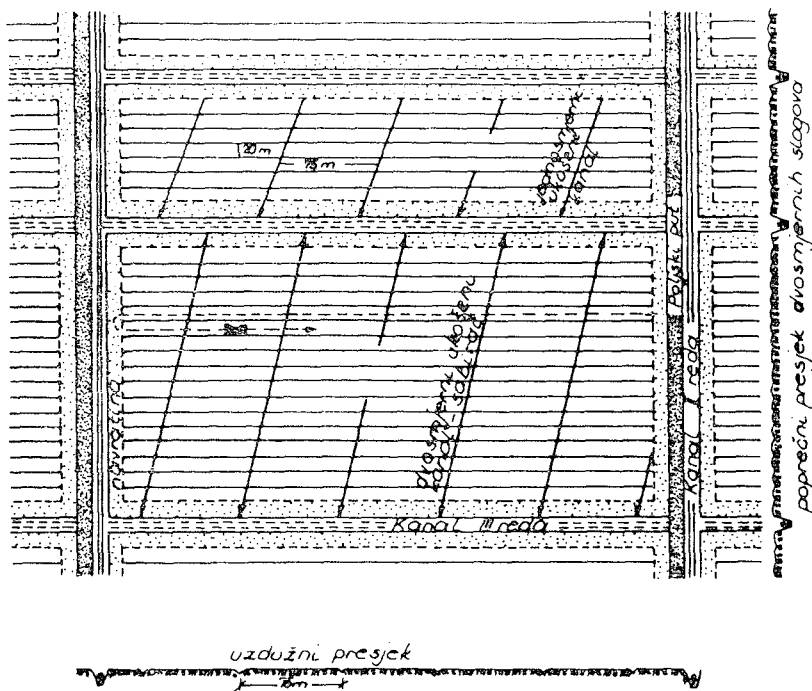


Sl. 7. Sistem paralelnih poljskih kanala

se pojavljuju suvišne oborinske vode. Kanali IV reda ili jarci su plitki (30—60 cm). Jarci su izvedeni u obliku blagog pokosa (nagib pokosa do 1 : 10), pa preko njih nesmetano prolaze strojevi pri obradi površine i pri izvođenju drugih agrotehničkih zahvata. Razmak jaraka ili kanala IV reda iznosi 100—200 m (slika 7). S obzirom na to da su kanali prohodni i da je obradu moguće vršiti poprijeko na njih ili kao i u pravcu duže stranice površine, moguće je primjenjivati i optimalno iskorištavati suvremenu (krupnu) mehanizaciju s većim učinkom. U principu su plitki kanali (jarci) paralelni, a njihovi razmaci mogu biti različiti ovisno o mikroreljefu. Jarci mogu biti jednosmjerni dužine do 250 m ili dvosmjerni, pa im je dužina do 500 m. Minimalni pad kanala je 0,1 %. Prostor između plitkih kanala se pažljivo planira s tim da se formiraju jednosmjerni ili dvosmjerni slogovi s nagibom 1 %. Jednosmjerni slogovi su široki do 100 m, a dvosmjerni do 200 m. Agrotehnički zahvati se obično izvode okomito na plitke kanale, pa je moguće ostvariti dobru eksploataciju poljoprivrednih strojeva. Na ovom sistemu detaljne odvodnje kulture se uzgajaju na cijeloj površini uključivši blage pokose plitkih kanala IV reda. Dobra strana ovog sistema je u tome što nije skup. Međutim, praksa je pokazala da na teškim tlima, i u uvjetima većih količina oborina, ne predstavlja intenzivni način rješavanja suvišnih voda.

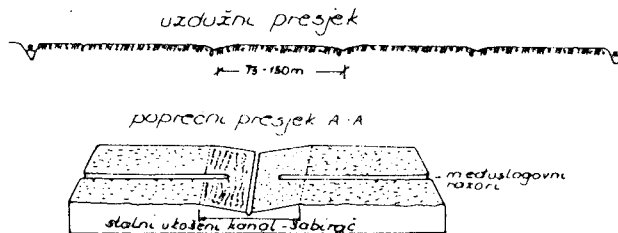
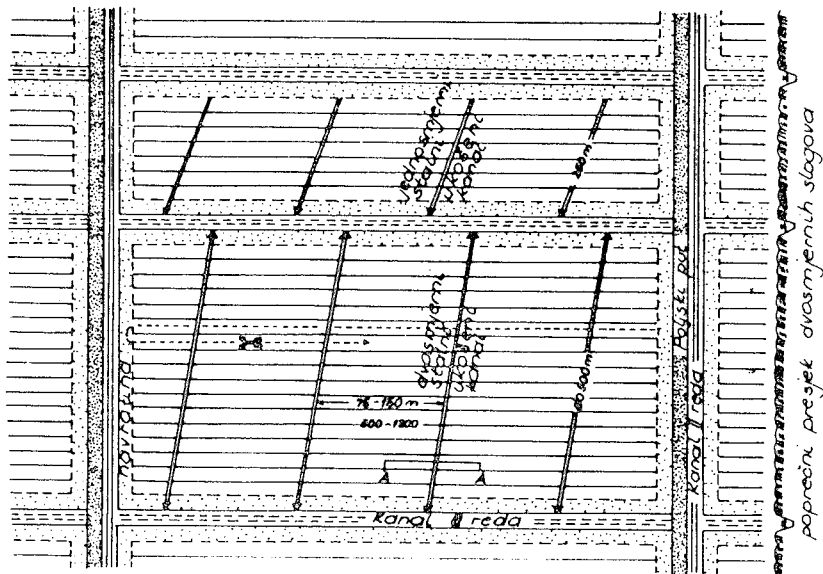
5.1.2.6. *Slogovi i otvoreni poprečni kanali* nastali su u nastojanju poboljšanja odvodnog sistema i povećanja ekonomičnosti u eksploataciji suvremenih poljoprivrednih strojeva na prekomjerno vlažnim tlima nizinskih područja. Odvodni plitki jarci (razori) i srednje široki slogovi idu u pravcu generalnog nagiba terena koji u nizinskim predjelima iznosi svega do 1,5 %. Dužina jaraka, odnosno slogova je 300 do 1200 m, pa pri obradi u tom smjeru ostvaruje se optimalno iskorištavanje strojeva. U cilju skraćivanja puta za odvođenje sakupljene suvišne vode, odvodni jarci i slogovi se presjecaju

kanalima sabiračima. Ovi kanali izvode se koso pod kutom 60° — 80° . Iz ovih kosih kanala sabirača voda se izlijeva u kanale III reda, a iz njih dalje u kanale nižeg reda. Slogovi između jaraka su široki svega 20 m, dok je nagib slogova (napete zemljane površine) 1—2 %. Dužina, dubina i razmak kanala sabirača mogu biti različiti. U SSSR-u njihova dužina iznosi 125 m do 250 m, ovisno o tome da li su jednosmjerni ili se mogu dvosmjerno postaviti. Razmak im je 75 m, a nešto su dublji od jaraka (razora), tako da dubina iznosi 35 do 45 cm (slika 8).



Sl. 8. Sistem slogova s ukošenim kanalima (ruska varijanta)

U SAD se kanali sabirači izvode kao stalni kanali s pokosom 1 : 8 ili 1 : 10 (slika 9). Agrotehnički zahvati izvode se uzduž slogova, odnosno poprijeko na kanale sabirače koji su ukošeni i s blagim pokosom. Razmak ovih kanala sabirača iznosi 75 do 150 m, a dubina 45 do 55 cm. Dužina kanala je također veća u odnosu na rusku varijantu i iznosi za jednosmjerne kanale 250 m, a za dvosmjerne 500 m (slika 9). Na temelju iznesenih elemenata moguće je zaključiti da je teže izvoditi američku varijantu, ali je potrebno ulagati više napora pri održavanju ruske varijante (posebno na mjestu presjecanja jaraka i kanala sabirača). Prema Malševu (cit. po Matkoviću, 1968), obje varijante pokazale su dobre rezultate na teškim tlama u SSSR-u. Ako se ukošeni kanali zamijene podzemnim sabiračima, to predstavlja evoluciju

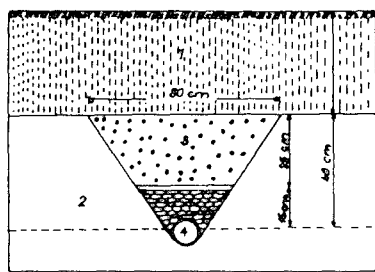
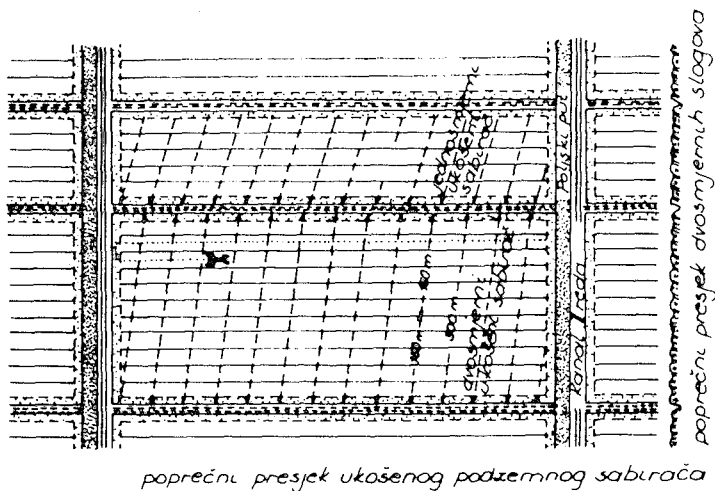


St. 9. Sistem slogova sa stalnim ukošenim kanalima (američka varijanta)

površinske detaljnje odvodnje slogovanjem tla (slika 10). U našim uvjetima ovi sistemi površinske detaljne odvodnje nisu došli do izražaja, a nema izgleda za njihovu veću primjenu i u budućnosti. Naime, općenito se može reći da se svi sistemi površinske detaljne odvodnje sve više napuštaju na društvenim površinama u nas, a njih zamjenjuju sistemi podzemne i kombinirane detaljne odvodnje.

5.1.3. Random sistem otvorenih kanala (jaraka)

Može se također primijeniti na težim tlima gdje se pojavljuju suvišne površinske vode. Ovaj je sistem posebno prikladan na terenima gdje se postojeće depresije na obradivim površinama ne mogu na drugi način sanirati. Posebno se odnosi na uske depresije u kojima suvišne vode otežavaju eksploataciju većeg dijela površine pojedinih tabli. Pojedinačni kanali IV reda ili jarci imaju blagi pokos (do 1 : 10), a mogu se izvesti na više mjesta, ovisno o prilikama i potrebi na obradivoj površini. Najčešće se izvodi kao na slici 11.

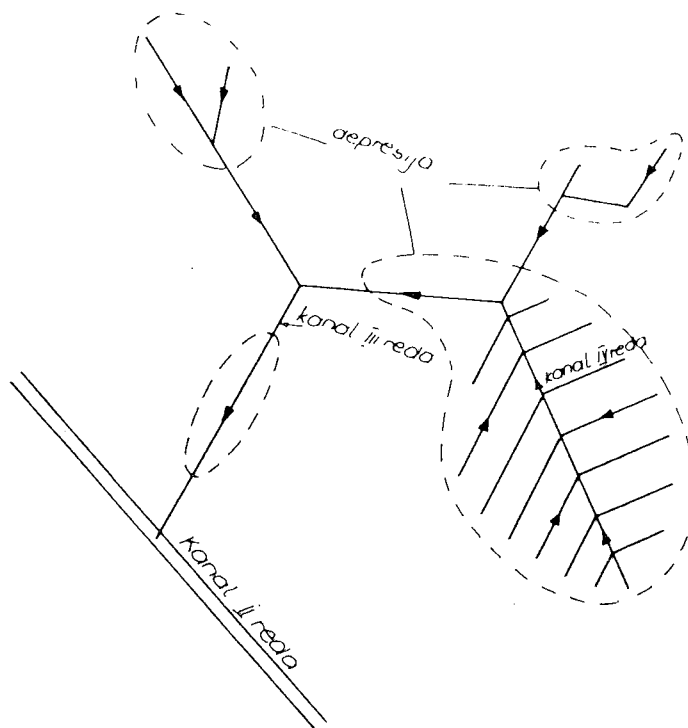


Sl. 10. Sistem slogova s podzemnim ukošenim sabiračima (američko-ruska varijanta)

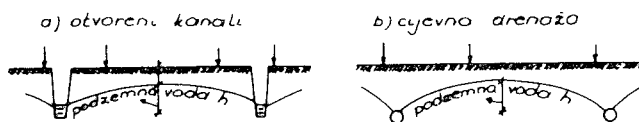
5.2. Podzemna detaljna odvodnja

Primjenjuje se za sniženje razine podzemne vode u tlima koja imaju dobru propusnost za vodu. To su tla koja uglavnom imaju jednoličnu propusnost u profilu kao što su većina hipoglejnih, humoglejnih, semiglejnih i aluvijalnih tala, a prekomjerno su vlažena u aktivnom dijelu profila uslijed dizanja podzemne vode. Posebno je značajno za primjenu podzemne detaljne odvodnje da tlo ima dobru horizontalnu propusnost za vodu. Prema njemačkim normativima, potrebna je propusnost tla za vodu (k) veća od 16 cm/dan, u protivnom je nužno primijeniti kombiniranu detaljnu odvodnju (* ** , 1973).

Podzemna detaljna odvodnja može se vršiti sistemom otvorenih kanala i s pomoću ukopanih ili podzemnih cijevi — sistem cijevne drenaže (slika 12). Kako je prikazano na slici (slika 12), razina podzemne vode je zakrivljena između dvaju odvoda, koji mogu biti otvoreni kanali (slika 12.a) i cijevi (slika 12.b). Budući da je za reguliranje previsoke razine podzemne vode u mnogim tlima potrebno odvode (kanale ili cijevi) postavljati na manji razmak od 50 m (određivanje razmaka se kasnije razrađuje u sklopu razmatranja sistema cijevne drenaže), otvoreni kanali kao sistem praktički teže



Sl. 11. Random sistem otvorenih kanala



Sl. 12. Podzemna detaljna odvodnja

mogu doći u obzir. Oni se eventualno mogu primijeniti samo za reguliranje podzemne vode u vrlo propusnim tlima gdje bi njihovi razmaci (100—150 m) bili dovoljni. U tom slučaju bi se kanali mogli izvesti kao kod opisanog sistema »srednje duboki kanali« u sklopu površinske odvodnje (slika 2), s tim da bi kanalska mreža trebala biti dublja. Naime, za reguliranje podzemne vode kanali IV reda ne bi smjeli biti srednje duboki (1,2 m), već je neophodna njihova dubina veća od 1,5 m, a analogno tome i ostali kanali (III, II i I reda) imali bi veću dubinu. Dakle, osnovni nedostatak sistema otvorenih kanala je u tome što smanjuje obradive površine. Zatim, oni otežavaju povoljnu eksploataciju suvremenih poljoprivrednih strojeva pri izvođenju agrotehničkih zahvata, a i održavanje sistema je otežano u odnosu na sistem cijevne drenaže. Zbog toga se danas u praksi za reguliranje podzemne vode uglavnom primjenjuje sistem cijevne drenaže.

5.2.1. Sistem cijevne drenaže

Drenaža je, u stvari, postupak kojim se odstranjuje suvišna voda s proizvodne površine bilo na koji način. Međutim, riječ »drenaža« uglavnom se upotrebljava za način odvodnje s podzemnim ili ukopanim kanalima, pa ćemo je i mi u tom smislu koristiti.

Ranije su se za drenažu koristili različiti materijali (kamen, šljunak, ulomci crijepa i cigle, fašine) koji su polagani po dnu jarka i nakon toga zatrpani zemljom. Zatim, dolaze u upotrebu glinene cijevi, a danas se najviše koriste rebraste perforirane plastične cijevi (od polivinilklorida).

Sada postoje dva osnovna tipa strojeva koji specijalno služe za postavljanje cijevne drenaže. Jedan od njih kopa, na principu freze, uske jarke (širine do 40 cm, a najčešće 20—25 cm) s potrebnom dubinom (od 60 do 200 cm) i nagibom (do 3 ‰). Istovremeno polaže i drenažne cijevi svih profila (najčešće su od plastike ili eventualno pečene gline) i filterski materijal — ako se upotrebljava. Uz spomenute radne operacije može paralelno zatrpavati jarke ili se to vrši naknadno buldožerom. Ovaj stroj može raditi u svim vremenskim uvjetima (i zimi ako nema snijega više od 10 cm) i na svim tlima. Naša iskustva to potvrđuju, ali je ipak bolje izbjegavati rad u močvarnim uvjetima kako bi se izbjegla mogućnost bržeg zamuljivanja cijevi. Stoga se preporučuje postavljati drenažu u vrijeme kada uvjeti vlažnosti tla odgovaraju izvođenju oranja. Norma za ovaj način postavljanja drenaže iznosi 200—300 m/h.

Drugi tip drenopolagača postavlja cijevi na principu izvođenja krtične drenaže. Ovaj stroj samo presijeca tlo i postavlja cijevi na određenu dubinu, u potrebnom nagibu, bez iskopa i za sobom ne ostavlja vidljivih tragova. U osnovi, stroj je buldožer s priključenim specijalno konstruiranim plugom kroz koji prolazi drenažna cijev. Brzina rada ovog sistema je znatno veća, pa je i učinak postavljanja cijevi veći, i to 300—500 m/h. Svaki od ova dva navedena sistema postavljanja cijevi imaju prednosti i nedostataka. Izbor načina postavljanja trebalo bi da ovisi o tlu. U tlima s jednoličnim profilom, odnosno jednoličnom propusnošću tla za vodu bila bi efikasna drenaža, bez obzira na način postavljanja, ali bi ekonomičnije izvođenje bilo upotrebom »drainpluga«, odnosno na principima krtične drenaže. Međutim, na teškim tlima koja imaju pojedine horizonte slabo propusne (kao što je čest slučaj na našim hidromorfim tlima) pretpostavlja da bi efikasnija bila drenaža kada bi cijevi postavili u prethodno iskopane jarke, pa je bolje primijeniti postavljanje na principu freze, iako je skuplje. Naime, pri kopanju jaraka izbačena zemlja izmiješana je i prorahljena. Ova zemlja, nakon što se njome zatrpaju cijevi u jarku, postaje znatno propusnija i u sistemu cijevne drenaže ima ulogu filtera, što je vrlo značajno. Zbog ove činjenice u posljednje vrijeme na tržištu se pojavljuje nekoliko varijanata strojeva unutar tipa na principu freze, s ciljem da se postigne veća efikasnost i ekonomičnost u dreniranju površina (Fabijanić, 1986). Najvažniji elementi koji su značajni za primjenu cijevne drenaže u praktične svrhe su: dubina, razmak, pad, položaj cijevi i fazonski komadi.

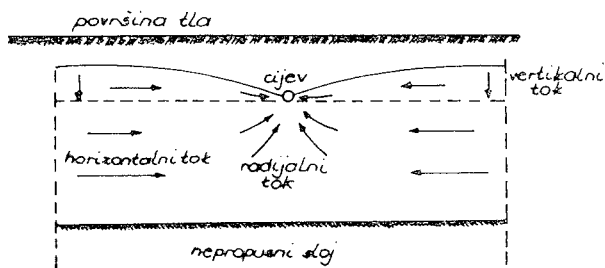
5.2.1.1. Dubina cijevi

Ovisi o uzgajanoj kulturi, mogućnosti uspostavljanja oplavi, primjeni dodatnih mjera ukoliko se radi o kombiniranoj detaljnoj odvodnji, a, osim

toga, na dubinu postavljanja cijevi može utjecati i uslojenost profila tla. Minimalna dubina od 0,6 m ograničena je zbog mogućnosti smrzavanja i obrade tla. Preko maksimalne dubine od 2,0 m nije potrebno postavljati cijevi ni za jednu poljoprivrednu kulturu, bez obzira na postojanje svih drugih uvjeta. Često puta prilike vezane za prirodnu oplav diktiraju dubinu cijevi. Naime, treba nastojati ostvariti gravitacijsko ili prirodno izlijevanje cijevi u kanale, kao i njihovo nesmetano izlijevanje u glavni recipijent. Ako je nagib terena malen, općenito i manja visinska razlika između drenažnog sistema i razine vode u glavnom recipijentu, u tom će slučaju biti moguće ostvariti prirodnu oplav jedino primjenom pliće drenaže. Svakako da sve poljoprivredne kulture imaju jednaku dubinu korijenova sistema, pa, adekvatno tome, ovisi i dubina postavljanja cijevi, odnosno dubina snižavanja razine podzemne vode. Najčešće, dubina cijevne drenaže iznosi 0,8—1,1 m (ratarske kulture). Za većinu povrtlarskih i neke krmne kulture može biti manja (0,7—0,8 m), a za višegodišnje — drvenaste kulture 1,2—1,6 m.

5.2.1.2. Razmak cijevi

Razmak cijevi je jedan od važnijih elemenata u sistemu detaljne odvodnje cijevnom drenažom, posebno za praktične svrhe. Naime, uspješnost reguliranja previsoke razine vode u obradivim tlima najviše ovisi o gustoći postavljenih cijevi, pa su, zbog toga, problemi vezani za razmak cijevi dosta eksperimentalno i teoretski razmatrani. S obzirom na to da je određivanje razmaka cijevi eksperimentalnim načinom neekspeditivno i traži puno stručnog angažmana, za praktične svrhe se najčešće vrši računaska metoda koristeći poznate i dokazane formule i nomograme pojedinih autora. Svaka od postojećih formula pogodna je za primjenu u određenim uvjetima, što je značajno poznavati pri određivanju razmaka cijevi. Većina formula i nomograma temelji se na postavkama Hooghoudta i Ernsta (cit. po Grootu, 1973, te Srebrenoviću, 1981). Njihove postavke, odnosno formule odnose se na uvjete stacionarnog tečenja vode, ili stanje ravnoteže između intenziteta dolaska vode (intenzitet oborina) i intenziteta odvoda vode (intenzitet protoke) u sistemu odvodnje. Radi se zapravo o pretpostavci da se razina vode ne mijenja s vremenom, već ostaje u stalnom položaju. Stacionarno tečenje se rijetko događa u praksi, dok je češći slučaj nestacionarnog tečenja, jer razina podzemne vode gotovo uvijek raste ili opada. Međutim, rješavanje razmaka cijevi s formulama na principu stacionarnog tečenja vode su puno jednostavnija od rješavanja dobivenih nestacionarnim tečenjem, pa se zbog toga više upotrebljavaju formule Hooghoudta i Ernsta u odnosu na formule za nestacionarno tečenje vode.



Sl. 13. Vertikalni, horizontalni i radijalni tok vode

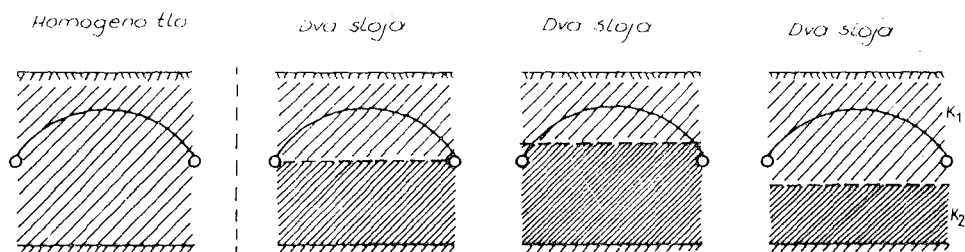
Formule temeljene na stacionarnom tečenju vode uzimaju u obzir vertikalnu, horizontalnu i radijalnu komponentu toka vode prema cijevima (slika 13). Vertikalni tok je obično vrlo mali, tako da na dotok vode cijevima uglavnom utječe horizontalna i radijalna komponenta.

Međutim, položaj nepropusnog sloja u odnosu na postavljene cijevi može izazvati različiti utjecaj horizontalnog i radijalnog toka. Zapravo, karakteristična su tri slučaja:

- ako su cijevi postavljene na nepropusni sloj tada je horizontalni tok premoćan, a radijalni tok je toliko malen da ga se može i zanemariti,
- ako je nepropusan sloj na većoj dubini (očnoj od 1/4 razmaka cijevi) u tom slučaju radijalni tok prevladava, a horizontalni je zanemarljiv,
- ako je dubina nepropusnog sloja ispod cijevi manja od 1/4 razmaka cijevi, tada imaju obje komponente utjecaj (iako može biti različit) na dotok vode cijevima, pa se ne smije nijedna zanemariti.

5.2.1.2.1. Hooghoudtova i Ernstova formula s odgovarajućim nomogramima za određivanje razmaka cijevi

Tla na poljoprivrednim površinama mogu biti različitih svojstava. Za određivanje razmaka cijevi navedenim formulama najvažniji su uslojenost tla i propusnost tla za vodu. Što se tiče uslojenosti tla, mogući su u prirodi različiti slučajevi, ali su Hooghoudt (1940) i Ernst (1954) sve aproksimirali na četiri slučaja i za njih dali načine rješavanja razmaka cijevi u sistemu cijevne drenaže (slika 14). U daljnjem tekstu se razmatraju načini određivanja razmaka cijevi za svaki od ova četiri uvjeta.



Sl. 14. Podzemna detaljna odvodnja

Određivanje razmaka cijevi u homogenom tlu

Prema slici 14.a tlo je homogeno do nepropusnog sloja i drenovi su postavljeni u taj homogeni sloj.

Hooghoudtova formula (1940) za određivanje razmaka u homogenom tlu glasi:

$$L^2 = \frac{8 \cdot k \cdot d \cdot h}{q} + \frac{4 \cdot k \cdot h^2}{q}$$

gdje je:

L = razmak cijevi u m

k = koeficijent propusnosti tla za vodu u m/dan

d = ekvivalentna dubina u m
 h = visina razine podzemne vode iznad cijevi u sredini između dvije cijevi, u m
 q = specifični drenažni istek ili modul odvodnje, u m/dan.

Iz navedene formule proizlazi da razmak drenova ovisi o propusnosti tla za vodu (k), dubini nepropusnog sloja (ekvivalentna dubina — d), norme odvodnje (a — dubina do koje se treba spustiti razina podzemne vode u sredini između dva dreva) i specifičnog drenažnog isteka (q).

Koeficijent propusnosti tla za vodu (k) je izjednačen iznad i ispod drenova u homogenom tlu. Budući da je ovaj element razrađen na potreban način u drugom Priručniku hidrotehničkih melioracija (Tomić, 1984), ovdje ga je nepotrebno obrađivati.

Ekvivalentna dubina (d) razlikuje se od stvarne dubine nepropusnog sloja ispod drenova (D) — koja se koristi pri određivanju razmaka otvorenih drenova (kanala). Međutim, kod odvodnje cijevima dolazi i do radijalnog tečenja vode, odnosno do zgusnutih strujnica i tzv. otpora, pa je zbog toga reducirana stvarna dubina nepropusnog sloja, te je po Hooghoudtu (1940) nastala »ekvivalentna dubina« (d). Vrijednost ekvivalentne dubine se povećava sve dok je dubina nepropusnog sloja (D) manja od $1/4$ razmaka cijevi. Kada dostigne $D \geq 1/4 L$, tada je vrijednost ekvivalentne dubine (d) konstantna, jer nepropusni sloj na tim dubinama ima neznatan utjecaj na razmak cijevi. Na ekvivalentnu dubinu (d) utječe, osim dubine nepropusnog sloja (D), još i polumjer drenažne cijevi (r) i razmak drenova (L). Njezina vrijednost se određuje računski s pomoću izraza:

$$d = \frac{L}{8 F}$$

s tim da je

$$F = \frac{(L - D \sqrt{2})^2}{8 \cdot D \cdot L} + \frac{1}{\pi} \cdot \ln \frac{D}{r \sqrt{2}}$$

L = razmak cijevi, u m

D = dubina nepropusnog sloja, u m

r = polumjer cijevi, u m.

Za razliku od računskog načina praktičnije je odrediti ekvivalentnu dubinu (d) iz tabele 2.

Norma odvodnje (a) je dubina na kojoj treba održavati razinu podzemne vode pri uzgoju poljoprivrednih kultura. Ona odgovara dubini u kojoj biljke razvijaju glavninu korijenova sistema. Prema tome, norma odvodnje prvenstveno ovisi o vrsti uzgajane kulture. Osim toga, ovisi i o vrsti tla. U ovom radu već je razmotrena problematika podzemnih voda i njezin utjecaj na uzgajane kulture, pa je ponavljanje nepotrebno. Ovdje samo navodimo iskustva i normative Zapadne Njemačke, Nizozemske i Čehoslovačke koji se primjenjuju za određivanje norme odvodnje pri reguliranju podzemne vode cijevnom drenažom (Vidaček et al, 1979).

Tabela 2.

EKVIVALENTNA DUBINA (d) ZA ODREĐIVANJE RAZMAKA CIJEVI (PROMJER CIJEVI 4--10 cm)

D m	Razmak cijevi (L), u m																	
	5,0	7,5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	75	80	85	90	100	150	200
0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
0,75	0,60	0,65	0,70	0,70	0,75	0,75	0,75	0,75	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
1,00	0,65	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00
1,25	0,70	0,80	0,90	1,00	1,05	1,10	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
1,50		0,90	0,95	1,10	1,20	1,25	1,30	1,30	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
1,75		0,90	1,00	1,20	1,30	1,40	1,45	1,50	1,50	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55
2,00			1,10	1,30	1,40	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,70	1,80	1,80	1,80	1,85	1,85	1,90	1,90
2,25			1,15	1,35	1,50	1,70	1,70	1,75	1,80	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,90
2,50				1,40	1,55	1,70	1,80	1,85	1,95	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
2,75				1,45	1,65	1,75	1,90	2,00	2,05	2,10	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
3,00				1,50	1,65	1,85	1,95	2,10	2,15	2,25	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30
3,25				1,50	1,70	1,90	2,05	2,15	2,25	2,35	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
3,50				1,50	1,75	1,95	2,10	2,25	2,35	2,45	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55
3,75					1,80	1,95	2,15	2,30	2,45	2,55	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65
4,00					1,80	2,00	2,20	2,35	2,50	2,60	2,70	3,05	3,10	3,10	3,15	3,25	3,45	3,60
4,50					1,85	2,10	2,30	2,50	2,65	2,75	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85
5,00					1,90	2,15	2,40	2,60	2,75	2,90	3,00	3,50	3,55	3,60	3,65	3,80	4,10	4,30
5,50						2,20	2,45	2,65	2,85	3,00	3,15	3,50	3,55	3,60	3,65	3,80	4,10	4,30

$$D = \frac{1}{4} L$$

Tabela 3.

ODRŽAVANJE DUBINE PODZEMNE VODE U cm PREMA DIN-u

Vrsta tla	Travnjaci	Pašnjaci	Livade
Laka mineralna tla	50—70	70—90	80—120
Teška tla	60—80	80—100	100—120

Tabela 4.

OPTIMALNA DUBINA PODZEMNE VODE U m PRI DRENIRANJU TLA
U NIZOZEMSKOJ

Tekstura tla	Travnjaci	Oranice
Gruba	0,4—0,6	0,6—0,9
Srednja	0,6—0,9	0,9—1,2
Fina	0,6—0,9	1,2—1,5

Tabela 5.

RAZINA PODZEMNE VODE KOJU JE POTREBNO ODRŽAVATI
DRENAŽOM — ČEHOSLOVAČKE NORME

Kultura	Dubina vode u cm
Livade	50—60
Pašnjaci	60—70
Oranice	80—90
Voćnjaci	90—100

Norma odvodnje još je uvijek predmet ispitivanja. Stalno održavanje razine podzemne vode na većoj dubini zahtijeva duboki sistem odvodnje (duboke kanale i duboke cijevi cijevne drenaže). Međutim, duboki sistem odvodnje nije ekonomski opravdan. Zbog toga, pri određivanju norme odvodnje u drenažnom sistemu, treba uskladiti potrebnu razinu podzemne vode (uzimajući u obzir uzgojenu kulturu) s ekonomskim faktorima, odnosno s dubinom drenažnih cijevi i kanala. Na temelju toga u posljednje vrijeme se preporuča za normu odvodnje u drenažnom sistemu (dubina podzemne vode u sredini između dva drena), kao što je navedeno u tabeli 6.

Tabela 6.

PREPORUKA ZA NORMU ODVODNJE PRI REGULIRANJU PODZEMNE VODE
CIJEVNOM DRENAŽOM

Kultura	Dubina podzemne vode u sredini drenova u cm
Livade	30—40
Pašnjaci	40—50
Oranica (ratarske i povrtlarske kulture)	50—60
Voćnjaci	70—90

Norma odvodnje je u izravnoj vezi s dubinom drenova i visinom podzemne vode iznad cijevi u sredini između dva drena, odnosno:

$$a = t - h$$

a = norma odvodnje u sistemu cijevne drenaže, u m

t = dubina cijevi, u m

h = visina podzemne vode iznad cijevi u sredini između dva drena, u m.

Specifični drenažni istek ili modul odvodnje (q)

Još se naziva specifični dotok a često ga neki nazivaju i »hidromodul drenažne odvodnje«. Ova vrijednost predstavlja količinu vode koja se odvodi s proizvodnih površina drenažnim sistemom u mm/dan ili l/sec/ha. Drenažni istek je vrlo značajan za dimenzioniranje a njegova vrijednost ovisi o nizu faktora (svojstvima tla, nagibu terena, oborinama, uzgajanoj kulturi, visini podzemne vode i dr.); najtočnija njegova vrijednost dobije se na eksperimentalnim poljima. Za praktične svrhe drenažni istek može se orijentacijski odrediti na temelju teksturnog sastava tla (Marjanov, 1964), tabela 7.

Tabela 7.

SPECIFIČNI ISTEK ILI MODUL OTJECANJA

Sadržaj čestica tla < 0,002 mm	Q mm/dan	Q l/sec/ha
> 60 %	2,6— 5,2	0,3—0,6
60—40 %	5,2— 7,0	0,6—0,8
40—30 %	7,0—17,3	0,8—2,0
30—20 %	17,3—25,9	2,0—3,0
< 20 %	25,9—43,2	3,0—5,0

Zbog toga se mogu, što se u nas često i čini, koristiti iskustva i normativi Zapadne Njemačke, Nizozemske, Engleske, Čehoslovačke (Đaković, 1979).

Tabela 8.

SPECIFIČNI ISTEK PREMA NJEMAČKIM NORMAMA

Srednje godišnje oborine mm	Q mm/dan	Q l/sec/ha
manje od 600	7	0,8
600—1000	9	1,0
više od 1000	17	2,0

Napomena: Kod intenzivnijih kiša i otapanja snijega vrijednost se može povećati do 100 %.

Tabela 9.

SPECIFIČNI ISTEK PREMA ENGLESKIM NORMAMA

Srednje godišnje oborine mm	Q mm/dan	Q l/sec/ha
2000	25	2,9
1500	19	2,2
1000	13	1,5
875	10	1,16
manje od 875	7,5	0,87

Tabela 10.

SPECIFIČNI ISTEK PREMA NIZOZEMSKIM NORMAMA ZA OBORINE DO 600 mm

Kultura	Q mm/dan	Q l/sec/ha
Ratarske, povrtlarske i pašnjaci	7	0,8
Stakleničke kulture	20—30	2,3—3,47
Polderi	7—10	0,8—1,16
Naselja	10	1,16

Tabela 11.

SPECIFIČNI ISTEK PREMA ČEHOSLOVAČKIM NORMAMA

Srednje godišnje oborine mm	Q mm/dan	Q l/sec/ha
manje od 600	6	0,65
700—1000	8,6	1,0
600—700	7	0,8
više od 1000	10,4	1,2

Pored navedenih normativa za specifični istek iz nekih zemalja, iznosi se i mišljenje Srebreновиća (1981) o specifičnom otjecanju podzemne drenaže za naše prilike (tabela 12).

Tabela 12.

SPECIFIČNI ISTEK ILI SPECIFIČNO OTJECANJE PO SREBRENOVIĆU (1981)

Tlo	q u mm/dan	
	Ratarske kulture	Povrtnarske kulture
Mineralno	10—15	15—20
Organsko	15—20	20—40

Treba naglasiti da se iznijete vrijednosti za specifične isteke ili drenažno otjecanje odnose na sistem odvodnje podzemnom cijevnom drenažom. Međutim, ako se radi o kombiniranoj detaljnoj odvodnji, a pogotovu o sistemima koji odvođe uz suvišnu podzemnu vodu i površinske vode, u tom slučaju drenažni istek ima veću vrijednost. Određivanje specifičnog otjecanja za površinske sisteme (otvorene kanale) pripada drugoj problematici, pa se u ovom radu ne obrađuje.

Na kraju se iznosi primjer 1. određivanja razmaka drenažnih cijevi računskim načinom za homogeno tlo, za koje postoje slijedeći podaci:

- propusnost tla za vodu u cijelom profilu do dubine nepropusnog sloja ($k = 1,1$ m/dan),
- dubina nepropusnog sloja tla ($D = 2,5$ m),
- visina podzemne vode iznad drenova u sredini između dvije cijevi ($h = 0,5$ m),
- dubina cijevi ($t = 1,0$ m),
- specifično otjecanje ili specifični istek ($q = 7$ mm/dan),
- polumjer drenažnih cijevi ($r = 0,05$ m).

Pokušat ćemo s razmakom cijevi ($L = 35$ m).

Prema tome na temelju L , D i r ekvivalentna dubina (d) iz tablica iznosi 1,85.

$$L^2 = \frac{8 \cdot k \cdot d \cdot h}{q} + \frac{4 \cdot k \cdot h^2}{q} =$$

$$= \frac{8 \cdot 1,1 \cdot 1,85 \cdot 0,5}{0,007} + \frac{4 \cdot 1,1 \cdot 0,5}{0,007}$$

$$L^2 = 1162,9 + 157,1$$

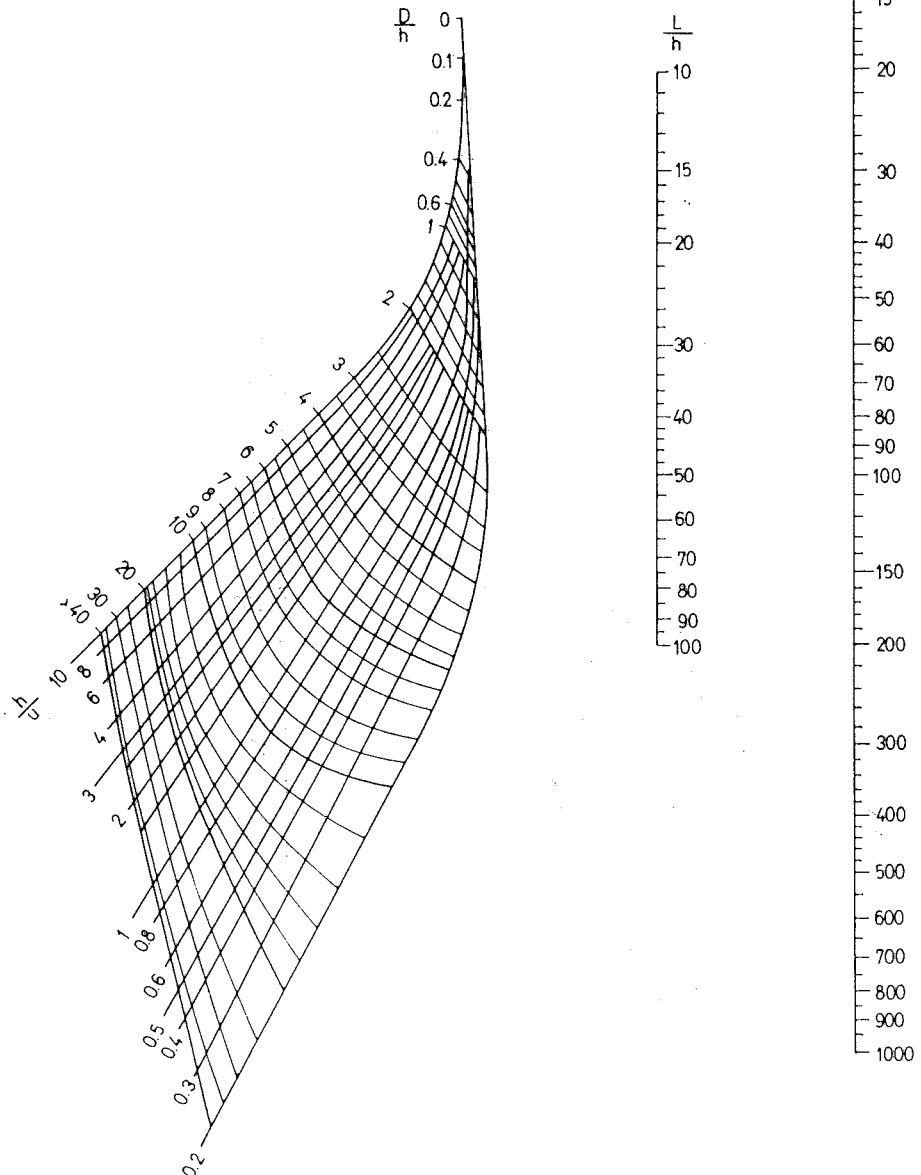
$$L^2 = 1320; \quad L = 36 \text{ m.}$$

S obzirom na to da smo pokušali s $L = 35$ m, dobiveni razmak cijevi od 36 m je mjerodavan. Osim računskog načina određivanja razmaka drenažnih cijevi, može se primijeniti i nomogram, koji je izradio Boumans na temelju Hooghoudtove formule za homogeno tlo (slika 15. i 16).



$$\frac{L}{h} < 100$$

$$L^2 = \frac{8k d h + 4k h^2}{q}$$



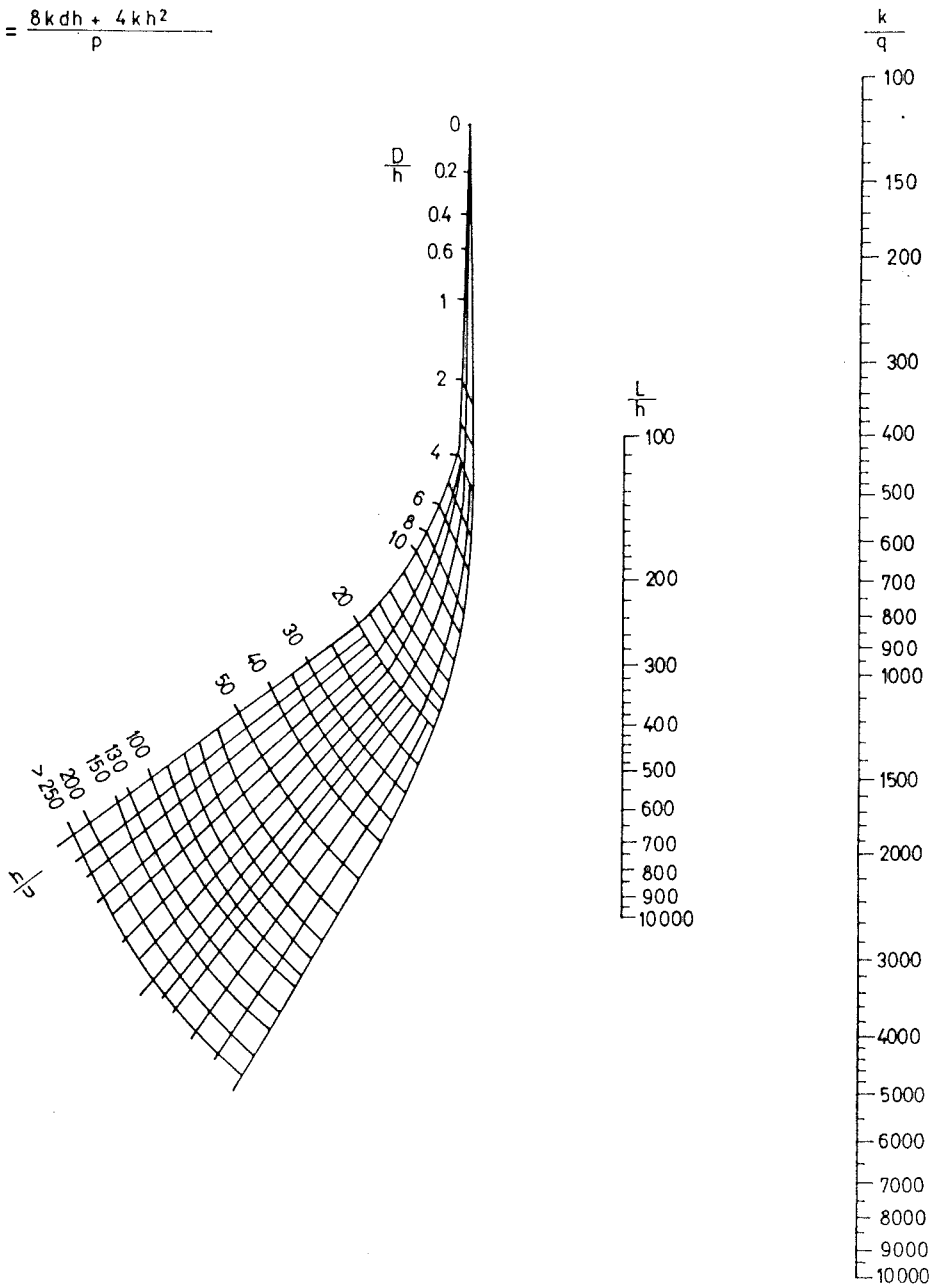
Sl. 15. Dijagram I-A (po Boumansu), homogen jednoslojni profil $k_1 = k_2$

Sl. 16. Dijagram I-B (po Boumansu)

- homogeni jednoslojni profil $k_1 = k_2$



$$L^2 = \frac{8kdh + 4kh^2}{p}$$



Razlikuju se nomogrami za uvjete:

$$\text{a) } \frac{L}{h} < 100$$

$$\text{b) } \frac{L}{h} > 100.$$

Dakle, za:

Ako opet uzmemo podatke primjera 1, tj.

$$k = 1,1 \text{ m/dan}$$

$$D = 2,5 \text{ m}$$

$$h = 0,5 \text{ m}$$

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

$$q = 7 \text{ mm/dan}$$

$$r = 0,05 \text{ m}$$

tada je $\frac{L}{h} = \frac{35}{0,5} = 70$, odnosno manje od 100. Znači, treba upotrijebiti nomogram — slika 15.

$$\text{Računa se: } \frac{h}{u} = \frac{0,5}{0,157} = 3,18$$

$$u = \pi \cdot r = 0,157 \text{ m}$$

$$\frac{D}{h} = \frac{2,5}{0,5} = 5,0$$

$$\frac{k}{q} = \frac{1,1}{0,007} = 157,1.$$

Zatim se na nomogramu nađe točka koja ima koordinate ($\frac{h}{u} = 3,18$ i $\frac{D}{h} = 5,0$). Spojimo je s točkom $\frac{k}{q} = 157,1$. Dobivena točka na skali $\frac{L}{h} = 70$ daje mogućnost određivanja razmaka:

$$\frac{L}{h} = 70.$$

Iz toga je $L = 70 \cdot h = 70 \cdot 0,5 = 35 \text{ m}$.

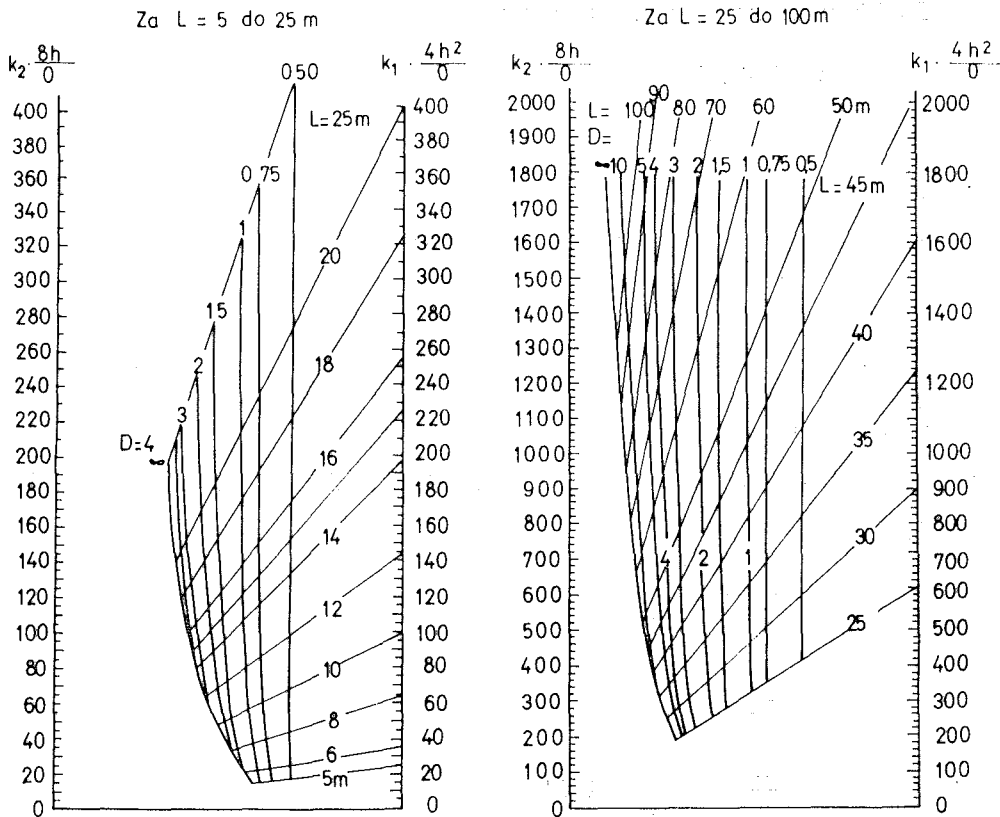
Treći mogući način određivanja razmaka cijevi (L) je Van Beersov nomogram (1965), slika 17, koji se također temelji na Hooghoudtovoju formuli. Na temelju podataka iz primjera 1. izračuna se:

$$\frac{8h}{q} = \frac{8 \cdot 0,5}{0,007} = 571 \cdot k = 571 \cdot 1,1 = 628,1$$

$$\frac{4 \cdot h^2}{q} = \frac{4 \cdot 0,5^2}{0,007} = 142,9 \cdot k = 142,9 \cdot 1,1 = 157,1$$

$$D = 2,5 \text{ m}$$

$$r = 0,05 \text{ m}.$$



Sl. 17. Nomogram za određivanje razmaka cijevi po Hooghoudtu (Van Beers, 1965)

Zatim se označi na nomogramu točka 628,1 i točka 157,1 na desnoj strani. Nakon toga, za $D = 2,5$ m dobije se razmak cijevi $L = 35$ m.

Ernstova formula je četvrti način određivanja razmaka drenažnih cijevi u homogenom tlu (slika 18)

$$h = \frac{q \cdot L^2}{8 \cdot k \cdot D_1} + \frac{q \cdot L}{\pi \cdot k} \ln \frac{D_0}{U}$$

gdje je:

h = visina podzemne vode iznad drenova, u sredini između dvije cijevi, u m

q = specifični istek ili drenažno otjecanje, u m/dan

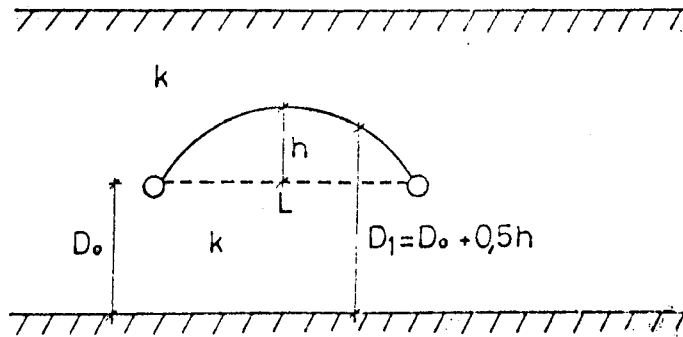
L = razmak drenažnih cijevi, u m

k = propusnost tla za vodu, u m/dan

D_0 = dubina nepropusnog sloja ispod drenova, u m

U = opseg cijevi, u m ($2r \cdot \pi$)

$D_1 = D_0 + 0,5 h$.



Sl. 18. Podaci o homogenom tlu za Ernstovu formulu

Ako uzmemo podatke iz primjera 1. ($q = 0,007$ m/dan, $h = 0,5$ m, $k = 1,1$ m/dan, $D_0 = D = 2,5$ m, $r = 0,05$ m) tada je:

$$D_1 = D_0 + 0,5 h = 2,5 + 0,25 = 2,75 \text{ m}$$

$$U = 2 r \cdot \pi = 0,1 \cdot 3,14 = 0,314 \text{ m.}$$

Odnosno, nakon rješenja Ernstove formule u principu kvadratne jednadžbe razmak drenažnih cijevi je 34,9 m.

Na temelju Ernstove formule može se odrediti razmak cijevi za homogeno tlo i pomoću nomograma (slika 19), ako je $D_0 < 1/4 L$.

Dakle: $D_1 = 2,75$ m

$$k \cdot D_1 = 1,1 \cdot 2,75 = 3,03$$

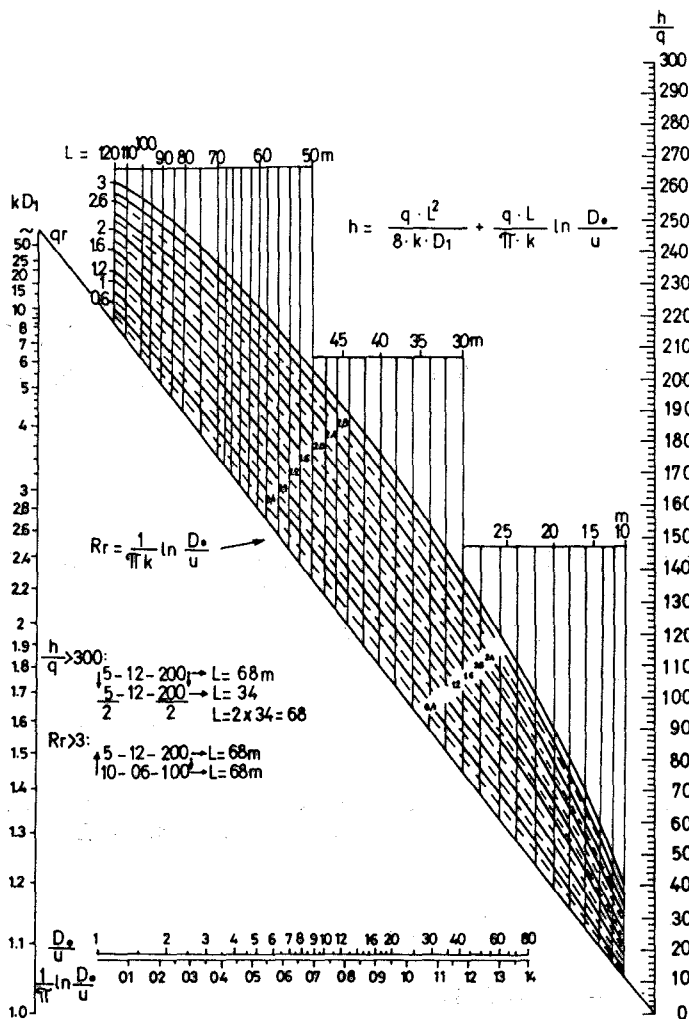
$$\frac{h}{q} = \frac{0,5}{0,007} = 71,43$$

$$\frac{D_0}{U} = \frac{2,5}{0,314} = 7,96.$$

Na dnu grafikona II (slika 19) vidljivo je na skali da vrijednosti $\frac{D_0}{U} = 7,96$ odgovara vrijednost $\frac{1}{\pi} \ln \frac{D_0}{U} = 0,65$. Na temelju te vrijednosti

dobije se $R_r = 0,65 / k = \frac{0,65}{1,1} = 0,59$: Spajajući na grafikonu II (slika 19)

točku $k \cdot D_1 = 3,03$ na lijevoj skali s točkom $\frac{h}{q} = 71,43$ na desnoj skali, nađe se točka gdje siječe ova linija vrijednosti $R_r = 0,59$. Od te točke povučemo liniju vertikalno prema gore i očitamo vrijednost za razmak drenova $L = 35$ m.



Sl. 19. Nomogram za određivanje razmaka cijevi po formuli Ernsta ako je $D < \frac{L}{4}$

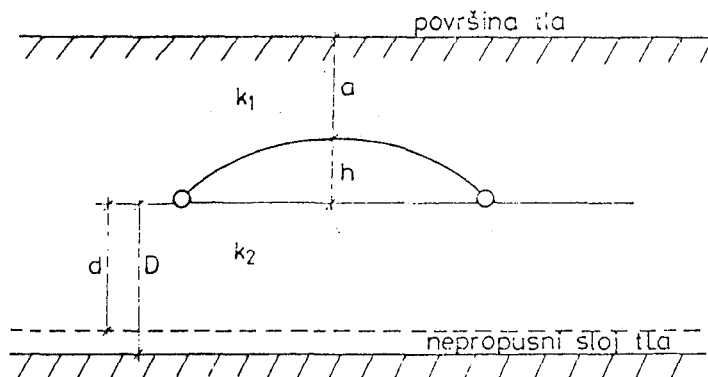
Određivanje razmaka cijevi kod dvoslojnog tla

Ovo je stanje prikazano shematski na slici 14.b (kada su cijevi na granici između slojeva) i slici 14.c (kada su cijevi nešto ispod granice). U ovom slučaju se može primijeniti i formula po Hooghoudtu i formula po Ernstu.

Formula Hooghoudta za dvoslojno tlo je

$$L^2 = \frac{8 \cdot k_2 \cdot d \cdot h}{q} + \frac{4 \cdot k_1 \cdot h^2}{q}$$

Dakle, formula sa simbolima je identična kao kod homogenog tla, s tim što je različita propusnost prvog sloja (k_1) i drugog sloja (k_2), slika 20.



Sl. 20. Dvoslojno tlo

Primjer 2: Odrediti razmak drenova ako je $k_1 = 0,4$ m/dan, $k_2 = 1,0$ m/dan, $D = 3,0$ m, $h = 0,5$ m, $t = 1,0$ m, $q = 7$ mm/dan, $r = 0,05$ m.

Za računski način određivanja razmaka pretpostavlja se razmak $L = 30$ m. Za $D = 3,0$ m, $r = 0,05$ m i $L = 30$ m, ekvivalentna dubina (d) iznosi 1,95 m (tabela 2).

Prema tome:

$$L^2 = \frac{8 \cdot 1,0 \cdot 1,95 \cdot 0,5}{0,007} + \frac{4 \cdot 0,4 \cdot 0,25}{0,007}$$

$$900 = 1114,3 + 57,1 - 1171,4 \text{ ili } L = 34,2 \text{ m.}$$

Drugi pokušaj s $L = 35$ m. U tom slučaju je $d = 2,1$ m

$$1225 = \frac{8 \cdot 1,0 \cdot 2,1 \cdot 0,5}{0,007} + \frac{4 \cdot 0,4 \cdot 0,25}{0,007} = 1200 + 57,1 = 1257,1$$

ili L je nešto veći od 35 m.

Za točan rezultat slijedeći pokušaj je $L = 35,5$ m.

Tada je $d = 2,105$ m, odnosno

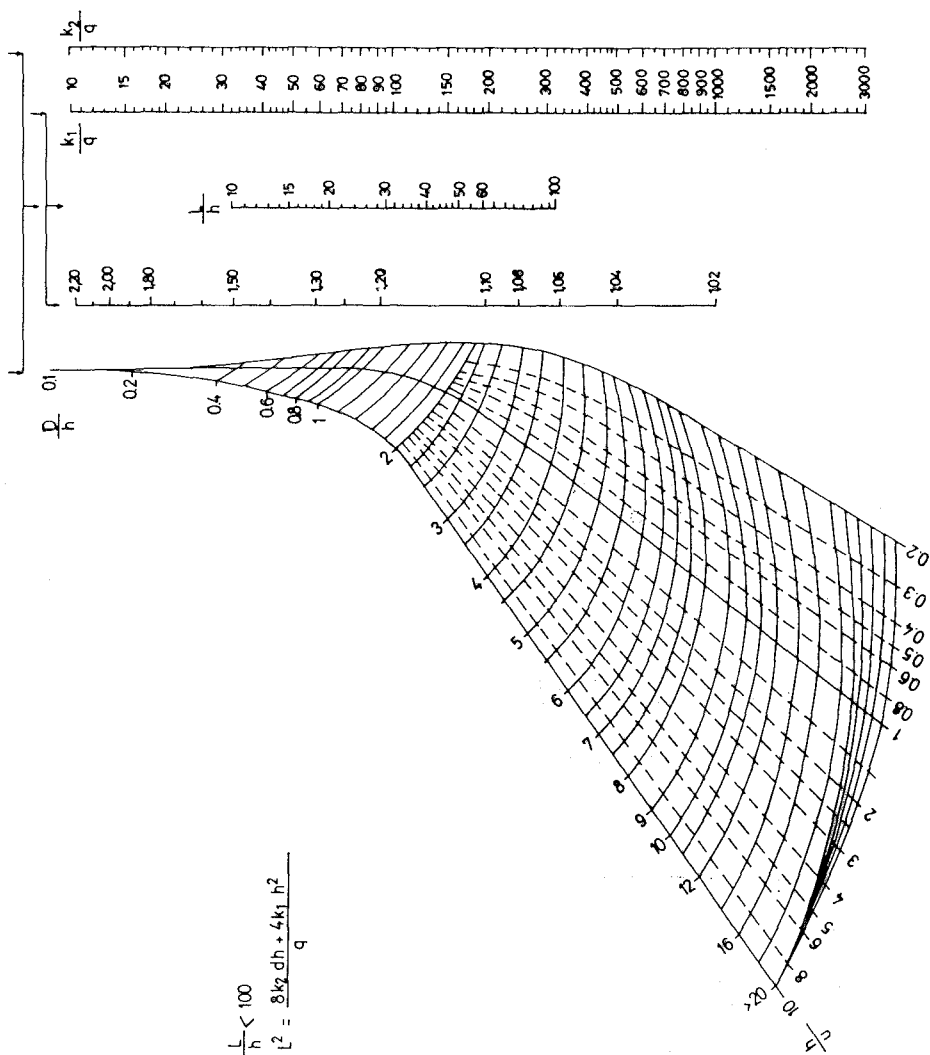
$$\begin{aligned} 1260,3 &= \frac{8 \cdot 1,0 \cdot 2,105 \cdot 0,5}{0,007} + \frac{4 \cdot 0,4 \cdot 0,25}{0,007} = \\ &= 1202,9 + 57,1 = 1260 = 35,5 \text{ m.} \end{aligned}$$

Drugi način je određivanja razmaka cijevi po nomogramu koji je izradio Boumans na temelju Hooghoudtove formule (slika 21. i 22).

I kod dvoslojnog tla se nomogram razlikuje za uvjete:

$$\text{c) } \frac{L}{h} < 100$$

$$\text{d) } \frac{L}{h} > 100.$$



Sl. 21. Nomogram po Boumansu — dvoslojni profil $k_1 + k_2$

Za podatke iz primjera 2. je $\frac{L}{h} = < 100$, pa će se upotrijebiti nomogram — slika 21.

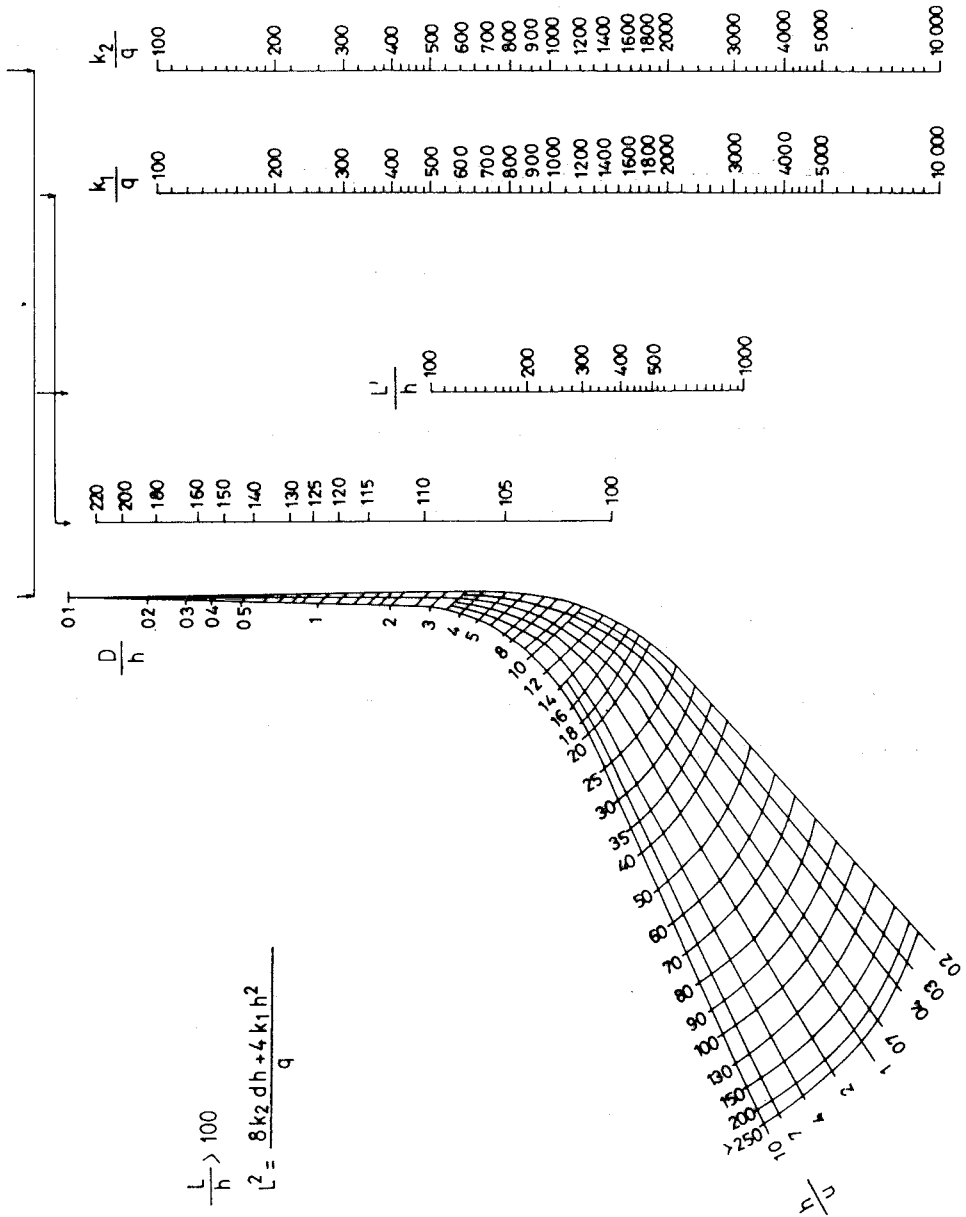
Računa se:

$$\frac{k_1}{q} = \frac{0,4}{0,007} = 57,1$$

$$\frac{k_2}{q} = \frac{1,0}{0,007} = 143$$

$$\frac{D}{h} = \frac{3,0}{0,5} = 6$$

$$\frac{h}{u} = \frac{0,5}{0,314} = 1,59.$$



Sl. 22. Nomogram po Baumansu — dvoslojni profil $k_1 \neq k_2$

Na nomogramu — slika 21, spajamo točku $\frac{h}{u} = 1,59$ i $\frac{D}{h} = 6$. Zatim točku $\frac{k_2}{q} = 143$. Nakon toga spajamo $\frac{L}{h} = 66$ sa $\frac{k_1}{q} = 57,1$. Taj pravac nam daje na skali q »a« = 1,03. Iz tih vrijednosti $L = a \cdot L' = 1,03 \cdot 66 = 68 \cdot h = = 68 \cdot 0,5 = 34,0$ m (mala razlika u odnosu na računski način — 35,5 m). Treći način određivanja razmaka cijevi je moguće vršiti s pomoću nomograma Van Beersa (1965), koji se također temelji na formuli Hooghoudta.

Na temelju podataka iz primjera 2. izračuna se:

$$\frac{8h}{q} = \frac{8 \cdot 0,5}{0,007} = 571,4 \cdot k_2 = 571,4 \cdot 1,0 = 571,4$$

$$\frac{4 \cdot h^2}{q} = \frac{4 \cdot 0,25}{0,007} = 142,9 \cdot k_1 = 142,9 \cdot 0,4 = 57,1$$

$$D = 3,0 \text{ m}$$

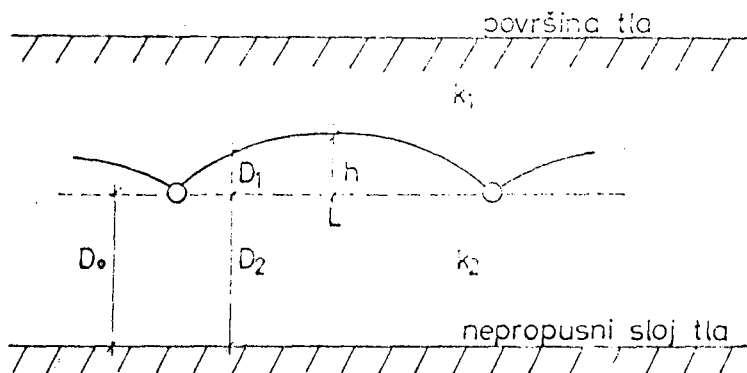
$$r = 0,05 \text{ m.}$$

Zatim se na nomogramu (slika 17) označi točka 571,4 i točka 57,1 na desnoj strani. Nakon toga za $D = 3,0$ m dobije se razmak cijevi $L = 35$ m.

Ernstova formula za dvoslojno tlo, kada su drenovi na granici tih slojeva ili su drenovi nešto ispod te granice (slika 14.b i 14.c) glasi:

$$h = \frac{q L^2}{8 (k_1 D_1 + k_2 D_2)} + \frac{q L}{\pi k_2} \ln \frac{D_0}{U}.$$

Budući da je otežano određivati razmak računskim načinom zbog kvadratne jednadžbe, u ovom slučaju će se prikazati način određivanja samo nomogramom (slika 19).



Sl. 23. Skica dvoslojnog tla kada su drenovi na granici tih slojeva

Iz podataka primjera 2. i skice (slika 23) izračunava se:

$$D_1 = 0,5 \quad h = 0,5 \cdot 0,5 = 0,25 \text{ m}$$

$$kD = k_1 D_1 + k_2 D_2 = 0,4 \cdot 0,25 + 1 \cdot 3 = 3,1$$

$$\frac{h}{q} = \frac{0,5}{0,007} = 71,4$$

$$\frac{D_0}{U} = \frac{3,0}{0,314} = 9,6.$$

$$\begin{aligned} h &= 0,5 \text{ m} \\ k_1 &= 0,4 \text{ m/dan} \\ k_2 &= 1,0 \text{ m/dan} \\ q &= 7 \text{ mm/dan} \\ D_0 &= D_2 = 3,0 \text{ m} \\ U &= 0,314 \text{ m.} \end{aligned}$$

Dakle, na nomogramu (slika 19) dobije se vrijednost $R_r = 0,72$ na temelju vrijednosti $\frac{D_0}{U} = 9,6$.

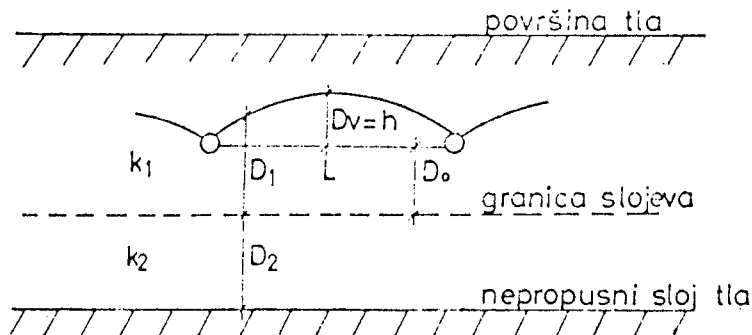
Zatim se točka $kD = 3,1$ spoji s točkom $\frac{h}{q} = 71,4$.

Od sjecišta te linije s linijom $R_r = 0,72$ ide se vertikalno i očita se razmak drenova $L = 35 \text{ m}$. Ovaj se rezultat podudara s prethodnim rezultatima dobivenim na temelju Hooghoudtove formule.

Određivanje razmaka cijevi kod dvoslojnog tla kada su cijevi u prvom sloju (iznad granice slojeva)

Ovaj slučaj je prikazan na slici 14.d, a razmak se određuje po Ernstovoj formuli:

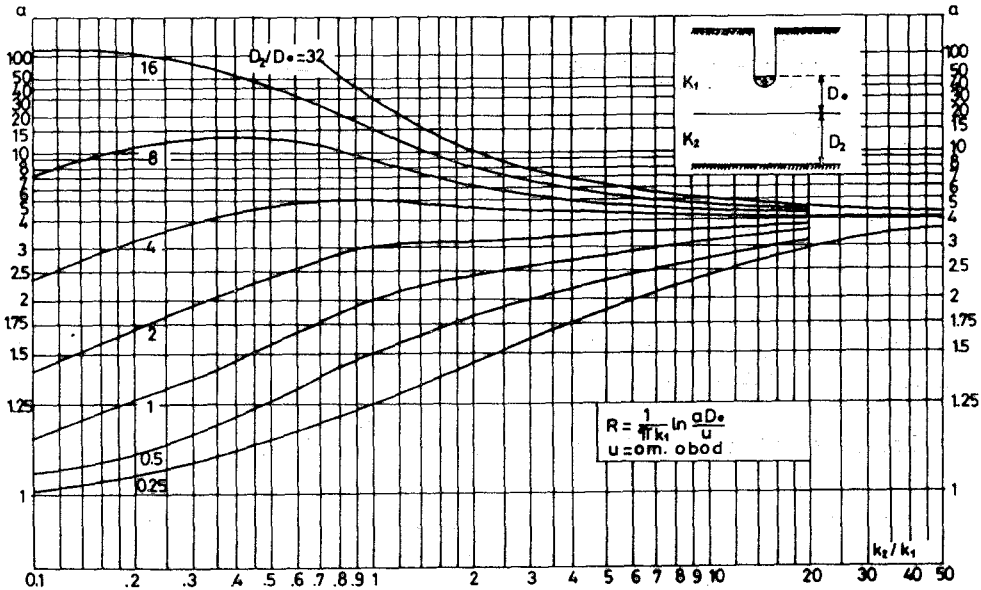
$$h = q \frac{Dv}{k_1} + \frac{q L^2}{8 (k_1 D_1 + k_2 D_2)} + \frac{q L}{\pi \cdot k_1} \ln \frac{a D_0}{u}.$$



Sl. 24. Skica dvoslojnog tla (drenovi iznad granice slojeva)

U ovoj jednadžbi se mora paziti na geometrijski faktor »a« i koju njegovu vrijednost treba uzeti. Uglavnom mogu biti tri slučaja:

- ako je $k_2 > 20 k_1$ tada je $a = 4$,
- ako je $0,1 k_1 > k_2$, onda je $a = 1$ i razmatra se slučaj kao homogeno tlo,

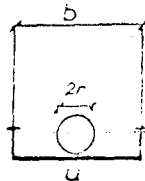


Sl. 25. Nomogram za određivanje geometrijskog faktora α u jednadžbi Ernsta

— ako je $0,1 k_1 < k_2 < 20 k_1$, tada se geometrijski faktor (a) određuje iz nomograma prikazanog na slici 25. Dakle, ova situacija je nešto kompliciranija jer se uz nomogram (slika 19) treba primijeniti i pomoćni nomogram za određivanje faktora — a . Osim toga, treba za određivanje omočenog oboda (opsega) — »U«, za drenske cijevi upotrijebiti sljedeći izraz (elementi su prikazani na slici 26):

$$U = b + 2 \cdot 2r$$

- U = omočeni obod, u m
- b = širina drenažnog jarka, u m
- r = polumjer cijevi, u m.



Sl. 26. Elementi za određivanje omočenog oboda

Primjer 3: Odrediti razmak drenova (L) za dvoslojno tlo ako je položaj drenova u gornjem sloju (iznad granice dva sloja), a podaci su:

$$\begin{aligned} D_o &= 0,6 \text{ m} \\ h &= 0,8 \text{ m} \\ q &= 0,01 \text{ m/dan} \\ D_2 &= 2,5 \text{ m} \\ k_1 &= 0,2 \text{ m/dan} \\ k_2 &= 1,5 \text{ m/dan} \\ U &= 0,25 + 2 \cdot 0,1 = 0,45 \text{ m} \\ D_v &= 0,8 \text{ m.} \end{aligned}$$

Iz ovih podataka računaju se slijedeće vrijednosti:

$$h_v = q (D_v / k_1) = 0,01 \cdot 0,8 / 0,2 = 0,04$$

$$h_h + h_r = h - h_v = 0,8 - 0,04 = 0,76$$

$$\frac{h_h + h_r}{q} = \frac{0,76}{0,01} = 76$$

$$D_1 = D_o + 0,5 h = 0,6 + 0,5 \cdot 0,8 = 1,0$$

$$k \cdot D = k_1 D_1 + k_2 D_2 = 0,2 \cdot 1 + 1,5 \cdot 2,5 = 3,95.$$

Na temelju nomograma (slika 25) odredi se geometrijski faktor (a), odnosno radijalni otpor:

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{1,5}{0,2} = 7,5$$

$$\frac{D_2}{D_o} = \frac{2,5}{0,6} = 4,17.$$

Iz toga očitano na nomogramu $a = 4,4$

$$\frac{a D_o}{U} = \frac{4,4 \cdot 0,6}{0,45} = 5,87.$$

Na temelju te vrijednosti na nomogramu (slika 19) odredi se vrijednost

$$\frac{1}{\pi} \ln \frac{D_o}{U} = 0,69.$$

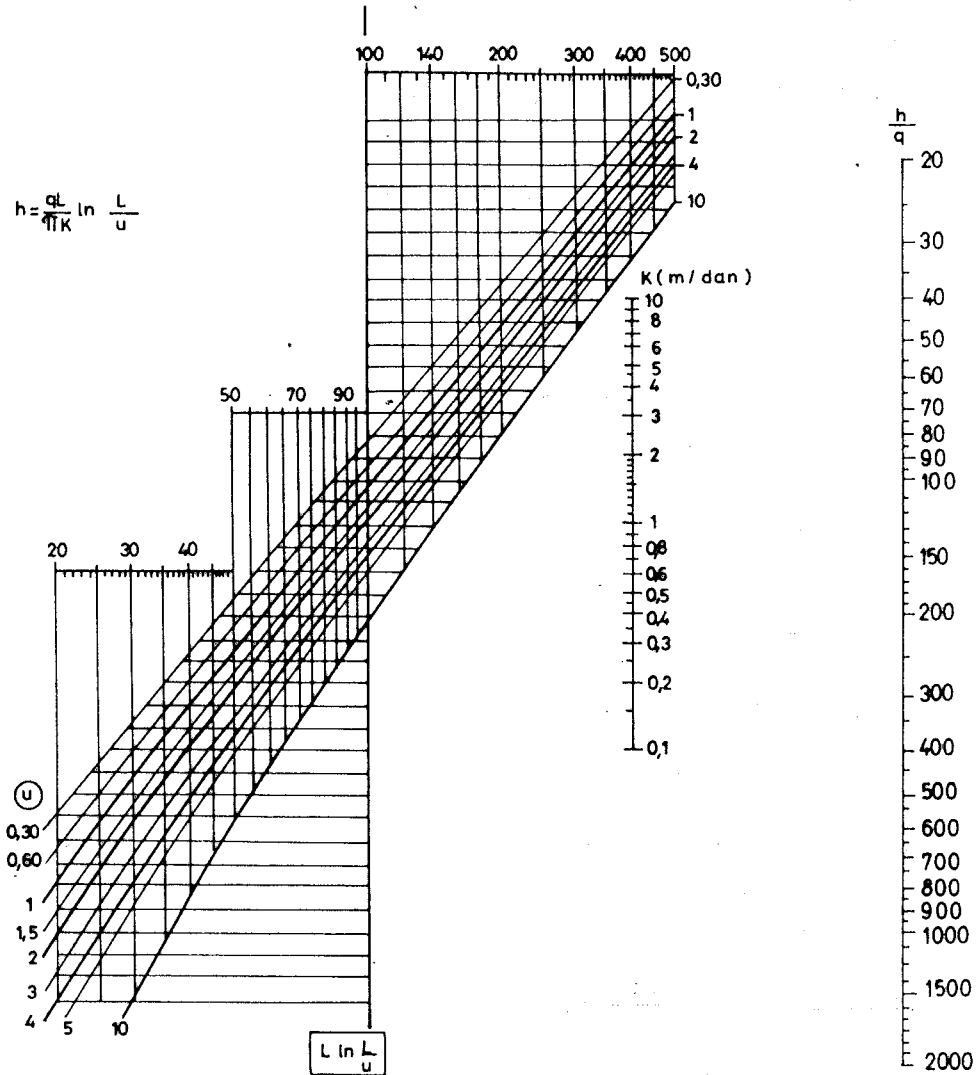
$$\text{Otuda } R_r = \frac{0,69}{k_1} = \frac{0,69}{0,2} = 3,45.$$

Za vrijednost $k D = 3,95$ na nomogramu, $\frac{h}{q} = 76$ i $R_r = 3,45$, razmak drenova (L) iznosi 20 m.

Određivanje razmaka cijevi u homogenom tlu gdje je nepropusni sloj na velikoj dubini ($D > \frac{1}{4} L$)

Za ovaj slučaj može se uspješno primijeniti formula obrazložena po Ernstu (1954), te Teksöz i Kirkham (1961):

$$h = \frac{q \cdot L}{\pi \cdot k} \ln \frac{L}{U}$$



Sl. 27. Nomogram za određivanje razmaka cijevi u homogenom tlu, ako je $D > \frac{1}{4} L$

Budući da su u ovom slučaju horizontalan i vertikalni otpor tečenja vode prema drenu beznačajni u odnosu na radijalni otpor, u navedenoj formuli je uključen samo radijalni otpor vode.

Umjesto ove formule, može se upotrijebiti i nomogram (slika 27). S pomoću njega može se brzo odrediti razmak drenova za poznate vrijednosti:

h , q , k i u , uz pretpostavku da je $D > \frac{1}{4}L$.

Primjer 4: Odrediti razmak drenova ako je:

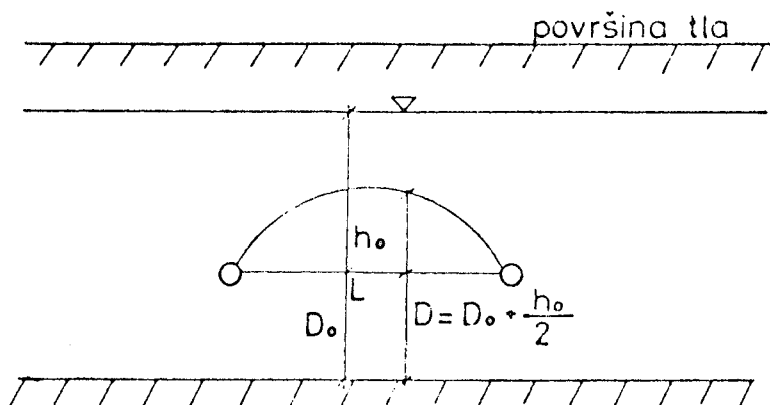
$$h = 0,8 \text{ m}$$

$$q = 0,01 \text{ m/dan}$$

$$k = 0,7 \text{ m/dan}$$

$$U = 2r\pi = 0,1 \cdot 3,14 = 0,314 \text{ m}$$

$$\frac{h}{q} = \frac{0,8}{0,01} = 80.$$



Sl. 28. Skica elemenata za nestacionarno tečenje

Spajajući točku $\frac{h}{q} = 80$ na nomogramu (slika 27) s točkom $k = 0,7$ m/dan; gdje ova linija siječe vertikalnu liniju ($L \ln \frac{L}{U}$), mijenja se pravac u horizontalni smjer do točke $u = 0,314$ m. Tada se pravac (liniju) povlači vertikalno gore i očita se razmak drenova (L) = 37 m. Ako nije poznato da je $D > \frac{1}{4}L$, tada se umjesto nomograma (slika 27) može upotrijebiti i nomogram (slika 19). Naime za podatke iz primjera 4. i za $D = 10$ m, razmak na nomogramu (slika 19) iznosi:

$$\text{Točka } \frac{h}{q} = 80, \quad k \cdot D = 0,7 \cdot 10 = 7, \quad \frac{D_0}{u} = \frac{10}{0,314} = 31,8,$$

$$\frac{1}{\pi} \ln \frac{D_0}{u} = 1,08, \quad Rr = \frac{1,08}{k} = 1,5.$$

Iz tih vrijednosti na nomogramu (slika 19) razmak drenova (L) iznosi 37 m. Dakle, isti rezultat se dobije upotrebljavajući nomogram (slika 27) i nomogram (slika 19).

U praksi se gotovo uvijek problem reguliranja visoke razine podzemne vode rješava formulama za stacionarno tečenje vode — temeljene na formulama Hooghoudta i Ernsta. To je i normalno za uvjete dugotrajnih oborina slabog intenziteta. Međutim, ako se radi o oborinama jakog i kratkotrajnog intenziteta, kao pri primjeni navodnjavanja ili pri izvođenju ispiranja soli (desalinizacija) taad dolazi naglije do promjene razine podzemne vode i u tom slučaju se radi o nestacionarnom tečenju.

Postoji više rješenja za nestacionarno tečenje, ali su sva kompleksna zbog brojnih faktora, pa su ona u stvari približna. Sva rješenja za nestacionarno tečenje se temelje na horizontalnom tečenju.

Jedna od primjenljivih metoda za određivanje razmaka drenova je Glover-Dummova jednadžba (1954):

$$L = \pi \left[\frac{k \cdot D \cdot t}{f \cdot \ln \frac{4 \cdot h_o}{\pi \cdot h_t}} \right]^{1/2}$$

gdje je:

$k \cdot D$ = moćnost akvifera, u m^2/dan

t = vrijeme, u danima

f = efektivna poroznost tla

h_o = početna visina podzemne vode, u m

h_t = visina podzemne vode nakon vremena t , u m

L = razmak drenova, u m.

Ova formula je temeljena na Boussinesqovoj diferencijalnoj jednadžbi, odnosno na više pretpostavki, pa se dobiveni rezultati mogu primiti s rezervom (Srebrenović, 1975). Inače se slučaj primjenjuje za homogenu propusnu sredinu kada su drenovi postavljeni iznad nepropusnog sloja za vrijednost D .

Budući da se ovdje radi o horizontalnom toku koji zahtijeva da je D_o manji od L , a kroz jednadžbu kontinuiteta (na kojoj bazira ova jednadžba) da je D_o veći od h_o , neki autori smatraju da bi trebalo Glover-Dummovu jednadžbu korigirati nekim korekcijskim faktorom dobivenim eksperimentalnim načinom (Kemper, citirano po Srebrenoviću, 1975). Isto tako je potrebno zanemareni radijalni tok (konvergencija toka u blizini drena) eliminirati uvođenjem »ekvivalentne dubine — d_e umjesto D_o na principu Hooghoudtova pristupa. U tom slučaju bi se, pri korištenju Glover-Dummove formule, razmak drenova dobio pokusnim načinom, jer je ekvivalentna dubina — d funkcija od razmaka drenova — L . U tu svrhu se, dakle, treba upotrijebiti tabela 2. Kako je Dumman (1960) pri izradi paraboličnog oblika razine vode zamijenio faktor $\frac{4}{\pi} = 1,27$ u $1,16$, tako Glover-Dummova jednadžba za praktične svrhe glasi:

$$L^2 = \frac{10 \cdot k \cdot d \cdot t}{f \cdot \ln(1,16 \frac{h_o}{h_t})}$$

Primjer 5: Nakon navodnjavanja razina vode nalazi se na 0,3 m ispod površine. Potrebno je vodu sniziti na 0,8 m prije slijedećeg navodnjavanja koje će se izvoditi u razmaku od 10 dana. Koliki je potreban razmak drenova (L), ako je:

- dubina nepropusnog sloja (D_0) = 3,0 m
- dubina drenova 1,3 m
- promjer drenova (r) = 0,05 m
- propusnost tla za vodu (k) = 0,6 m/dan
- efektivna propusnost tla (f) = 0,07.

Iz navedenih podataka izlazi da je:

$$h_0 = 1,3 - 0,3 = 1,0 \text{ m}$$

$$h_i = 1,3 - 0,8 = 0,5 \text{ m}$$

$$D = 1,7 + \frac{1,0}{2} = 2,2 \text{ m,}$$

odnosno, razmak drenova iznosi:

$$L^2 = \frac{10 \cdot 0,6 \cdot d \cdot 10}{0,07 \cdot \ln\left(1,16 \frac{1,0}{0,5}\right)} = \frac{60 \cdot d}{0,07 \cdot \ln 2,32} = \frac{60 \cdot d}{0,1624} = 369,5 \cdot d.$$

Ako je promjer drema 0,05 m i pretpostavimo razmak 30 m, tada će se dobiti »d« = 1,95.

Iz toga proizlazi da je $L^2 = 369,5 \cdot 1,95 = 27 \text{ m}$.

5.2.1.3. Pad drenova

Ovisi o promjeru cijevi i brzini vode koja treba biti u cijevi. To proizlazi i iz izraza:

$$I = \frac{v^2}{c^2 \cdot R}$$

I = relativni pad cijevi, u m/m

v = brzina vode u cijevi, u m/sec

R = hidraulički radijus, u m

c = koeficijent brzine vode.

Hidraulički radijus određuje se:

$$R = \frac{F}{O} = \frac{\frac{d^2 \cdot \pi}{4}}{d \cdot \pi} = \frac{d}{4}$$

F = omočena površina, u m²

O = omočeni obod cijevi, u m

Omočena površina: $F = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$

Omočeni obod: $O = d \cdot \pi$

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

m = koeficijent hrapavosti cijevi (dobije se iz tablica, a za cijevi cijevne drenaže iznosi 0,22).

Za cijevi sisala pad se praktično uzima 1,5—3,0 promila, a za cijevi hvatala 1,0—2,0 promila. Napominje se da minimalna brzina vode u cijevi iznosi 0,25 m/sec, a maksimalna 1,0 m/sec. U tom slučaju teže dolazi do zamuljivanja, odnosno narušavanja funkcionalnosti drenaže.

5.2.1.4. Dimenzije cijevi

Promjer cijevi razlikuje se za sisala i hvatala. Sisala imaju najčešće promjer 50, 65 i 80 mm. Hvatala su većeg promjera od 80 mm, a određuje se dimenzioniranjem. Naime, promjer cijevi ovisi o površini s koje se voda slijeva u dren, specifičnom dotoku, padu drena i o materijalu od kojeg je cijev izrađena. Cijevi mogu biti od pečene gline, betona i plastične. Najviše se upotrebljavaju plastične od PVC materijala.

U praksi se najčešće promjer plastičnih cijevi određuje:

— glatke PVC cijevi: $Q = 89 \cdot d^{2,71} \cdot I^{-0,57}$

— rebraste PVC cijevi: $Q = 38 \cdot d^{2,67} \cdot I^{-0,5}$.

Za praktično određivanje promjera cijevi prikladniji su dijagrami, koji su temeljeni na ovim formulama, slika 29. i 30.

Pored ovih dijagrama prilažu se po Wesselingu (za glatke cijevi) i Manningu (za nabrane cijevi), slika 31.

Za računski način određivanja promjera drenova prikladna je i formula po Gieseleru (citirano po Mihaliću et al, 1978):

$$d = \frac{1}{3} \sqrt[5]{\frac{Q^2}{I}}$$

d = promjer cijevi, u m

Q = količina vode koja će prolaziti kroz cijev, u m³/sec

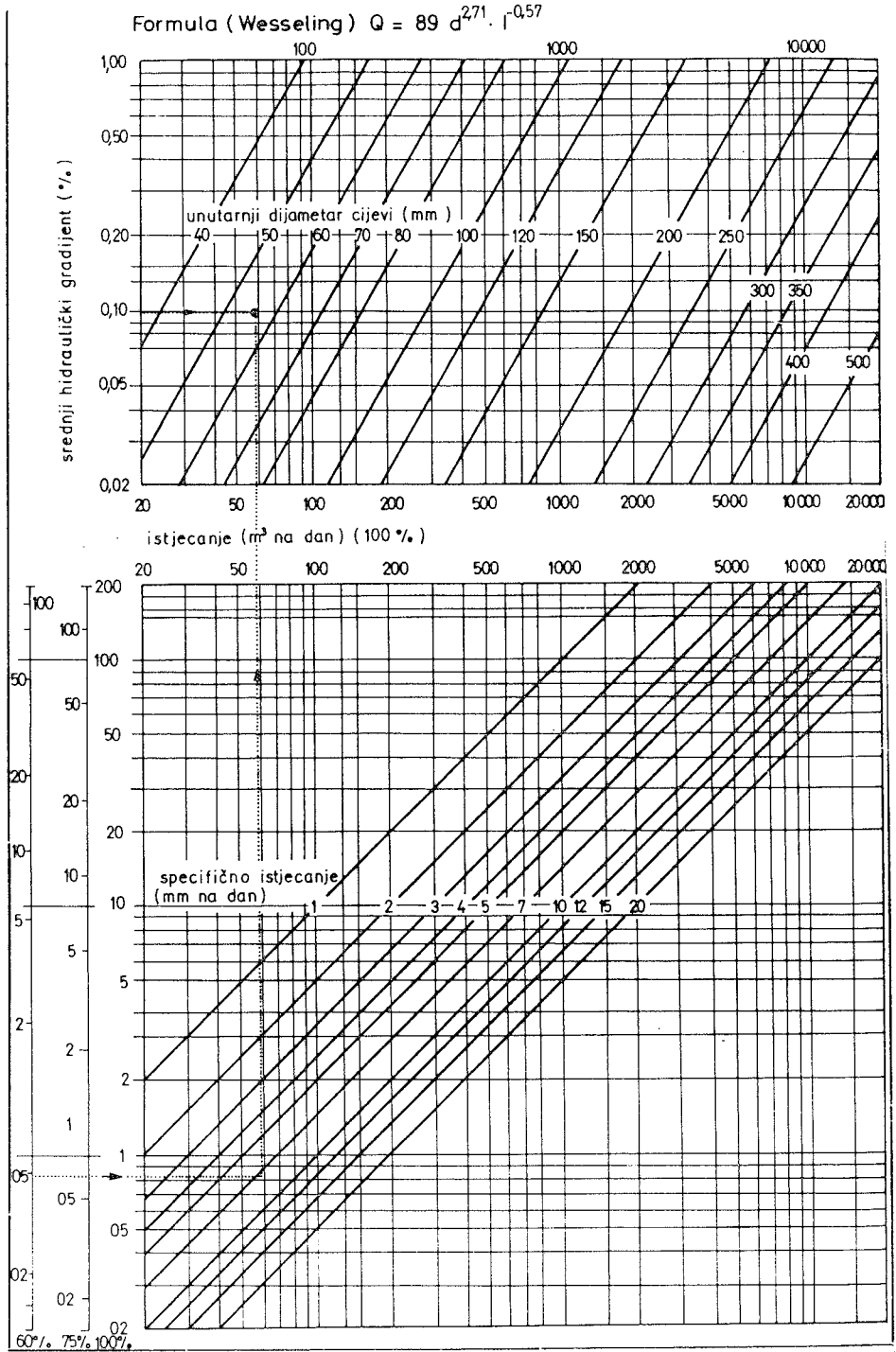
I = relativni pad cijevi, u m/m

Q = P · q

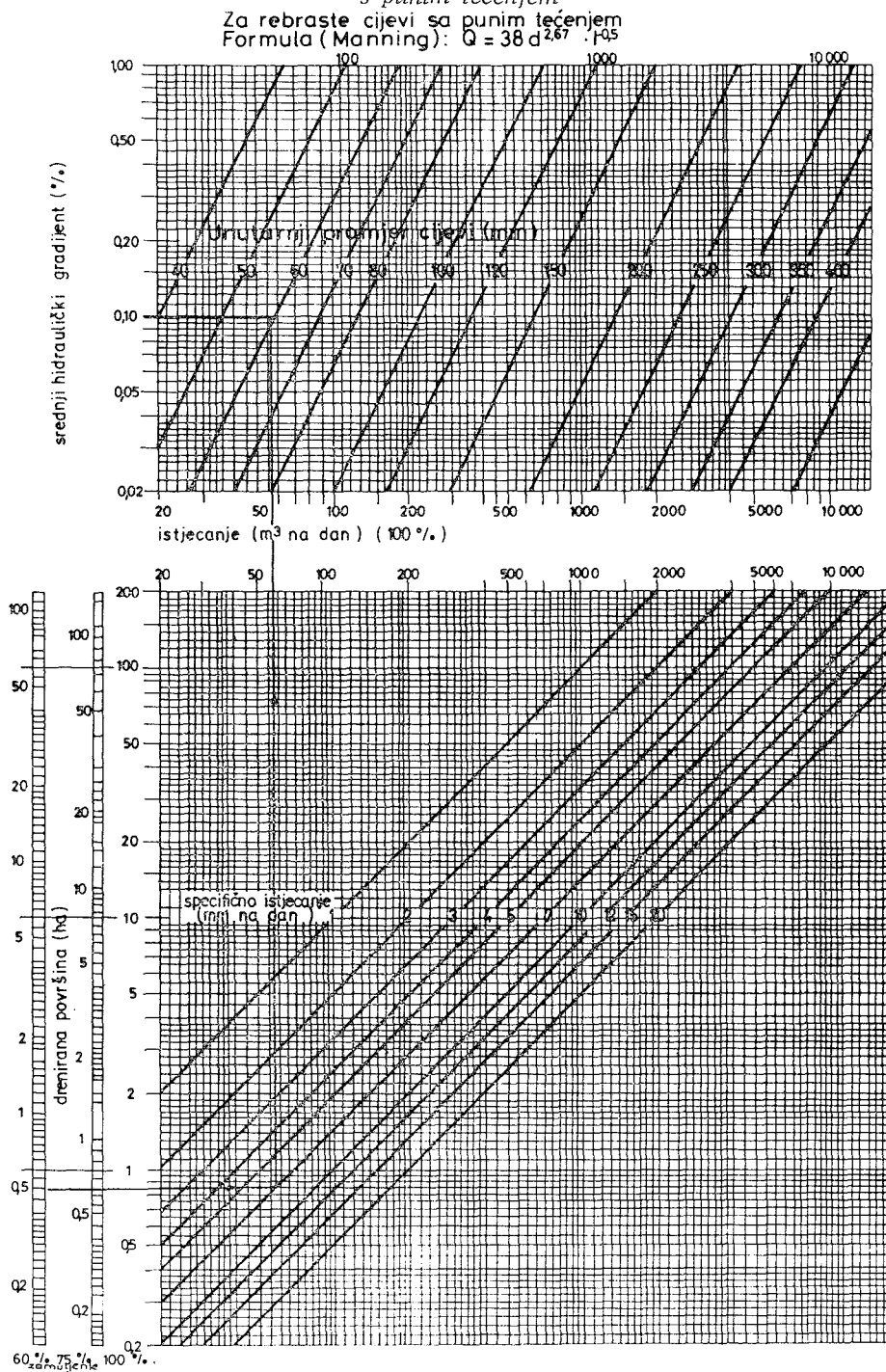
P = površina s koje se voda slijeva u cijev, u ha

q = specifični dotok vode, u l/sec/ha (ranije je opisan u ovom radu).

Sl. 29. Dijagram za određivanje kapaciteta drenskih cijevi za glatke cijevi s punim tečenjem

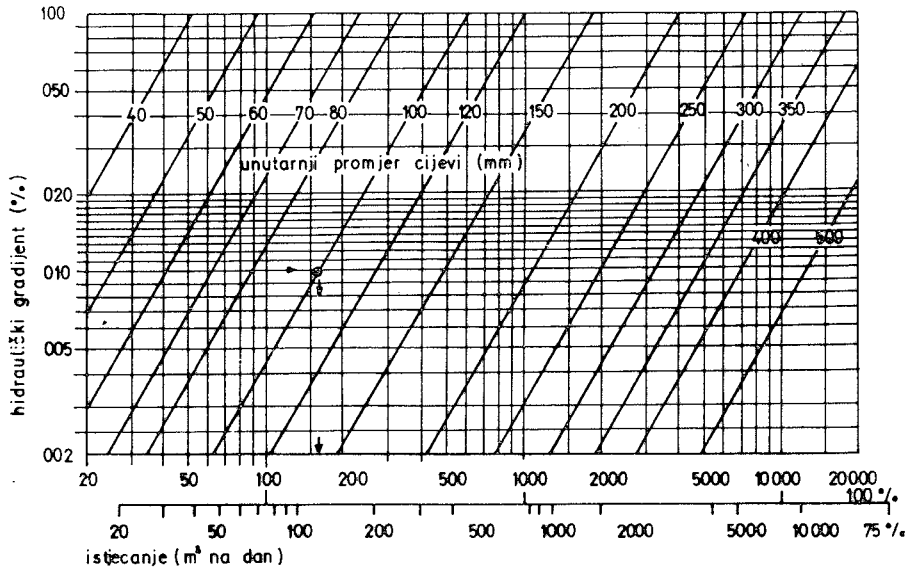


Sl. 30. Dijagram za određivanje kapaciteta drenskih cijevi za rebraste cijevi s punim tečenjem

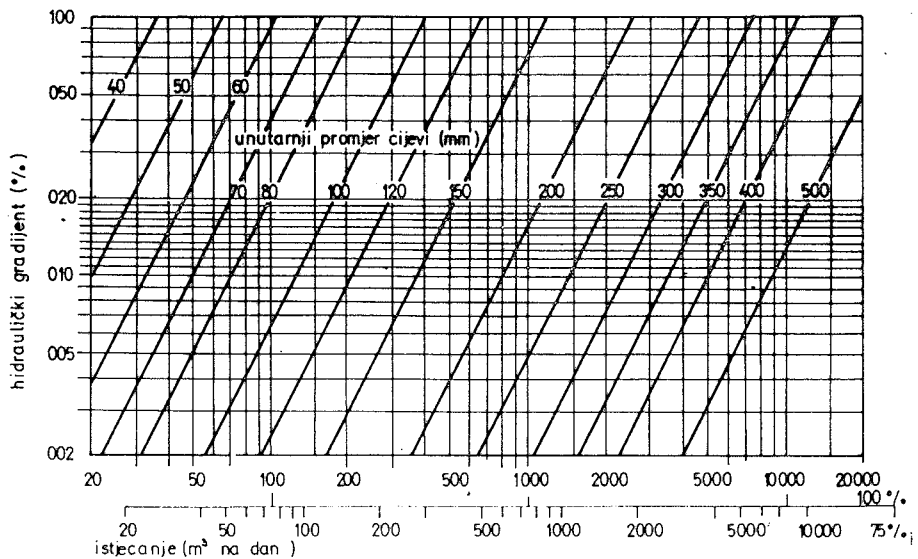


Sl. 31. Dijagram za određivanje kapaciteta drenskih cijevi

A Glatke cijevi (formula Wesselinga) $Q = 50 d^{2.71} \cdot I^{0.57}$



B Rebraste cijevi (formula Manninga) $Q = 22 d^{2.67} \cdot I^{0.5}$

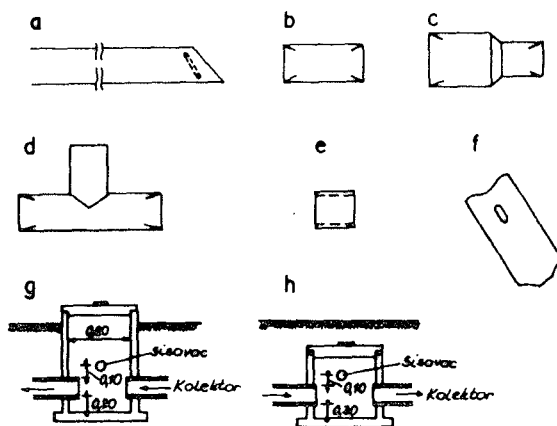


Dužina plastičnih cijevi uglavnom iznosi 50—200 m, a isporučuju se u kolutima. Perforirane cijevi najčešće imaju šest redova rupa sa cca 100 rupa (otvora) na dužni metar. Promjer otvora je 0,6—0,9 mm, 1,1—1,5 mm ili 1,7—2,0 mm, tako da ukupna površina otvora po metru dužnom iznosi 12—48 cm². Veličinu, odnosno oblik i dimenzije otvora na cijevima treba prilagođavati geomehaničkim svojstvima tla, kako bi se preventivno spriječio problem zamuljivanja cijevi. Kod plastičnih cijevi voda ulazi kroz ove otvore (rupe), a glinenih na spojnim mjestima (glinene cijevi su dužine 33 cm i spajaju se na principu »tupi sudar«).

5.2.1.5. Položaj drenova

Položaj drenova u odnosu na pad terena vrlo je važan. U odnosu na smjer pada terena, odnosno smjer gibanja podzemne vode, moguće je cijevi postaviti: paralelno s padom, okomito na pad i koso na pad terena. Najpovoljniji je kosi položaj drenova, jer u tom slučaju, pod određenim kutem, presjecaju put gibanja vode, pa vodu dobro primaju a potom je uspješno odvođe.

5.2.1.6. Fazonski dijelovi i građevinski detalji



Sl. 32. Fazonski dijelovi i građevinski detalji
(izljevna cijev — a, spojnica — b, reduksijska spojnica — c,
T-spojnica — d, čep — e, zaštitna folija — f, površinsko
kontrolno okno — g, podzemno okno — h)

Osnovni fazonski dijelovi i građevinski detalji su prikazani na slici 32. U sistemu cijevne drenaže puno se primjenjuje izljevna cijev (a) = s poklopcem i zaštitnom plastičnom folijom (f) koja štiti od erozije i podlokavanja pokosa kanala pri isteku vode iz cijevi u kanal. Isto su tako značajne spojnice za spajanje cijevi (b) i reduksijske spojnice za (c), kao i T-spojnice (d) i čepovi (e) na kraju cijevi. Za spajanje drenažnih cijevi primjenjuju se i kontrolna okna koja se mogu izvesti nadzemno (g) i podzemno (h). Okna se koriste uglavnom na kolektorima (hvatala) pri njihovu skretanju, lomu, promjeni profila i svladavanju denivelacijskih visina. Pri podzemnim oknima trebaju se postaviti na veću dubinu od dubine obrade tla.

5.3. Kombinirana detaljna odvodnja

Ovaj sistem odvodnje sve se više primjenjuje u svijetu i u nas. Pogodna je za reguliranje suvišnih površinskih i potpovršinskih voda (stagnirajuće i podzemne istovremeno). Amfiklejna su tla prekomjerno vlažena oborinskim i podzemnim vodama tako da se pojavljuju i suvišne stagnirajuće vode u rizosferi uslijed formiranog slabo propusnog horizonta u aktivnom dijelu profila tla. Osim reguliranja vodnog režima, u ovim teškim prilikama kombinirana detaljna odvodnja primjenjuje se i za reguliranje stagnirajućih suvišnih voda iznad slabije propusnih horizonata. Ove se vode posebno pojavljuju manjim ili većim dijelom godine u pseudoglejnim tlima.

Sistem kombinirane detaljne odvodnje nastavlja se na kanalsku mrežu (najčešće na kanale III reda), a sastoji se od cijevne drenaže s filter materijalom i dodatnih mjera. Od dodatnih mjera primjenjuje se pojedinačno ili u kombinaciji krtična drenaža, duboko rahljenje ili podrivanje, duboka obrada tla, kalcizacija, te mjere za popravljivanje strukture tla (kondicioneri, meliorativna organska gnojidba) ovisno o postojećim prilikama i potrebnom pravcu u poboljšanju vodo-zračnih svojstava u tlu.

5.3.1. Filter materijal

Kao filter za drenažni sistem danas se koriste razni prirodni materijali: šljunak, lomljeni kamen, otpaci od cigle, crijepa i sl. Zatim materijali organskog porijekla: slama, trska, šiblje, pilovina, treset, vlakna od kokosa. Onda umjetni filter materijali: otpaci plastičnih masa, stiropor, razne bitumenske tvari, tekstilna plastična vlakna. Kao filter materijal koristi se i prirodna prosušena zemlja (za površine koje imaju dobru i stabilnu strukturu), zemlja pomiješana sa CaCO_3 , razne emulzije pomiješane sa zemljom koje imaju svojstvo stvaranja granulirane strukture. Međutim, mnogi ovi materijali još se ispituju, pa se o njihovoj funkciji još ne može definitivno reći.

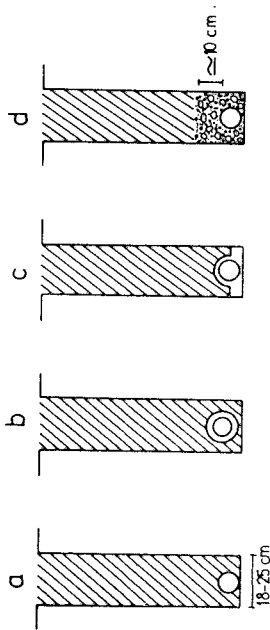
S obzirom na funkciju filter materijala u sistemu detaljne odvodnje razlikujemo:

- mehanički filter,
- hidraulični ili kontaktni filter.

5.3.1.1. Mehanički filter

On ima prvenstvenu ulogu da spriječi zamuljivanje drenskih cijevi od čestica sitnog pijeska i krupnog praha. Tla kod kojih treba primijeniti mehanički filter obično imaju veliki postotak čestica veličine 20—100 mikrona. Naime, najlakše dolazi do zamuljivanja cijevi u tlu gdje prevladavaju čestice praškastog pijeska, praha ili pjeskovitog praha. Danas se koriste mehanički filteri prikazani na slici 33. Da bi sipki filter materijal izvršio ulogu sprečavanja zamuljivanja drenskih cijevi materijal mora biti granuliran. Veličina čestica i njihov odnos ovisi o teksturnom sastavu tla na kojem će se mehanički filter primijeniti. U tom slučaju za praksu se koristi odgovarajući nomogram (slika 34). Budući da je u praksi teško postići potrebnu granulaciju materijala, dosta se koriste umjetni omotači oko drenskih cijevi kao mehanički filter. Najraširenije je u upotrebi kokosovo vlakno, te razne filter plastice. Drenažne cijevi omotaju se ovim materijalima, a nakon toga se polažu strojevima — drenopolagačima u tlo.

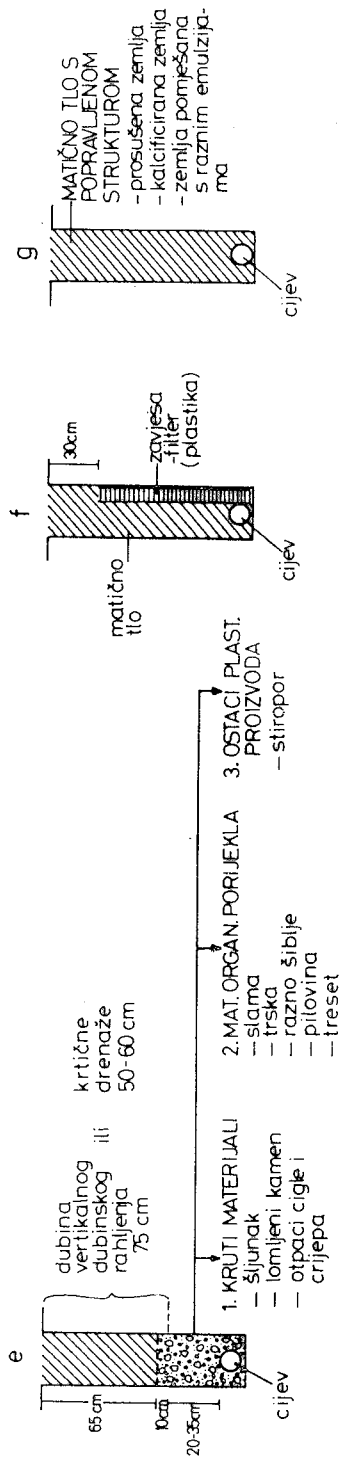
MEHANIČKI FILTER (a,b,c,d)



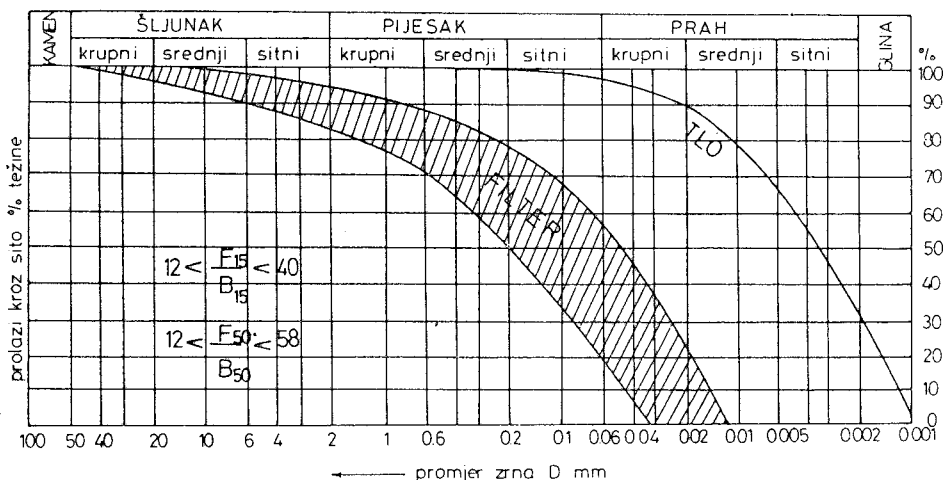
Legenda :

- a ○ cijev profila 50, 65 ili 80 mm
 - b ⊙ omotač oko cijevi (kokos, tkanina, plastica)
 - c ⊙ plastica postavljena preko cijevi
 - d ⊙ granulirani materijal (šljunak, lomljeni kamen)
- matično tlo

HIDRAULIČNI ILI KONTAKTNI FILTER (e, f, g)



Sl. 33. Vrste filter materijala koji se najčešće primjenjuju u sistemu detaljne odvodnje cijevnom drenažom



Sl. 34. Granulometrijski dijagram tla i filter materijala

5.3.1.2. Hidraulički ili kontakti filter

Ima ulogu da ubrza dotok vode kroz jarak u drensku cijev. Visina ovog filtra iznad drenske cijevi u jarku treba biti tolika da omogući spoj podriivanja ili krtičenja s drenskom cijevi, odnosno minimum 10 cm iznad spomenutih dodatnih mjera. Širina filtracijskog sloja teoretski bi mogla biti 7–10 cm, zavisno od promjera drenske cijevi. Međutim, u praksi se ovo teško postiže jer su rijetki strojevi koji otvaraju drenski jarak uži od 20 cm. Na taj način troši se puno filter materijala i poskupljuje izvođenje drenažnih radova. U zadnje vrijeme u Engleskoj se vrši ispitivanje na konstrukciji stroja koji će pri polaganju cijevi stavljati i filter materijal u širini vanjskog promjera drenske cijevi.

Pri korištenju prirodnog filter materijala (šljunak, tucani kamen, otpaci cigle, crijepa i sl.) promjer zrna najčešće u praksi je 3–50 mm. Osim ovih materijala, za kontakti se filter koristi plastična zavjesa (slika 33).

Sada se u svijetu ispitivanje upotreba umjetnih filter materijala za kontakti filter. Ovi materijali bi mogli, zbog lakoće transporta i ugradnje, biti u prednosti, ako bi imali slična hidraulična svojstva, te istu ili nižu cijenu koštanja. Isto je tako i s raznim kemijskim emulzijama i bitumeniziranim masama. Radi potreba i načina primjene filtera, potrebno je poznavati svojstva tla, a posebno uslojenost, zbijenost, mehanički sastav i propusnost za vodu. Ova svojstva određuju se prethodnim hidropedološkim istraživanjima na površinama gdje se namjerava urediti vodo-zračni režim tla.

5.3.2. Dodatne mjere u sistemu kombinirane detaljne odvodnje

Ove mjere imaju agromelioracijski karakter. One će biti detaljnije razrađene u posebnom radu ovog priručnika. Međutim, krtična drenaža i duboko rahljenje ili podriivanje izravno utječu na reguliranje vodnog režima u tlu, pa će se u ovom radu prikazati samo u osnovnom obliku.

5.3.2.1. Krtična drenaža

Predstavlja nužnu dodatnu mjeru u sklopu kombinirane odvodnje na tlima teškog teksturnog sastava. Ova su tla u aktivnom dijelu profila zbijena, slabo propusna za vodu, pa se oborinske vode (pogotovu ako su obilatih količina i većeg intenziteta) ne mogu procijediti u dublje slojeve tla. Takvo je tlo trajno ili periodično suviše vlažno. Krtičnom drenažom, u stvari, izvode se podzemni rovovi (horizontalni krtičnjaci), pa je djelotvornija na težim glinovitim tlima. Ne može se uspješno primijeniti u tlima s manje od 30 % glinenih čestica, tj. na pjeskovitim, pa i ilovastim tlima. Izvodi se s pomoću specijalnih krtičnih plugova koji posjeduju kuglu (u obliku torpeda) 5—10 cm promjera.

Plug vuče traktor. Smjer krtičenja u pravcu najvećeg pada terena je najpovoljniji, a može biti i pod izvjesnim kutem. Pad krtičenja treba iznositi minimalno 0,5 %, a može biti i do 7 %. Dubina krtičnjaka je 50—60 cm, a razmak 1—5 m (najčešće 2—3 m). Pri izvođenju krtične drenaže vlažnost tla treba biti odgovarajuća kako bi se formirale krtične bušotine. Ako je tlo suviše suho, ono puca, a i pri većoj vlažnosti ne može stvoriti krtični dren. Tlo (zdravica) treba biti u stanju vlažnosti koje odgovara krutom do mekom stanju plasticiteta, a površinski sloj toliko suh da kretanje stroja ne izaziva nikakve štete. Krtičenje je privremena mjera a obnavlja se prema potrebi. Trajnost (3—10 godina) ovisna je o vrsti tla, uvjetima i kvaliteti izvođenja. S obzirom na to da se izvodi kao dodatna mjera cijevnoj drenaži potrebno je:

- prije izvoditi cijevnu drenažu, a potom krtičenje,
- izvodi se okomito ili koso na cijevne drenove,
- drenski jarak treba napuniti filter materijalom do 10 cm iznad dubine krtičnjaka kako bi suvišna voda nesmetano iz krtičnjaka dolazila u cijevne drenove.

5.3.2.2. Dubinsko rahljenje ili podrivanje

Primjenjuje se kao dodatna mjera u sklopu kombinirane detaljne odvodnje u svrhu reguliranja vodo-zračnog režima. Ovom se mjerom od zbijenog tla dobiva rastresito tlo koje može dobro prihvatiti vodu i koje postaje prozračno u aktivnom dijelu profila. Izvodi se na tlima u kojima postoji zbijeni podoranični sloj koji sprečava ocjeđivanje vode. Podrivanje nije pogodno za vlažno-plastična tla bogata glinom (više od 30 % gline), ali nije pogodno ni za tla bogata muljem, odnosno ako je sadržaj gline u njima manji od 17 %. Posebno treba voditi brigu o tome da se dubinsko rahljenje izvodi u vrijeme dovoljno osušenog tla (granica krutosti), jer se samo tada vrši potrebno raspucavanje i rahljenje tla. Podriva se u ljeti, obično poslije žetve žitarica, repice, graška, te košnje djetelina i trava. Poslije dubinskog rahljenja u pravilu treba doći ozima pšenica, jer tako otpada za cijelu vegetaciju obrada i gaženje površine. Osim pšenice, može doći ozima repica ili jarine. Dubinski rahljači ili podrivači mogu biti s jednim ili više radnih organa koji su statični ili vibracijski. Izvodi se u smjeru pada terena, odnosno okomito ili koso na drenažne cijevi u padu do 5 %. Dubina podrivanja ovisi o dubini cijevne drenaže (podrivanje treba biti pliće najmanje 20 cm) i dbini zbijenog sloja tla, pa se izvodi od 60—80 cm. Razmak prolaza podrivača je od 75—100 cm.

LITERATURA:

1. *Beers, W. F. J. van* (1965): Some nomographs for the calculation of the drain spacing, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Bulletin No 8, Wageningen.
2. *Feddes, R. A.* (1971): Eater, heit and crop growth, Med. Landbouevhogechool, Wageningen, 184 p.
3. *Ernst, L. F.* (1963): De berekening van groudwaterstroming tussen evenwijdige open leidingen, Institute for Land and Water Management Research, Wageningen.
4. *Dumm, L. D.* (1954): Drain spacing formula, Agr. Eng. 35, 726—730.
5. *Đaković, B.* (1979): Opravdanost i ekonomski efekti uređenja zemljišta cijevnom drenažom, Savjetovanje o uređenju površina s gledišta hidro i agromelioracija, Knjiga III, Zadar.
6. *Groot, J. M.* (1973): Drainage investigations of heavy soils in the upper Sava Valley, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Disertacija, Zagreb.
7. *Hooghoudt, S. B.* (1940): Bijdragen tot de kennis van enige natuurkundige grootheden van den grand, no. 7, Verslagen van Land bouwkundige Onderzoekingen 46.
8. *Matković, J.* (1968): Odvodnja i privođenje kulturi teških tala, Direkcija za Savu, Zagreb.
9. *Matković, J.* (1971): Regulaciona odvodnja, Savjetovanje o Posavini, Poljoprivredni fakultet, Zagreb.
10. *Marjanov, M.* (1964): Premer i melioracije zemljišta, Građevinska knjiga, Beograd.
11. *Marjanov, M., Vučić, N.* (1961): Dubina podzemne izdani i kulturna biljka, Letopis naučnih radova, br. 5, Novi Sad.
12. *Mihalić, V., Miljković, N., Neugebauer, V., Mušac, I.* (1980): Problemi intenziviranja proizvodnje na anormalnim zemljištima, uključujući odvodnju i druge meliorativne zahvate, VI kongres JDZPZ, Novi Sad.
13. *Mihalić, V., Butorac, A., Tomić, F.* (1978): Agrobiotopi mediteranskog područja i optimalizacija stanišnih uvjeta za vrtlarstvo, Postdiplomski studij — predavanja, Zagreb — Split.
14. *Milošev, Z.* (1967): Neka zapažanja o mogućnosti gajenja ratarskih kultura u Novosadsko mritu (biljka i prva izdan), Suvremena poljoprivreda br. 2, Novi Sad.
15. *Milošev, Ž.* (1977): Ogljedna stanica za izučavanje vodno-vazdušnog režima zemljišta, Vodoprivreda br. 45—46, Beograd.
16. *Pejović, B.* (1974): Analiza efekta stare cijevne drenaže na neke osobine zemljišta, Zemljište i biljka, Vol. 231, Beograd.
17. *Plamenac, N., Timarić, Z.* (1967): Efekat cevne drenaže na uređenje vodnog režima glejnih zemljišta u slivu Karašice i Vučice, Zemljište i biljka, Vol. 22, No 1, Beograd.
18. *Plamenac, N.* (1973): Utjecaj nivoa podzemnih voda nizinskih glejnih zemljišta na prinose u uslovima različite dreniranosti, Zemljište i biljka, Vol. 22, No 1, Beograd.
19. *Plamenac, N., Uzelac, M.* (1977): Cevna drenaža kao mera uređenja vodnog režima zemljišta Godomirskog rita, Vodoprivreda br. 45—46, Beograd.
20. *Sieben, W. H.* (1964): Het verband tussen outwatering en opbrengst bij de jange zavelgronden in de Noordoosspolder, Van Zec tot Land 40, Tjeenk Willink V. Zwolle, The Netherlande.
21. *Srebrenović, D.* (1975): Podzemno odvodnjavanje horizontalnim drenažnim zahvatima, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
22. *Srebrenović, D., Srebrenović, Z.* (1981): Podzemno odvodnjavanje, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
23. *Stojšić, M.* (1977): Potreba primene drenaže zemljišta u sistemima za odvodnjavanje Vojvodine, Vodoprivreda br. 45—46, Beograd.

24. *Tomaš, I., Tomić, F.* (1977): Rješavanje problema vodnog i sobnog režima pri intenzivnom uzgoju kultura u staklenicama, *Vodoprivreda* br. 45—46, Beograd.
25. *Tomić, F.* (1976): Uređenje vodnog režima tla za uzgoj kukuruza, Simpozij o uređenju zemljišta, Osijek.
26. *Tomić, F., Marinčić, I.* (1979): Detaljna odvodnja teških tala, Savjetovanje o uređenju površina s gledišta hidro i agromelioracija, Knjiga II, Zadar.
27. *Tomić, F., Vukušić, S., Levaković, F.* (1977): Potrebe i mogućnosti rješavanja vodnog režima u Slavoniji i Baranji, *Vodoprivreda* br. 45—46, Beograd.
28. *Tomić, F., Marinčić, I., Petošić, D.* (1985): Primijenjene metode detaljne odvodnje za reguliranje suvišnih voda na površinama Črnc-polja, Savjetovanje »Veliki odvodni sustavi« s posebnim osvrtom na Črnc-polje, *Zbornik radova*, Zagreb.
20. *Tomić, F.* (1981): Melioracije, *Tehnička enciklopedija*, Knjiga 8, str. 360—380, Zagreb.
30. *Tomić, F.* (1984): Prekomjerna vlažnost i proizvodna sposobnost tla, Priručnik za hidrotehničke melioracije, Knjiga 2, Društvo za odvodnju i navodnjavanje Hrvatske, Zagreb.
31. *Vidaček, Ž., Pavlić, V., Perković, J., Božićević, I.* (1979): Agropedološko-melioraciona studija idejnog projekta uređenja zemljišta na području općine Dugo Selo, Savjetovanje o uređenju površina s gledišta hidro i agromelioracija, Knjiga II, Zadar.
32. *Vlahinić, M.* (1971): Problemi detaljne odvodnje na PPK Bosanski Brod i Ivanjskom polju, Savjetovanje o Posavini, Zagreb.
33. *Vlahinić, M., Resulović, H., Petijević, O.* (1976): Rezultati istraživanja optimalnog načina odvodnje u teškim tlima, V kongres JDZPZ, Sarajevo.
34. *Williamson, R. E., Kriz, G. J.* (1970): Response of agricultural crops to flooding, depth of water table and soil gaseous composition, *Amer. Soc. Agr. Eng. Trans.* 13, 216—220.
35. *Visser, W. C.* (1958): De Landbouwaterhuishouding in Nederland, *Comm. Onderz. Landb. waterhuisk Ned. TNO*, Repport br. 1, 231 p.
36. *** (1973): Deutsche Normen, DIN 1185, Blatt 1—5, Regelung des Bodenwasser-Haushaltes durch Rohrdranung Rohrlose Dranung und Unterbodenmelioration.

DETALJNA ODVODNJA U OVISNOSTI O VRSTI TLA

Prof. dr FRANE TOMIĆ, dipl. ing agr.

1. UVODNE NAPOMENE

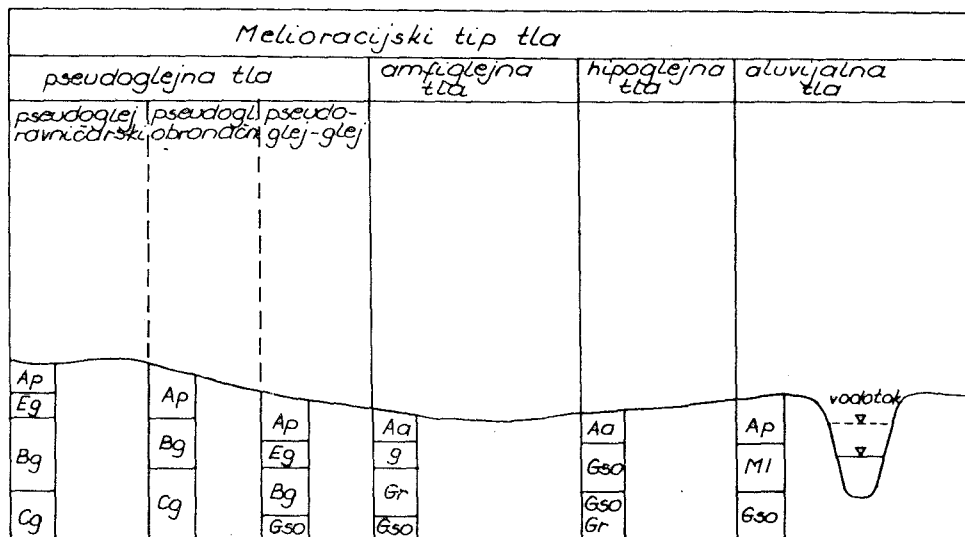
Postoje različiti sistemi detaljne odvodnje. Oni su detaljnije razmotreni u posebnom radu ovog priručnika. Vrlo je važno da se za određene prilike odabere najefikasniji sistem. U posljednjih tridesetak godina vodile su se diskusije o svim sistemima i njihovoj primjeni, posebno za melioriranje hidromorfni tala. Razlog je za to zbog toga što su hidroformna tla dosta rasprostranjena u nas, a u većini slučajeva imaju i zadovoljavajuću potencijalnu plodnost. Zapravo, ova tla imaju uglavnom povoljna kemijska svojstva. Međutim, najčešće imaju nepovoljna fizikalna svojstva, pa su u većem dijelu godine, naročito u kasnim jesenskim i zimskim i ranim proljetnim mjesecima presaturirana vodom, te nisu sposobna za intenzivnu biljnu proizvodnju. Za osposobljavanje hidromorfni tala primjenjuju se u svijetu razni melioracijski zahvati, a u prvom redu, odstranjuju se suvišne vode koje se nalaze u zoni rizosfere. U našoj se zemlji također čine određeni napori u svrhu privođenja hidromorfni tala poljoprivrednoj proizvodnji. Pri rješavanju problema vodo-zračnog režima ovih tala značajno je odabrati najpovoljniji način detaljne odvodnje. Brzopleto opredjeljivanje za vrstu sistema kao i njegova primjena »zbog mode« mogla bi se vrlo štetno odraziti, pa ovakav pristup u izboru treba stručno osuditi i onemogućiti da pređe u naviku i praksu. U ovom radu pokušat ćemo razmotriti najvažnije zahvate koji se izvode u sklopu detaljne odvodnje u svrhu osposobljavanja pojedinih prevlažnih (hidromorfni) tala za normalnu biljnu proizvodnju. Pored toga, cilj nam je ukazati na potrebu provođenja istraživačkog rada, na temelju kojeg bi se pronalazio najfunkcionalniji i najekonomičniji način detaljne odvodnje za svaki konkretan slučaj u praksi. S obzirom na to da u svijetu i u nas postoje određena iskustva i rezultati stečeni kroz istraživački rad u vezi s detaljnom odvodnjom, svrha ovog rada je da ukaže i na ta dostignuća, te da pokušamo bar donekle doprinijeti u daljnjem rješavanju problema reguliranja vodo-zračnog režima, putem detaljne odvodnje na tlima koja su nepovoljna zbog prisutnosti suvišnih voda.

2. RASPORED HIDROMORFNIH TALA U PROSTORU I NAČINI NJIHOVIH PREVLAŽIVANJA

Na temelju hidropedoloških istraživanja utvrđuju se pedosistematske jedinice na istraživanom objektu. U svrhu rješavanja suvišnih voda mjerama detaljne odvodnje, sva hidromorfna tla (pedosistematske jedinice) se mogu

svrstati u grupe melioracijskih tipova tala koja se razlikuju po hidropedološkoj problematici. Osnovni melioracijski tipovi tala su:

- aluvijalno semiglejna tla,
- hipoglejna tla,
- pseudoglejna tla,
- amfiglejna tla.



Sl. 1. Prostorni raspored melioracijskih tipova tala

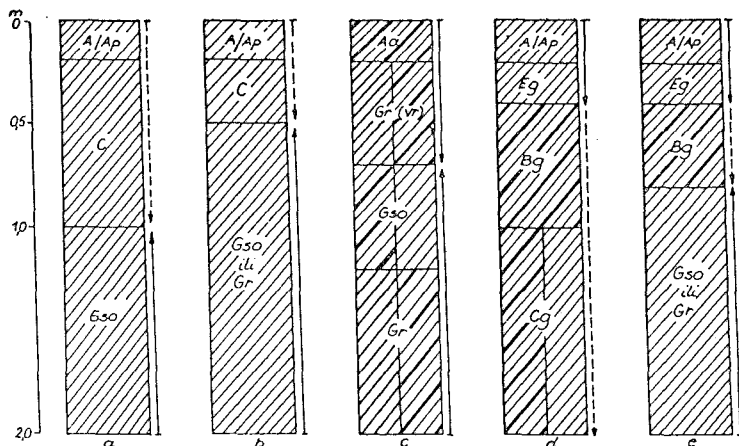
Prostorni raspored melioracijskih tipova tala je, u principu, vezan za prirodne vodotoke (slika 1). Navedeni melioracijski tipovi tala imaju karakterističan način i intenzitet vlaženja. Ako se način i intenzitet vlaženja tla (hidrogenizacija) izrazi kao rezultat ulaska, kretanja, zadržavanja i gubitka vode tla, tada se kod hidromorfni tala pojavljuju prekomjerna prevlaživanja kao što su prikazana na slici 2. Dakle, najčešće se pojavljuju aluvijalni, semiglejni, hipoglejni, amfiglejni te pseudoglejni i pseudoglej-glej načini hidrogenizacije tla.

3. MJERE DETALJNE ODVODNJE

Izbor i primjena mjera detaljne odvodnje prvenstveno ovise o tipu prevlaživanja tla, pa će se ova problematika razraditi za karakteristične melioracijske tipove tala.

3.1. Melioracijski tip tla — aluvijalno semiglejna tla

Lociran je na priobalnom pojasu prirodnih vodotoka na prijelazu u bazenski dio prostora. Taj priobalni pojas je najčešće u stvari uski recentni aluvijalni nanos uz vodotok. Tla ovog melioracijskog tipa karakterizira semi-



Tumače:

tekstura:

- ilovače
- gline
- glinaste ilovače

tipovi vodnih režima:

- a - semiglejni
- b - hipoglejni
- c - amfoglejni
- d - pseudoglejni
- e - pseudoglej-glejini

oznaka horizontala:

- A - humusno akumulativni
- Ap - organski sloj
- E - eluvijalni
- B - iluvijalni
- C - matični supstrat
- g - pseudoglejni
- G - glejni
- vr - vertični
- so - oksid-redukcijski
- r - redukcijski

Površinske i podzemne vode:

- ↑ procijedne površinske vode
- ↑ stagnirajuće površinske vode
- ↑ podzemne vode

Sl. 2. Shematski prikaz načina vlaženja (tipovi vodnih režima) prosječne teksture i oznaka horizonta profila tla

glejni ili modificirani hipoglejni način vlaženja, tj. vlaženje vrlo dubokim, dubokim, pa i srednje dubokim podzemnim vodama. Zbog toga neke lokacije ovih tala nije potrebno podvrgavati mjerama detaljne odvodnje. To se odnosi na aluvijalna tla koja su povremeno vlažena vrlo dubokom ili dubokom podzemnom vodom koja dopire maksimalno do 1 m ispod površine tla.

Dio aluvijalno semiglejnih tala je vlažen procijednim površinskim vodama (naročito u potpovršinskim slojevima) i djelomično podzemnom vodom koja se uglavnom u vlažnom dijelu godine diže bliže površini i, zajedno s procijednom površinskom vodom, izaziva procese oglejavanja u zoni 30—80 cm dubine. U cilju sprečavanja dizanja i stagniranja podzemne vode u zonu korijenova sistema (prvenstveno u doba sjetve usjeva u proljeće) te bržeg odstranjivanja procijednih površinskih voda koje dospijevaju u ovu zonu, primjenjuje se detaljna odvodnja sistemom podzemne cijevne drenaže. S obzirom na povoljnu strukturu tla, lagani teksturni sastav i povoljnu propusnost tla iznad dubine drenova, nisu potrebne dodatne mjere za ubrzanje dotoka vode u drenove pri melioriranju ovih tala.

3.2. Melioracijski tip tla — hipoglejna tla

Ovaj melioracijski tip tla obično je rasprostranjen od povišenog aluvijalnog zaobalja do bazenskog dijela amfoglejnih tala. Vrlo intenzivno je vlažen

dubokom, srednje dubokom ili plitkom podzemnom vodom. Razina podzemne vode je većim dijelom godine prisutna do 1 m ispod površine tla. Međutim, povremeno stižu do 0,5 m, a na nekim lokacijama i do same površine tla, te vrše gleizaciju, odnosno stvaranje glej horizonta. Kod ovog tipa tla mogu postojati i različiti intenziteti povremenog suficitnog vlaženja oborinskim vodama, čija je perkolacija usporena visokom podzemnom vodom, pa govorimo o suficitnom vlaženju »poduprtim vodama«. Ovaj slučaj posebno dolazi do izražaja na onim lokacijama gdje je inače slabija profilna dreniranost uslijed težeg teksturnog sastava. Ovaj tip tla je evolucijski predstadij amfiglejnog tla, pa u korištenju tih tala treba posvetiti određenu pažnju kako bi se održala najčešće prisutna povoljna profilna dreniranost i povoljna struktura tla.

Pri melioriranju hipoglejnih tala treba sniziti razinu podzemne vode na odgovarajuću dubinu za uzgajane kulture. To se najefikasnije postiže sistemom podzemne cijevne drenaže. Na onim hipoglejnim tlima (lokacijama), gdje je bilo potrebno poboljšati vertikalnu propusnost slojeva tla iznad drenaža i ubrzati dotok površinske vode prema njima, preporučeno je podrievanje do 60 cm dubine kao dodatna mjera.

3.3. Melioracijski tip tla — amfiglejna tla

Geomorfološki gledano, ovaj tip tla uglavnom zauzima dolinski reljef. Naime, razvio se na najnižim dijelovima, odnosno u centralnom bazenu prirodnih vodotoka kao i njegovih pritoka, te u mezo depresijama i mrtvajama ranijih vodotoka. Ovakav reljef zauzima u našim prilikama priličan prostor. Ovaj melioracijski tip tla je u stvari rezultanta suficitnog vlaženja poplavinim, oborinskim i podzemnim vodama. Utjecaj poplavnih voda je bio periodičan, ovisno o učestalosti i dužini trajanja poplava, odnosno o lokaciji na kojoj se nalazi. Utjecaj oborinskih stagnirajućih voda je obično najduži, a intenzitet njihovog prevlaživanja ovisi o položaju na reljefu i granulometrijskom sastavu sedimenata tla. Utjecaj podzemnih voda (plitke, srednje duboke, duboke) također ovisi o lokaciji, ali češće obično kraće djeluju od oborinskih stagnirajućih voda. U tim amfiglejnim i hidrološkim uvjetima dolazi do akumulacije glinene komponente putem sedimentacije i neogentskih promjena, što rezultira horizontalnom građom profila — uglavnom Aa—Gr—Gso—Gr. Ostale značajne karakteristike amfiglejnih tala su:

- vrlo slaba eksterna dreniranost zbog vrlo malog relativnog pada terena,
- vrlo slaba interna (profilna) dreniranost zbog vrlo male vertikalne propusnosti za vodu, odnosno zbog teškog teksturnog sastava posebno u potpovršinskom (Gr) horizontu (sadržaj glinastih čestica iznosi uglavnom preko 40 %),
- amfiglejni tip hidrogenizacije, gdje na prevlaživanje tla utječu površinske (oborinske, slivne, poplavne) i fluktuirajuće podzemne vode,
- najčešće su nepovoljna fizikalna svojstva tla, posebno Gr horizonta (uz teži teksturni sastav i slabu propusnost za vodu, još i velika plastičnost, slabija struktura, nepovoljan kapacitet za zrak), kao i nepovoljna kemijska svojstva tla (kisela reakcija, slaba zasićenost adsorp-

cijskog kompleksa bazama, te slaba opskrbljenost fiziološki aktivnim hranjivima),

- površine ovih tala najčešće se ne obrađuju i na njima su uglavnom zastupljene lošije ili močvarne livade.

U cilju rješavanja navedenih problema u amfiglejnim tlima je primijenjena kombinirana detaljna odvodnja. Ona se sastoji od cijevne drenaže, krtičenja kao dodatne mjere i hidrauličnog filter materijala kojim se poboljšava hidraulična propusnost drenažnog jarka iznad postavljene cijevi.

3.4. Melioracijski tip tla — pseudoglejna tla

Geomorfološki uglavnom zauzima rubni dio bazenskih tala (pseudoglej-glej), obronačne dijelove područja (obronačni pseudoglej), te priterasna i terasna područja (ravničarski pseudoglej — slika 1). Ove pozicije reljefa utječu na umjerenu pa i dobru eksternu dreniranost. Međutim, obronačni zemljišni prostor ima stariju geomehaničku građu (pleistocen) s visokim udjelom frakcije praha u teksturnom sastavu, anizotropne je građe i slabe stabilnosti strukturnih agregata u vodi. Profil je nehomogene poligenetičke građe čiji su horizonti (A—Eg—Bg—C) različitih drenažnih karakteristika. Ovaj specifičan tip hidromorfnih tala je periodično i prekomjerno vlažen oborinskim vodama. U tim uvjetima dolazi do debazifikacije, acidifikacije i konačno ilimerizacijom gline iz površinskog horizonta u Btg horizont. Teksturni sastav površinskog horizonta je uglavnom praškasta ilovača s udjelom čestica praha do 75 %. Ispod toga se pojavljuje glinasto ilovasti sastav, koji je u sklopu Bg horizonta zbit i slabo propustan za vodu. Dubina pojave slabo propusnog Bg horizonta, inklinacija i ekspozicija (forme reljefa) izravno utječu na vrijeme stagniranja oborinskih voda u fiziološki aktivnoj zoni profila. Izmjena mokre faze (anaerobni uvjeti — redukcija) i suhe faze tla (aerobni uvjeti — oksidacija) rezultira tipičnom morfološkom građom profila. Horizont Bg je išaran vertikalnim mramoriranim prugama maslinasto sive boje (redukcijski procesi) s mazotinama žuto smeđe boje (oksidacijski procesi).

Pseudo-glej tlo ima do oko 1 m dubine isti karakter vlaženja i gotovo identična fizikalna i kemijska svojstva, odnosno pedogenetske procese kao i uvjetno rečeno klasični pseudoglej. Ispod dubine oko 1 m, kod pseudoglej-glejnih tala dolazi do oksidoredukcijskih procesa izazvanih sufcitnim vlaženjem dubokih podzemnih voda, te nastaje glejni horizont. Prisustvo dubokih podzemnih voda rezultira iz lokacije ovih tala, jer zauzimaju niže položaje u odnosu na pseudoglej tlo.

Dakle, melioracijski tip tla — pseudoglejna tla — može biti različite forme (pedološke jedinice), ali ima zajedničke probleme koji se u principu jednako rješavaju. Osnovni problemi ovih tala su:

- nestabilna struktura površinskog horizonta zbog velikog sadržaja praškaste komponente u teksturnom sastavu i malog sadržaja organske tvari,
- nepovoljna uslojenost, odnosno nehomogenost tla do oko 2 m dubine,
- postojanje Bg, odnosno Btg horizonta, koji se odlikuju nepovoljnim vodo-zračnim režimom (vrlo slaba propusnost za vodu, vrlo nepovoljan kapacitet za zrak),

- dolazi do kraćeg ili dužeg stagniranja površinskih voda u gornjem solumu tla, a kod pseudoglej-glejnih tala i do povremene pojave podzemnih voda ispod 1 m dubine,
- najčešće je prisutna kisela reakcija tla i slaba opskrbljenost hranjivima.

Rješavanje navedene kompleksne problematike zahtijeva primjenu agro i hidrotehničkih melioracijskih zahvata koji se trebaju pravilno i u određenom trenutku izvesti:

- ugraditi podzemnu cijevnu drenažu,
- izvršiti podriavanje tla kao dodatnu mjeru,
- ugraditi hidraulični filter materijal u drenažne jarke, koji će vršiti ulogu i mehaničkog filtera,
- primijeniti kalcizaciju u svrhu poboljšanja fizikalnih i kemijskih svojstava tla.

4. NAJZNAČAJNIJI ELEMENTI I NORMATIVI DETALJNE ODVODNJE PRI MELIORIRANJU HIDROMORFNIH TALA

Konstatirano je da su prvenstveno suvišne površinske vode, uz manji direktan i veći indirektan utjecaj podzemnih voda, glavni faktor nepovoljnog utjecaja na dosadašnju poljoprivrednu proizvodnju na hidromorfnim tlima. U svrhu eliminiranja štetnog djelovanja suvišnih površinskih i podzemnih voda, uz ostale melioracijske mjere primjenjuje se detaljna odvodnja. U ovom radu su već istaknuti načini detaljne odvodnje za svaki melioracijski tip tla, a ovdje će se razmatrati za praksu najvažniji — elementi i normativi detaljne odvodnje.

4.1. Razmak drenažnih cijevi

O razmaku cijevi ovisi u velikoj mjeri funkcionalnost drenažnog sistema, a vrijednost razmaka, pak, ovisi o više faktora (uslojenosti tla, fizikalnim svojstvima pojedinih slojeva, propusnosti tla za vodu, padu terena, vrsti uzgajane kulture), pa to dovoljno govori o delikatnosti ovog problema.

Iskustva u rješavanju razmaka drenova u svrhu reguliranja visoke razine podzemne vode kod hipoglejnih, a pogotovu aluvijalnih i semiglejnih tala, zadovoljavaju. Način određivanja razmaka na temelju Hooghoudt-Ernstove formule, odnosno adekvatnih nomograma, kao što je opisano u drugom radu ovog priručnika, u praksi je prihvatljiv, uz prethodno provedena istraživanja tla.

Veći je problem određivanje razmaka drenova za reguliranje suvišnih površinskih voda. Suficitne površinske vode prisutne su na hidromorfnim tlima (melioracijski tip tla — pseudoglejna tla i amfiglejna tla), koja su inače u nas jako rasprostranjena. Mogući način određivanja razmaka drenažnih cijevi za ova tla (posebno pseudoglejna i epiglejna) Groot (1973) navodi formulu po Fukudi, dok modificiranu formulu (drugi dio formule) po Hooghoudtu ne preporuča. Međutim, način koji preporučuju DIN 1185 je dosta prihvaćen u našoj praksi. Temelji se na poznavanju nagiba drenirane

površine i klimatskih prilika (količine oborina), imajući u vidu utvrđen pseudoglejni način i intenzitet hidrogenizacije tla. S razmakom drenova za rješavanje suvišnih površinskih voda usko je vezana cijela koncepcija kombinirane detaljne odvodnje pseudoglejnih tala. Na posebne teškoće u određivanju razmaka drenažnih cijevi nailazi se pri melioracijama onih tala koja su istovremeno prevlaživana površinskim i podzemnim vodama. Sva takva tla smo svrstali u melioracijski tip — amfiglejna tla. Za rješavanje razmaka drenova u svijetu, pa i kod nas, vršeni su, a i danas postoje, brojni eksperimenti. Međutim, već je istaknuto da na razmak drenova utječu mnogi faktori, a posebno veliki broj njih dolazi do izražaja na tlima koja su u uvjetima kombinirane hidrogenizacije — amfiglejna tla. Ako tome dodamo da postoje nepobitni specifični uvjeti u svakom području, pa i na pojedinim lokacijama, to dokazuje da je nesigurno oslanjati se na općevažeća ili šablonska rješenja. Prikazi Groota (1973), a posebno Srebrenovića (1984) potvrđuju teškoće koje se pojavljuju pri matematičkim proračunima razmaka drenova stacionarnog i nestacionarnog stanja, za tla koja imaju slabo propustan horizont do dubine drenažnih cijevi. Zbog velike heterogenosti problema (različite dubine i moć slabo propusnih horizonata), preporučujemo da se pri rješavanju razmaka cijevi primijene osnovne postavke pri reguliranju suvišnih površinskih i, istovremeno, podzemnih voda. Ako su dobiveni razmaci za podzemnu i površinsku vodu jednaki ili slični, onda se u svaki drenažni jarak postavlja hidraulični filter materijal. Ako je potrebno za reguliranje površinske vode cijevi postaviti na znatno veći razmak, tada se može šljunak (filter) sipati u svaki drugi dren ili čak u svaki treći dren.

4.2. Primjena filter materijala

Poznato je da filter, s obzirom na funkciju u sistemu detaljne odvodnje, može biti mehanički i hidraulički ili kontaktni. Filter materijali su na potreban način obrađeni u drugom radu ovog priručnika, pa će se ovdje samo razraditi primjena hidrauličnog filtera.

4.2.1. Problemi primjene hidrauličnog ili kontaktnog filtera

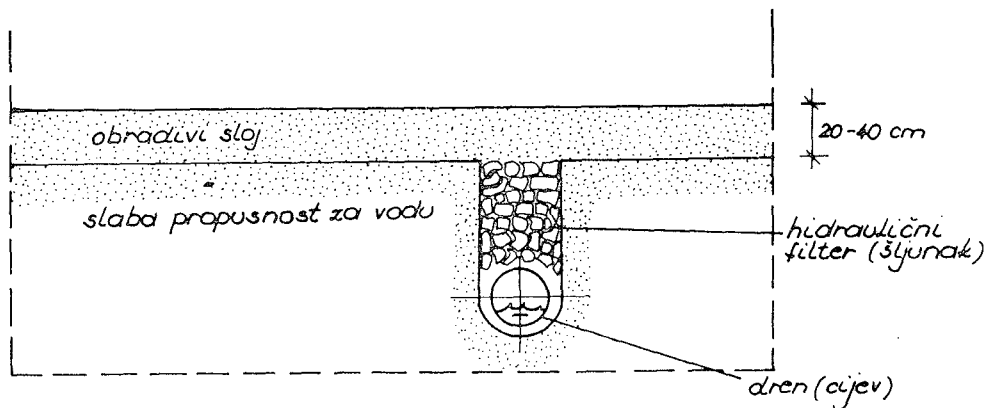
Temeljna uloga hidrauličnog filtera je da omogući (ubrza) dotok vode kroz drenažni jarak do cijevi. U tu svrhu mogu se koristiti razni materijali, koji imaju svojstva hidraulične propusnosti stabilne i otporne na zbijanje.

U našoj drenažnoj praksi (**, 1975—1985; Marinčić i Tomić, 1982; Tomić, 1984) uglavnom se koristi prirodni šljunak kao hidraulični filter materijal. Visina šljunka iznad drenske cijevi u jarku treba biti tolika da omogućujući spoj sloja tla, povoljne propusnosti za vodu (obrađivi sloj ili podriveni ili krtičeni sloj) s drenskom cijevi.

U melioracijskom tipu tla — aluvijalna i semiglejna tla, te hipoglejna tla — uglavnom postoji povoljna propusnost za vodu od površine do cijevi u jarku, pa se u praksi pri njihovu dreniranju ne primjenjuje filter materijal. Međutim, na tlima melioracijskog tipa — pseudoglejna tla i amfiglejna tla — zbog već opisane pojave »Btg«, odnosno »Gr« horizonta, propusnost ispune drenažnog jarka prirodnom zemljom iznad cijevi nije dovoljna, pa je potrebna upotreba filtera (šljunka).

U sklopu ove konstatacije postoje dva slučaja: primjena šljunka bez izvođenja dodatne mjere i u uvjetima kada se izvodi podrivanje ili krtičenje.

4.2.1.1. Potreba primjene šljunka u uvjetima bez izvođenja dodatnih mjera



Sl. 3. Reguliranje suvišnih voda uz primjenu hidrauličkog filtera bez izvođenja dodatnih mjera

Slika 3. pokazuje slučaj prosječnog stanja u tlima (pseudoglejna, amfoglejna) koja su prevlaživana površinskim vodama. Pri ovom se voda giba pretežno kroz površinski obradivi sloj i silazi do drenažne cijevi uglavnom kroz drenažni jarak. Ovaj problem površinskog toka vode razmatrali su brojni autori: Schilfgarde (1967), Wesseling (1971), Groot (1973), Thomasson (1975), Vlahinić (1971), Plamenac (1971), Čović (1979), Tomić i Marinčić (1979). Po Traffordu (1974) minimalna vertikalna propusnost ispunne drenažnog jarka od obradivog sloja po cijevi iznosi:

$$k_{t \min} = \frac{q \cdot l}{t}$$

gdje je:

$k_{t \min}$ = minimalna propusnost drenažne ispunne, m/dan

q = potreban modul odvodnje, mm/dan

l = razmak drenova, m

t = širina drenažnog jarka, m.

Ako se uzme da je širina drenažnog jarka 25 cm i modul odvodnje 10 mm/dan, tada je odnos = » l « i » $k_{t \min}$ « linearan. Za uobičajene razmake drenova 15—30 m potrebna je minimalna vrijednost vertikalne propusnosti drenažne ispunne 0,6—1,2 m/dan. Međutim, tla melioracijskog tipa — pseudoglejna tla i amfoglejna tla — imaju propusnost podoraničnog sloja (Btg, odnosno Gr horizont) oko 0,01 m/dan. Ako bi se za drenažnu ispunu upotrijebilo matično tlo, ne bi se ostvarila minimalna propusnost u drenažnom jarku ili bi razmak drenova bio vrlo malen. Naša iskustva pokazuju da je

propusnost drenažnog jarka, koji je ispunjen matičnim tlom, u prve tri godine nakon izvedene drenaže, veća za oko 10 puta u odnosu na stanje prije dreniranja. U tom slučaju, pri $k_t = 0,1$ m/dan, $q = 10$ mm/dan i $t = 25$ cm, razmak drenova iznosi samo 2,5 m. Takav razmak je praktički neprihvatljiv. Ili: propusnost drenažne ispune trebala bi biti 60 puta veća u odnosu na propusnost podoraničnog sloja prije dreniranja za prihvatljivi razmak drenova od 15 m. Budući da je tako povećanu propusnost matičnog tla teško ostvariti, pogotovu u težim plastičnim tlima, potrebno je u drenažne jarke stavljati filter materijal sve do visine obradivog sloja tla. Međutim, ovako izveden drenažni sistem ne može biti ekonomičan jer su potrebne velike količine filter materijala. Osim toga, ovim se mjerama ne popravljaju fizikalna svojstva u podoraničnom sloju tla, pa su i dalje ostala ograničenja u vezi s vodno-zračnim odnosima za intenzivni uzgoj poljoprivrednih kultura.

4.2.1.2. Potreba primjene šlujnka u uvjetima izvođenja dodatne mjere

Pri izvođenju dodatne mjere (podrivanje ili krtičenje) u sklopu sistema kombinirane detaljne odvodnje, poboljšavaju se fizikalna svojstva (prozračnost, propusnost za vodu) podoraničnog sloja tla. Produbljenje aktivne zone korijena na ovakav način, ima izuzetno veliko značenje za biljnu proizvodnju. U takvim uvjetima suvišna površinska voda (oborinska) procjeđuje se kroz prorahljeni sloj tla do dubine izvođenja tih mjera. Zatim, voda kroz otvore nastale krtičnim plugom ili podrivačem teče prema drenažnom jarku, a kroz njega u cijev. Nije poželjno da se voda zadržava u tim otvorima, jer se lakše zamuljuju i mogu prestati funkcionirati (Čović, 1985).

U uvjetima izvođenja podrivanja ili krtičenja potrebne su visoke vrijednosti propusnosti za vodu u zoni drenažnog jarka između dubine dodatne mjere i cijevi. Zapravo, visoke vrijednosti propusnosti potrebne su na mjestima gdje se spajaju otvori stvoreni dodatnom mjerom s drenažnim jarkom. Na tom mjestu voda se koncentrira i izliva u jarak, dok ostali dio drenažnog jarka (između prolaza dodatne mjere) ima znatno manju ulogu i može postati aktivniji kasnije pri ponovnom izvođenju podrivanja ili krtičenja (Čović, 1979). U skladu s tim postoje određene preporuke o primjeni isprekidanog ili »točkastog« hidrauličnog filtera (Plamenac et al, 1983). Dakle, drenažni jarak treba nesmetano prihvaćati svu vodu iz otvora stvorenih dodatnom mjerom i provoditi je bez zadržavanja dalje do cijevi, pa je zbog toga neophodno drenažni jarak ispuniti vrlo propusnim materijalom. Potrebna hidraulična propusnost drenažne ispune od dubine dodatne mjere do cijevi (slika 4) također se može odrediti po Traffordu (1974):

$$k_t = \frac{q \cdot s \cdot l}{t \cdot m}$$

gdje je:

k_t = potrebna hidraulična propusnost ispune drenažnog jarka u m/dan

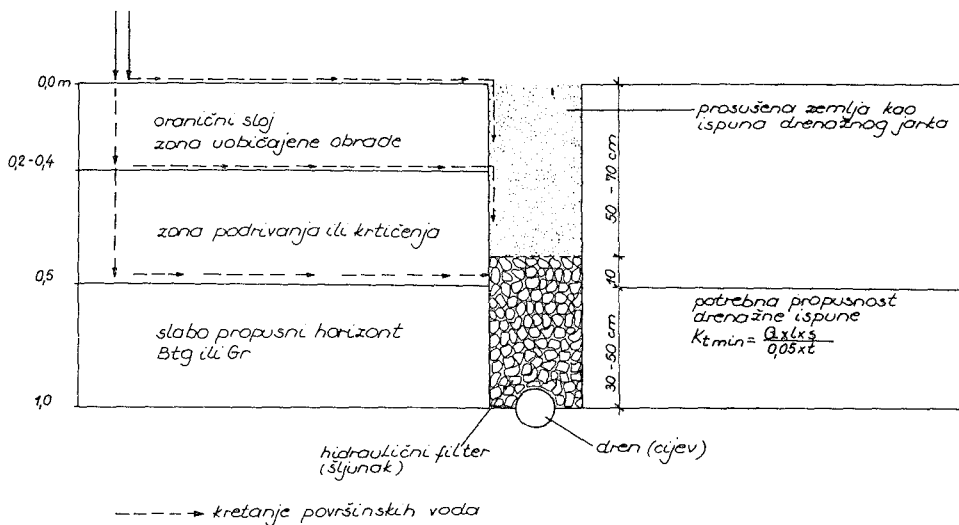
q = modul odvodnje ili drenažni istek u mm/dan

s = razmak izvođenja dodatne mjere u m

l = dužina dodatne mjere ili razmak drenažnih cijevi u m

t = širina drenažnog jarka u m

m = promjer otvora izvedenog dodatnom mjerom u m.



Sl. 4. Reguliranje suvišnih voda uz primjenu hidrauličnog filtera i dodatnih mjera

Na temelju uobičajenih vrijednosti u našim uvjetima: $q = 10$ mm/dan, $s = 2,0$ m (kritična drenaža), $t = 25$ cm i $m = 5$ cm, odnos k_t i l je prikazan u tabeli 1.

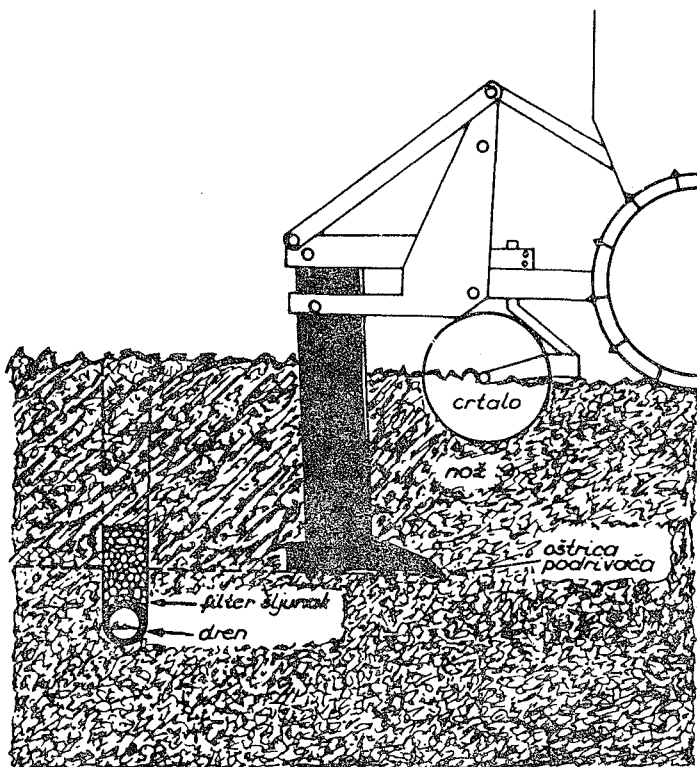
Tabela 1.

ODNOS RAZMAKA DRENAŽNIH CIJEVI
I POTREBNE HIDRAULIČNE PROPUSNOSTI
ISPUNE JARKA

l u m	k_t u m/dan
15	24
20	32
30	48
40	64

Znači da je za uobičajene razmake drenova (15—40 m) potrebna velika propusnost u drenažnom jarku (24—64 m/dan).

Budući da obradivi sloj tla pseudoglejnih i amfiglejnih tala ima propusnost najčešće 0,5—1,0 m/dan, a podoranični sloj (kao što je već istaknuto) svega oko 0,01 m/dan, značajno je primijeniti podrivanje, odnosno krtičenje (slika 5. i 6). Ispuna drenažnog jarka u tim uvjetima (od dubine dodatne mjere do cijevi) treba, dakle, imati propusnost za vodu 100 i više puta veću u odnosu na propusnost matičnog tla. Naveli smo naša iskustva da je propusnost ispunjenog jarka matičnom zemljom povećana 5—10 puta u odnosu na stanje prije izvođenja drenaže. Isto smo tako iskusili da je propusnost ispune od kalcizirane matične zemlje, u prve tri godine, oko 20 puta veća u odnosu na propusnost tla prije dreniranja. Kako ova povećanja propusnosti

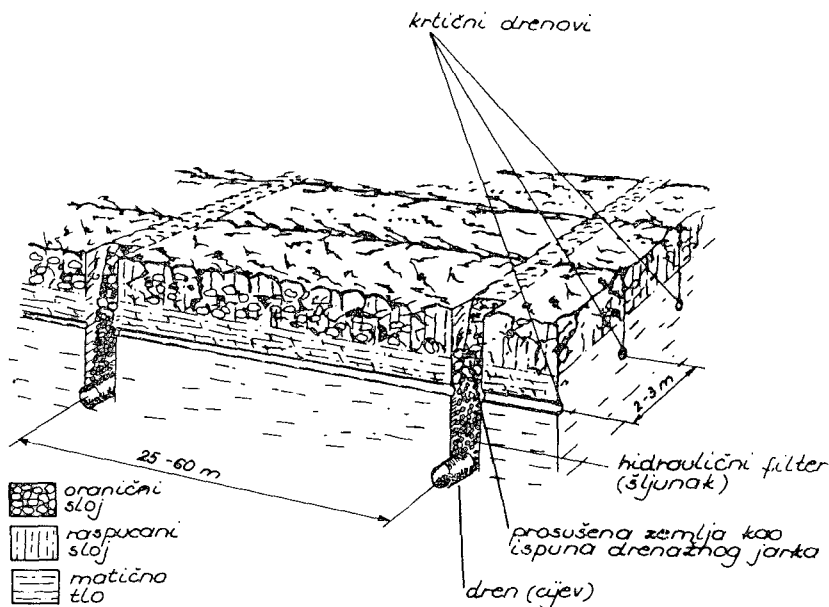


Sl. 5. Dodatna mjera — podrivanje

u drenažnom jarku nisu bila dovoljna za reguliranje suvišnih površinskih voda na pseudoglejnim i amfiglejnim tlima, preporučujemo primjenu šljunka (kao hidrauličnog filtera) u sklopu sistema kombinirane detaljne odvodnje. U cilju što efikasnijeg funkcioniranja sistema detaljne odvodnje na teškim hidromorfnim tlima, mnogi autori preporučuju uz primjenu podzemne cijevne drenaže i primjenu dodatnih mjera (Vlahinić, 1971. i 1976; Plamenac, 1971. i 1976; Trafford, 1974; Thomasson 1975. i 1981; Schuch i Jordan, 1973. i 1979; Concaret et al, 1977; Tomić i Marinčić, 1979. i 1983; Đaković, 1979; Spoor, 1980). Kao dodatne mjere izvode se podrivanje ili krtičenje, te eventualna primjena kalcizacije. Ove dodatne mjere razrađene su u drugim radovima ovog priručnika.

5. MOGUĆNOST IZOSTAVLJANJA UPOTREBE HIDRAULIČNOG FILTER MATERIJALA PRI DRENIRANJU AMFIGLEJNIH I PSEUDOGLEJNIH TALA

Prije svega ističemo da opisane prilike u vezi s upotrebom hidrauličnog filtera (šljunka) predstavljaju najnepovoljnije slučajeve pri dreniranju hidromorfnih tala. Međutim, amfiglejna i pseudoglejna tla i njihove hidrološke prilike mogu biti specifični i moguće ih je drenirati bez upotrebe filter mate-



Sl. 6. Dodatna mjera — krtična drenaža

rijala. Naime, ova tla na različitim lokacijama mogu imati različita svojstva. Za primjenu drenaže, značajne su razlike vezane za dubinu i moćnost »Gr« horizonta (amfiglejna tla), odnosno dubinu »Btg« horizonta (pseudoglejna tla), kao i intenzitet njihove hidrogenizacije.

Ako bi prihvatili kao činjenicu da je Gr horizont, odnosno Btg horizont temeljni faktor ograničenja tala, tada bismo mogli dubinu njihove pojave i moćnost (debljinu) Gr horizonta koristiti kao kriterij za određivanje potrebe uvođenja hidrauličnog filtera, uz primjenu dodatne mjere (podrivanje ili krtičenje), odnosno modificirane dubine postavljanja cijevi u jarak.

U skladu s tim moguće su kod amfiglejnih tala kombinacije dubine i moćnosti Gr horizonta, a određuju se odgovarajućim hidropedološkim istraživanjima (tabela 2).

Obrazloženje:

— Pri kombinaciji »a« i 1 (plitki i slabo moćan) Gr horizont mogao bi zauzimati maksimalnu dubinu od 45 cm. U tom slučaju moguće je postavljati drenažu na normalnu dubinu. Upotrebom dodatne mjere (podrivanje ili krtičenje) prorahlio bi se, odnosno napravio propusnim Gr horizont, pa ne bi bila neophodna primjena filter materijala.

— To bi se isto dogodilo u kombinaciji »a« i 2, s tim da bi se Gr horizont mogao pojavljivati do 65 cm dubine.

— Kada bismo imali kombinaciju »a« i 3, mogli bismo izbjeći filter (šljunak) uz primjenu dodatne mjere u oko 50 % slučajeva. Naime, kada bi bila moćnost (debljina) Gr horizonta oko 40 cm (a njegov početak bio bi do

25 cm), taad bi on završavao sa 60—65 cm. I u tom slučaju mogao bi se cijeli Gr horizont »narušiti« (popraviti propusnost za vodu) dodatnom mjerom, te izbjeći upotreba filtera. U ostalih oko 65 % kada je veća mogućnost Gr horizonta (50—60 cm), nije moguće cijeli horizont zahvatiti dodatnom mjerom, pa je i riskantno izostavljati filter.

— Kombinacije »a« i 4, te »b« i 4 su najnepovoljnije. U tim slučajevima ispada da se vrlo moćan (deblji od 60 cm) Gr horizont ne bi mogao poboljšati iznad cijevi pri njenoj početnoj dubini do 50 cm, pa je i pokušaj izostavljanja upotrebe filtera na ovaj način bezuspješan.

— Pri kombinaciji »b« i 1 nepovoljnost je svega u oko 25 % slučajeva, odnosno ako slabo moćan Gr horizont (debljina do 20 cm) počinje na dubini oko 50 cm. On bi se, dakle, nalazio od 50—70 cm i predstavljao bi »nepropusnu barijeru« koju bi bilo teško narušiti dodatnom mjerom jer je u blizini cijevi. Napominjemo, da bi se eventualno moglo ići s većom dubinom postavljanja cijevi uz primjenu dodatne mjere do 75 cm dubine.

— U kombinaciji »b« i 2, dodatna bi mjera mogla pomoći u oko 50 % slučajeva, a pri kombinaciji »b« i 3 u svega oko 25 % prilika.

— Pri ostalih osam kombinacija mogućnost izbjegavanja upotrebe hidrauličnog filtera postoji na principu modifikacije (smanjenja) dubine postavljanja cijevi, što je u skladu i s mišljenjem Srebrenovića (1984). Naime, ako slabo propusni Gr horizont počinje sa 65 cm ili većinom dubinom, tada je moguće cijevi postaviti iznad tog horizonta, odnosno na dubinu 65 cm bez obzira na moćnost (debljinu) Gr horizonta. U tom slučaju moglo bi se razmišljati o izostavljanju upotrebe filtera u oko 50 % slučajeva pri kombinacijama »c« i 1, »c« i 2, »c« i 3, te »c« i 4. Međutim, pri kombinacijama: »d« i 1, »d« i 2, »d« i 3, te »d« i 4 mogli bismo primijeniti taj princip (izostaviti filter) u svim prilikama.

Tabela 2.

MOGUĆE KOMBINACIJE DUBINE POJAVE I MOĆNOSTI (DEBLJINE)
Gr HORIZONTA KOD AMFIGLEJNIH TALA I MOGUĆNOSTI PRIMJENE
DRENAŽE BEZ HIDRAULIČNOG FILTERA

Dubina pojave Gr horizonta u cm	Moćnost (debljina) Gr horizonta u cm			
	slabo moćan do 20 cm	srednje moćan 20—40 cm	moćan 40—60 cm	vrlo moćan više od 60 cm
	1	2	3	4
a) plitki do 25 cm	++++	++++	++---	-----
b) srednje duboki 25—50 cm	+++--	++---	+-----	-----
c) duboki 50—75 cm	+--+	---++	---++	---++
d) vrlo duboki više od 75 cm	++++	++++	++++	++++

Prema navedenom kriteriju i podacima iz tabele 2. postoji mogućnost da se kod dreniranja amfiglejnih tala izostavi upotreba hidrauličnog filtera u 64 % slučajeva, a u svega 36 % prilika ne može se izbjeći. Ostaje na istraživačima da izvrše pravilnu determinaciju uslojenosti, intenzitet hidrogenizacije, te da uz ostale specifičnosti svake pedološke jedinice odrede dijagnozu i idejno rješenje detaljne odvodnje. Pri tome je, u svakom slučaju, potrebno voditi računa o dodatnim mjerama (podrivanje i krtičenje) koje igraju vidnu ulogu u sistemu detaljne odvodnje hidromorfnih tala. Isto tako, poboljšanje strukture tla i kemijskih svojstava na proizvodnoj površini (kalcizacija, humizacija i eventualno kondicioneri) ili stvaranje potrebne propusnosti ispune drenažnog jarka (kalcizacija, gipsanje) mogu biti veoma važni u melioracijama ovih tala. Pored toga, moguća su razmišljanja i o isključivanju određenih površina pod amfiglejnim tlima iz sistema drenaže, s tim da se ekstenzivnije koriste (pašnjaci, livade) ili u druge svrhe (ribnjak, šuma i sl.).

Pri traženju razloga i načina za primjenu cijevne drenaže bez upotrebe hidrauličnog filtera kod pseudoglejnih tala također treba poći od konstatacije da u drenažnom jarku iznad cijevi mora postojati odgovarajuća propusnost za vodu.

Prikazanim obračunom po Traffordu (1974), pri upotrebi matične zemlje za ispunu, ne ostvaruje se potrebna propusnost, baš zbog nepovoljnih svojstava matičnog tla — posebno Btg horizonta.

Ako se uzme kao kriterij Btg horizont, o eventualnoj mogućnosti izostavljanja filtera, u tom slučaju je kod pseudoglejnih tala značajna dubina pojave ovog horizonta, ali ne i njegova mogućnost (debljina). Naime, za razliku od Gr horizonta (kod amfiglejnih tala), Btg horizont kod pseudoglejnih tala je znatno moćniji (uglavnom je deblji od 60 cm), tako da on gotovo uvijek prelazi dubinu drenažnih cijevi i one se polažu u taj sloj.

U pedologiji je poznata podjela pseudoglejnih tala s obzirom na dubinu pojave nepropusnog (Btg) horizonta (Škorić et al, 1973), tabela 2. Ako bismo i kod ovih tala postavljali drenove na manju dubinu (na 65 cm) shodno mišljenju Srebreновиća (1984), u tom bi se slučaju moglo ići s cijevnom drenažom bez hidrauličnog filtera na svim pseudoglejnim tlima koja imaju Btg horizont ispod 65 cm dubine. Na temelju podataka iz tabele 3. ispada matematički, da bi se moglo tako rješavati čak 37,5 % slučajeva, što u svakom slučaju ne mora odgovarati stvarnim prilikama u prirodi.

Tabela 3.

DUBINA POJAVE NEPROPUSNOG Btg HORIZONTA I MOGUĆNOST PRIMJENE DRENAŽE BEZ HIDRAULIČNOG FILTERA PRI DUBINI DRENOVA > OD 65 cm

Dubina pojave u cm	Mogućnost izostavljanja filtera
plitki do 25 cm	ne
srednje duboki 25—50 cm	ne
duboki 50—75 cm	ne i da
vrlo duboki više od 75 cm	da

Pored navedene mogućnosti, smatramo da bi općenito bilo korisno ispitati eventualnu primjenu novijih teoretskih postavki iz Francuske o geološkoj starosti materijala u našim uvjetima. Naime, prema mišljenju Concareta (1981) pseudoglejna su tla geološki starije tvorevine koje podnose pritisak veći od 20 kg/cm² i da postaju dovoljno porozna kada se naruši njihovo prirodno stanje. S obzirom na to da se to događa prilikom postavljanja cijevne drenaže (dren freza iskopa jarak a zatim zatrpava cijev), smatra se da ispuna jarka tako razrahljenom matičnom zemljom ima potrebnu propusnost za vodu. Pseudoglejna tla u nas uglavnom imaju stariju geomehaničku građu (pleistocen) i čini se da veći dio njih podnosi pritisak veći od 20 kg/cm². Ali ne samo ove elemente, već i cijelu ovu postavku treba u našim tlima provjeriti i detaljnije ispitati pitanje propusnosti drenažne ispune od prirodne (matične) zemlje. Svakako da pri ostvarivanju odgovarajuće propusnosti drenažnog jarka mogu koristiti i već poznate mjere (kalcizacija, gipsanje ili primjena kondicionera) ili drugi zahvati koji će biti ekonomski i izvedbeno-tehnički prihvatljiviji od šljunka kao filter materijala. Pri istraživanjima na pseudoglejnim tlima ne smije se zapustiti uloga mehaničkog filtera zbog teksturne komponente praha, koja prevladava u ovim tlima i sklona je izazvati zamuljivanje cijevi.

U daljnjem traženju funkcionalnijih i ekonomičnijih rješenja detaljne odvodnje u svakom slučaju razmak drenova treba detaljno kroz istraživanja razmotriti, jer je to, uz problem filtera, najznačajniji element u sklopu intenzivnog sistema detaljne odvodnje, posebno kod hidromorfnih tala.

LITERATURA:

1. Antončić, I., (1978): Neke osobine vibrirajućih podriivača, Zbornik radova, Jugoslavenski simpozij o vodno-fizičkim svojstvima teških zemljišta s aspekta navodnjavanja i agrotehnike, Priština.
2. Concaret, J., Guyot, J., Perrey, C., (1977): Kretanje suvišne vode u tlu (prijevod s francuskog), Zagreb.
3. Concaret, J., (1981): Drainage Agricole, Theorie et pratique, I. J. R. A., Dijon.
4. Čović, M., (1979): Kretanje podzemne vode u provodnom modificiranom tlu, Savjetovanje o uređenju površina s gledišta hidro i agromelioracije, Knjiga III, Zadar.
5. Čović, M., (1985): Hidromelioracioni sustav Črnc-polje, Seminar o hidrotehničkim melioracijama, Društvo građevinskih inženjera i tehničara, Zagreb.
6. Đaković, B., (1979): Opravdanost i ekonomski efekti uređenja zemljišta cijevnom drenažom, Savjetovanje o uređenju površina s gledišta hidro i agromelioracija, Knjiga III, Zadar.
7. Groot, J. M., (1973): Drainage investigations of heavy soils in the upper Sava Valley, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Disertacija, Zagreb.
8. Marinčić, I., Tomić, F., (1982): Uloga filter materijala kod detaljne odvodnje i mehanizacija njegove ugradnje, Savjetovanje o mehanizaciji poljoprivrede, Zagreb.
9. Plamenac, N., (1976): Utjecaj drenaže kod euglejnog zemljišta u slivu Karašice i Vučice na proizvodnju kukuruza, Simpozij o uređenju zemljišta, Osijek.

10. *Plamenac, N.*, (1971): Uređenje vodnog režima hidromorfni^h glinovitih zemljišta na području Slavonske Orahovice primenom odvodnjavanja i agrotehničkih mera, Savjetovanje o Posavini, Zagreb.
11. *Plamenac, N., Vuković, M., Matić, B., Pejaković, B., Uzelac, M.*, (1983): Izvještaj o pregledu tehničke dokumentacije o rešenju odvodnjavanja cevnom drenažom društvenog sektora kazete 10 — Črnc-polje, Institut za vodoprivredu »Jaroslav Cerni«, Beograd.
12. *Schilfgarde, J. V.*, (1967): Približna rješenja drenažnog toka, Drenaža poljoprivrednog zemljišta (prijevod s engleskog), Beograd.
13. *Schuch, M., Jordan, F.*, (1973): Die Meliorations und Dranversuche in Ottenhofen und Ellingen, Bayer. Ladw. Jb. 50, 709—725, München.
14. *Schuch, M.*, (1979): Wasser und Bodenbewirtschaftung-umweltnet-bzw.-belastend, Z. f. Kulturtechnik und Flurberziniigung 20, 344—361, Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg.
15. *Spoor, G.*, (1980): Primjena krtičenja i podrivanja u Velikoj Britaniji, Poljodobra, Bilten 14/80, Zagreb.
16. *Srebrenović, D.*, (1975): Podzemno odvodnjavanje horizontalnim drenažnim zahvatima, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za kulturnu tehniku, Zagreb.
17. *Srebrenović, D.*, (1984): Hidrološka studija Lonjskog polja, Vodoprivredna radna organizacija, Zagreb.
18. *Škorić, A., Filipovski, G., Ćirić, M.*, (1973): Klasifikacija tala Jugoslavije, Zagreb.
19. *Thomasson, A. J.*, (1975): Soils and field drainage, Soil survey Technical monograph, No 7, Harpenden.
20. *Thomasson, A. J.*, (1981): Soil properties and field drainage design, Harpenden.
21. *Tomić, F., Marinčić, I.*, (1979): Detaljna odvodnja teških tala, Savjetovanje o uređenju površina s gledišta hidro i agromelioracija, Knjiga II, Zadar.
22. *Tomić, F., Šalinović, I., Marinčić, I.*, (1983): Reguliranje suvišnih voda na najraširenijim hidromorfni^m tlima u SR Sloveniji, Savjetovanje o melioracijama, Radgona.
23. *Tomić, F.*, (1984): Primjena detaljne odvodnje u SR Hrvatskoj, Savjetovanje — Inovacije u području drenaže i navodnjavanja, DON Bosne i Hercegovine, Sarajevo.
24. *Trafford, B. D.*, (1974): The Background theory, The proceeding of the Conferences et stonelligh and church stretton on the use of permeable backfill, Field Drainage Experimental Unit, Technical Bulletin No 74/11.
25. *Trafford, B. D.*, (1972): Field Drainage experiments in England and Weles, Field Drainage Experimental Unit, Austey Holl, Cambridge.
26. *Trafford, B. D.*, (1974): Soil water regimes — what is known the work which in land and suggestions for progress, MAAF, FDEN, No 73/13, Cambridge.
27. *Vlahinić, M.*, (1971): Problemi detaljne odvodnje na PPK Bosanski Brod i Ivanjskom polju, Savjetovanje o Posavini, Zagreb.
28. *Vlahinić, M., Resulović, H., Petijević, O.*, (1976): Rezultati istraživanja optimalnog načina odvodnje u teškim tlima, V kongres JDZPZ, Sarajevo.
29. *Wesseling, J.*, (1971): Teorija tečenja horizontalnim drenovima (prijevod s engleskog), Zagreb.
30. * * *, (1975—1985): Hidropedološka istraživanja na raznim objektima (više studija), Institut za agroekologiju Fakulteta poljoprivrednih znanosti, Zagreb.
31. * * *, (1973): Deutsche Normen, DIN 1185, Blatt 1—5, Regelung des Bodenwasser Haushaltes durch Rohrdranung, Rohrlose Dranung und Unterbodenmelioration.

MELIORACIJE SLANIH I ALKALNIH TALA

Prof. dr FRANE TOMIĆ, dipl. ing. agr.

1. UVODNA NAPOMENA

Dosadašnjim istraživanjima u našoj zemlji utvrđena su veća ili manja ograničenja za uzgoj poljoprivrednih kultura na oko 9,8 milijuna hektara raznih tipova tala, dok je na svega 4 milijuna ha površina omogućena normalna proizvodnja (Mihalić et al., 1980). U grupu tala sa znatnim ograničenjima spadaju zaslanjena i alkalna tla. Na jednom dijelu ovih tala otežana je normalna biljna proizvodnja, a na drugom je čak potpuno nemoguća. Na mnogim mjestima u našoj zemlji takva tla nalazimo u obliku većih ili manjih pjega unutar većeg kompleksa obradivih površina. Osnovni cilj ovog rada je da se ukaže na postojanje ovih anormalnih tala u našoj zemlji, te da se razjasni pristup i način njihova melioriranja. Poboljšanjem nepovoljnih zaslanjenih i alkalnih tala povećava se inače mali fond površina za intenzivni uzgoj poljoprivrednih kultura i na taj način ostvaruje mogućnost za veću i sigurniju proizvodnju hrane u nas.

2. RASPROSTRANJENOST I DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA SLANIH I ALKALNIH TALA

Slana i alkalna tla su raspoređena u svijetu posebno u područjima aridne i semiaridne klime. U našoj zemlji zauzimaju čak oko 270.000 ha površina. Najviše ih se nalazi u SAP Vojvodini, oko 233.000 ha (Miljković, 1963). U SR Hrvatskoj ima ih oko 20.000 ha, a u SR Makedoniji oko 15.000 ha. Na ovim tlima ne primjenjuje se ili je vrlo nesigurna biljna proizvodnja, uz ostvarivanje niskih prinosa.

U SR Hrvatskoj najviše zaslanjenih i alkaliziranih tala ima u Slavoniji i Baranji, zatim u deltama jadranskih rijeka (Neretva najviše), te na pojedinim otocima i površinama uz Jadransko more. Do sada su najviše vršena istraživanja slatina i slatinskih tala u Slavoniji i Baranji.

Bogunović et al. (1973) izdvaja oko 1930 ha slabo zaslanjenih i srednje alkaliziranih površina južno od Tovarnika na tlu ritske crnice. Racz et al. (1978) iznosi o solencu s područja Marijanaca, a Vukušić et al. (1978) na Žankovcu uz rijeku Vuku. Uz to su na većem broju lokaliteta registrirane slatine i slatinasta tla u vidu pjega unutar većih kompleksa ostalih tala, ali ih bez detaljnih istraživanja nije moguće točno razgraničiti i odrediti ukupnu njihovu površinu (Adam, 1981). Pored toga, ima u ovom području slatinastih tala koja još nisu identificirana. To su zapravo tla u fazi desalinizacije i

dealkalizacije, u razvojnom stadiju solodja, koje se nalaze pod kulturama. Uzimajući sve to u obzir i na temelju vlastitih istraživanja Adam (1981) procjenjuje da u Slavoniji i Baranji ima oko 3—5 tisuća slatina i oko desetak tisuća ha slatinastih tala, koja se nalaze uz slatine i u aluvijalnim nizinama Dunava, Drave, Save, Vuke i Bosuta. Značajno je istaknuti da su na području Slavonije i Baranje utvrđeni svi tipovi slatina kao i u Panonskoj nizini i čine cjelinu sa slatinama u Vojvodini i Mađarskoj. Isto tako nema pravilnosti u prostornom rasporedu slatina u Slavoniji i Baranji.

Istraživanja slanih i alkalnih tala, kao i primjena melioracijskih mjera za njihovo popravljnje nemaju bogatiju tradiciju. Počeci istražnih radova u svijetu su tek krajem 18. stoljeća. Tada je bilo svega oko milijardu stanovnika na zemljinoj kugli, pa osvajanje novih površina nije bilo ni potrebno. Međutim, današnjih preko 4 milijarde ljudi u svijetu zahtijeva znatno veće količine hrane. U tu svrhu neophodne su i znatno veće proizvodne površine, pa je neophodno i slana, odnosno alkalna tla, koja imaju velika ograničenja, popravljati i osposobljavati za uzgoj poljoprivrednih kultura. Prvi istraživači koji su temeljitije istraživali ova anormalna tla su Hilgrad, Gedroic, Sigmoud, Hissing (cit. po * * *, 1954). Genezom slanih i alkalnih tala, pored navedenih istraživača, bavili su se još Glinka, Rode, Tessedik... (cit. po Adamu, 1981). U našoj zemlji prvi radovi o slanim i alkalnim tlima pojavljuju se prije šezdesetak godina. Na genezi slatina najviše su radili Najgebauer (1954), Miljković (1963), Filipovski (1959), Živković (1965), Radanović (1972), Adam (1981). O klasifikaciji slanih i alkalnih tala u nas značajni su radovi: Gračanin (1951), Najgebauer et al. (1963, 1973), Miljković (1963), Škorić et al. (1973), Adam (1981).

Melioracije i korištenje slanih i alkalnih tala u svijetu proučavali su u većoj mjeri Kovda, Antipov-Karataev, Szaboles (cit. po Miljkoviću, 1963), a u našoj zemlji Najgebauer (1934, 1935, 1949) i Miljković (1955. i 1963)), te Živković (1954), Filipovski (1955), Plamenac (1964), Dobrenov (1974), Adam (1981). Na rješavanju maritimnih slatina radili su u nas Gračanin (1935), Blašković (1961, 1965), Jelavić (1955), Plamenac (1971), Dugandžić (1973). U Slavoniji i Baranji prvi obrađuje slatine Sandor (1912), pa Mosković (1914), Kurtagić i Jugo (1954), u novije vrijeme Škorić et al. (1972, 1977), Bogunović et al. (1973), Mihalić et al. (1979), Vukušić et al. (1978), Racz et al. (1978, 1980), Adam (1981).

3. TERMINOLOGIJA I OSNOVNE KARAKTERISTIKE SLANIH I ALKALNIH TALA

U praksi je uvriježen naziv »slano tlo« za ona koja ima u vodi topivih soli u štetnim količinama za biljke. Međutim, osim prisutnih soli, slana tla su često nepogodna i zbog većih količina adsorbiranog natrija, odnosno zbog loših fizikalnih svojstava. U Vojvodini se za ova anormalna tla uvriježio naziv »slatine«. Zbog toga Miljković (1963) pod slatinama tretira sva defektna tla koja su zbog štetnih soli, adsorbiranog natrija, kao i zbog nepovoljnih fizikalnih svojstava, više ili manje nepovoljna za uzgoj poljoprivrednih kultura. Tipični predstavnici slatina su solončaci, soloneci, solođi i slatinasta tla. Ovi nazivi su poodavno primijenjeni u SSSR-u. Solončak ima više od 1 % topivih soli (kloridi i sulfati), odnosno više od 0,7 % sode (Na_2CO_3) u profilu

tla. Redovno je solončak i alkalizirano tlo. Slabo alkaliziranim smatraju se tla koja imaju do 20 % iona natrija u adsorpcijskom kompleksu, srednje alkaliziranim 20—50 %, a jako alkalizirano tlo ima više od 50 % natrijeva iona u adsorpcijskom kompleksu. Prema vrsti soli koja je prisutna, dijeli se na sodni, sulfatni, kloridni i mješoviti solončak. Ovo tlo je vrlo nepovoljnih fizikalnih, kemijskih i bioloških svojstava, pa mogu vegetirati samo neke halofitne biljne vrste. Najlošiji su sodni solončaci. Soloneci, uglavnom, imaju manji sadržaj soli (u površinskom horizontu do 0,1 %, a u B-horizontu do 0,3 %). Površinski (A) horizont je aluvijalni — iz njega se glina premješta u Bt-horizont koji je specifične stubaste ili prizmatične strukture. U površinskom sloju je najmanja količina adsorbiranog natrija (do 10 %), a u B-horizontu uglavnom 50—70 %. Ovako visok sadržaj natrijeva iona u adsorpcijskom kompleksu predstavlja najznačajnije nepovoljno svojstvo soloneca. Naime, ovo svojstvo uvjetuje peptizaciju koloida tla koji se mehanički premještaju u aluvijalni stubasti horizont koji ima vrlo nepovoljna svojstva. Solođi su nastali procesom produženog ispiranja i degradacije izluženih slatina putem daljnje hidrolize (Miljković, 1963). Soli su u ovom tlu isprane na znatnu dubinu, tako da iznose u profilu do 0,1 %. Sadržaj natrijeva iona u adsorpcijskom kompleksu iznosi svega do 12 %. S obzirom na to da je sadržaj ostalih kationa još manji, znatan dio kapaciteta adsorpcije ovog tla otpada na adsorbirani vodik. Ova činjenica uvjetuje više-manje kiselu reakciju do znatne dubine u profilu solođa. U uvjetima veće vlažnosti i odstranjenih vodonikovih soli dolazi do dealkalizacije adsorpcijskog kompleksa daljnjom hidrolizom. Slatinasta tla, po Miljkoviću (1963), su ona koja su zbog procesa zaslanjavanja i alkalizacije, odnosno procesa odslanjavanja i dealkalizacije, izmijenila svoja ranija svojstva. Od navedenih oblika slatina, slatinasta tla su u nas rasprostranjenija. U svojim istraživanjima u Slavoniji i Baranji, Adam (1981) je naišao na zaslanjenu i/ili alkaliziranu ritsku crnicu, aluvijalno tlo i livadsko alkalizirano tlo. Ukupne vodotopive soli u ritskoj crnici iznose 0,13 %, a u aluvijalnim tlima do 0,12 %. Količina adsorpcijskog natrija je 10,57 %, odnosno 2,05 % u aluvijalnim tlima. Zbog toga se ova tla mogu tretirati kao potencijalno zaslanjena i/ili alkalizirana tla na područjima s visokom razinom podzemne vode. Zbog toga treba voditi računa pri gospodarstvu vodnog režima ovih tala (Adam, 1981).

U SAD su za ova defektna tla poznati nazivi »White alkaly« i »Black alkaly«. Prvi se naziv primjenjuje za slana tla gdje prevladavaju sulfatne i kloridne soli, gdje se često na površini stvara bijela pokorica. Drugi se koristi za tla koja sadrže karbonate. Na površini se oboje crno od organske tvari koja se u tim specifičnim uvjetima otapa.

Pored navedenih klasifikacija u svijetu se puno koristi klasifikacija koja je data od strane US Salinity Laboratory (Richards, 1954). Ona se temelji na slanosti tla, odnosno količini ili koncentraciji vodotopivih soli u tlu (EC) i postotku zamjenljivog natrija (ESP).

Slana tla imaju:

- EC veći od 4 mmhos/cm pri 25 °C,
- ESP manji od 15 %,
- pH općenito ispod 8,5.

Ovakve količine topivih soli štetno utječu na većinu kulturnih biljaka. Često se mogu naći na površini ovakvih tala bijele inkrustacije soli. Glavni anioni kod slanih tala su Cl^- i SO_4^{2-} , a u manjim količinama HCO_3^- i NO_3^- . Mogu također biti prisutni netopivi karbonati i sulfati. U pravilu na Na^+ otpada manje od 50 % topivih kationa.

Slana alkalna (sodna) tla imaju:

- EC veći od 4 mmhos/cm pri 25 °C,
- ESP veći od 15 %,
- pH rijetko veći od 8,5.

Usjevi koji se uzgajaju na ovim tlama mogu jako zaostajati u rastu. Ova tla su alkalna. Zbog toga dispergiraju, i propusnost tla za vodu je vrlo mala, te su nepogodna za obradu.

Neslana alkalna (sodna) tla imaju:

- EC manji od 4 mmhos/cm pri 25 °C,
- ESP veći od 15 %,
- pH je obično između 8,5 i 10, ali kod tala koja ne sadrže vapno pH može biti nizak do 6. Kod ovih tala najvažniji anioni su Cl^- , SO_4^{2-} i HCO_3^- . Međutim, i karbonati su često prisutni. Na^+ je glavni kation u otopini tla, a Ca^{++} i Mg^{++} su većinom isprani. Struktura ovih tala je obično vrlo loša.

Na kraju ovog kratkog prikaza o terminologiji i osnovnim karakteristikama ovih anormalnih tala, želimo istaknuti da smo se opredijelili za termine »slana i alkalna tla« zbog njihove najčešće dosadašnje primjene u praksi.

4. UTJECAJ SLANOSTI I ALKALICNOSTI NA BILJKE I TLO

Suvišne soli u tlu utječu na biljku. Međutim, ovaj toksičan utjecaj je često manje značajan od nepovoljnog utjecaja povećanog osmotskog tlaka u otopini tla, koji smanjuje sposobnost biljaka u korištenju vode iz tla. Postoji različita tolerantnost biljaka na sadržaj soli u tlu. Na to utječu vremenski uvjeti, režim vlage u tlu, mehanički sastav tla, te vrste soli i njihov međusobni odnos. Odnos sadržaja soli i reakcije biljaka u zoni korijena srednje teksturnog tla prikazan je u tabeli 1.

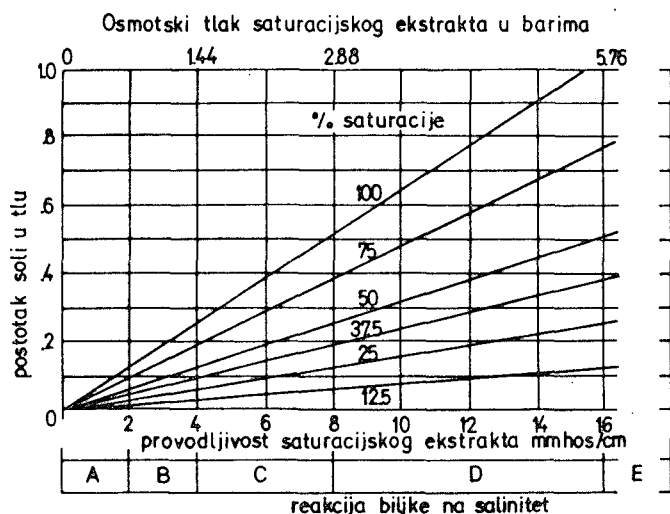
Za interpretaciju saliniteta u tlu i njegove nepogodnosti za uzgajane kulture vrlo je pogodan grafikon US Salinity Laboratory (sl. 1), koji su koristili Miljković (1963), Tomaš i Kasum (1979), Adam (1981). Na ovom grafikonu je prikazan odnos sadržaja soli u tlu (%) i osmotskog tlaka, kao i odnos postotka soli i električne provodljivosti u saturiranom vodenom ekstraktu s obzirom na podnošljivost usjeva. Ovaj odnos ovisi o postotku saturacije, odnosno o mehaničkom sastavu tla. Prema tome, tlo težeg mehaničkog sastava (glinasto) s postotkom saturacije 75 % i tlo lakšeg mehaničkog sastava (pjeskovito) koje ima 25 % saturacije, imaju uz jednaku električnu provodljivost od 8 mmhos/cm različiti postotak soli (0,4 %, odnosno 0,13 %). Uzimajući u obzir ove koncentracije soli, moglo bi se zaključiti da koncentracija soli od 0,13 % nije problematična, međutim, obje koncentracije soli su škodljive. To očito govori koliko je značajan, za te odnose, mehanički sastav

tla. Ako među izmjenljivim kationima u adsorpcijskom kompleksu prevladava natrij, dolazi do pogoršanja strukture tla, pogotovu pri visokom sadržaju glinenih čestica. Kada glinene čestice sadrže adsorbirani natrij one se raspršuju, te se ispiru prema dubini stvarajući iluvijalni (B) horizont, koji postaje zbijen, stubaste strukture, slabo propustan za vodu i zrak, plastičan. U vezi s tim takvo tlo je ljepljivo kada je vlažno i tvrdo u suhim uvjetima. Zbog svega toga nepogodno je za obradu i općenito je nepogodno za uzgoj poljoprivrednih kultura. Kod tala koja sadrže natrijev karbonat (sodu) dolazi do otapanja organske tvari, pa nakon ishlapljivanja vode tlo na površini ima crnu boju. Na temelju toga Hilgard (citirano po Miljkoviću, 1963) je ova tla nazvao »Black alkaly soil«, za razliku od »White alkaly soil«, koja nemaju sodu i svjetlije su boje. Napominje se da i tla, koja imaju dosta zamjenljivog magnezija, mogu također imati lošu strukturu.

Tabela 1.

ODNOS SADRŽAJA SOLI U TLU I REAKCIJA BILJAKA

EC mmhos/cm	Sadržaj soli %	Reakcija biljaka
0—2	0,05—0,1	Utjecaj slanosti zanemarljiv
2—4	0,1 —0,2	Prinosi vrlo osjetljivih biljaka mogu biti umanjeni
4—8	0,2 —0,4	Prinosi većine biljaka umanjeni
8—16	0,4 —0,8	Samo tolerantne biljke imaju zadovoljavajući prinos
više od 16	više od 0,8	Samo mali broj tolerantnih biljaka ima zadovoljavajući prinos



Sl. 1. Odnos postotka soli u tlu i električne provodljivosti saturacijskog ekstrakta kod određenog osmotskog tlaka na reakciju biljaka

5. MELIORACIJE (POPRAVLJANJE) SLANIH I ALKALNIH TALA

Kako je već navedeno, slana i alkalna tla često se znatno razlikuju po fizikalnim, kemijskim, biološkim i proizvodnim svojstvima. Zbog toga se ova tla mogu različito popravljati i iskorištavati. Bilo je u prošlosti dosta slučajeva da se nije vodilo računa o svim potrebnim faktorima (svojstvima tla, hidrološkim prilikama, specifičnosti lokaliteta), tako da su se primjenjivale neadekvatne mjere u melioriranju ovih defektnih tala i time još više pogoršavala njihova nepovoljna svojstva.

Iz dosadašnjih pristupa u popravljanju ovih anormalnih tala u svijetu i u nas proizlazi da su temeljne melioracijske mjere za njihovo popravljanje: odvodnja, kemijske melioracije i ispiranje suvišnih soli iz tla.

Ako se ne pristupi ovim osnovnim mjerama, zaslanjena i alkalna tla nije moguće intenzivnije koristiti, već ih je jedino moguće iskorištavati za ribnjake, rižina polja, pošumljavanje ili eventualno za pašnjake, te uzgoj kamilice ili »pčelinje paše« (Miljković, 1963).

5.1. Odvodnja

Za popravlanje slanih i alkalnih tala odvodnja je prva mjera koju je neophodno provesti, jer nisu poželjne za ova tla niti stagnirajuće vode niti prisutnost visoke podzemne vode. Iznimno, ako se ova tla nalaze na višim položajima mogu se popraviti samo kemijskim melioracijama, ali je to vrlo rijedak slučaj. U našim područjima, pogotovu u Panonskoj nizini, odnosno Slavoniji i Baranji, ova anormalna tla se nalaze na najnižim kotama reljefa i podzemna voda je neposredni faktor koji utječe na njihovo zaslanjivanje. Stoga je nužno regulirati podzemnu vodu imajući u vidu njezinu kritičnu dubinu. Kritična dubina podzemne vode za Slavoniju i Baranju po Kovdi (Adam, 1981) iznosi 235—270 cm. Po istom autoru podzemne su vode na slanim i alkalnim tlima u Slavoniji i Baranji u većoj ili manjoj mjeri mineralizirane i periodično se nalaze znatno plicije od vrijednosti kritične dubine. Još nepovoljniji slučaj sa stupnjem mineralizacije i dubine podzemne vode iznose Najgebauer (1949) i Miljković (1962). Za reguliranje dubine podzemne vode neophodna je osnovna odvodnja (primjenom otvorenih kanala) i detaljna odvodnja (primjenom cijevne drenaže). Kanalska mreža (kanali I, II i III reda) treba biti dovoljno duboka i da ima stalno osigurano gibanje vode, kako bi se spriječilo njezino kapilarno dizanje i akumuliranje soli u rizosferi. Uz kanalsku mrežu neophodna je primjena detaljne odvodnje cijevnom drenažom. Ovom mjerom će se, pored reguliranja podzemne vode, regulirati i stagnirajuće površinske vode koje se redovno pojavljuju na slanim i alkalnim tlima, a posebno predstavljaju probleme na solodima i nekim solonocima. Preporuča se primjena plastičnih cijevi ili pečene gline većeg promjera (65 ili 80 mm), užeg razmaka, nešto veće dubine i pada (minimalno 5 promila) nego kod uobičajenih drenažnih sustava. Na ovaj će se način osigurati veća dubina rizosfere, manja mogućnost od zamuljivanja cijevi i brže odvođenje suvišne vode iz tla. U sklopu cijevne drenaže (detaljne odvodnje) neobično važno je primijeniti hidraulični filter materijal u drenažnom jarku iznad cijevi, te duboko rahljenje ili krtičenje (ovisno o mehaničkom sastavu tla).

Ove su mjere posebno značajne u sklopu kombinirane detaljne odvodnje, kod onih tala koja imaju izraženiji glinasti B horizont, kako bi se postigla povoljnija vodopropusnost do drenažnih cijevi.

Đaković (1983) misli da su alkalna tla dispergirana i da bubre, te da njihova nestabilnost i nepropusnost mogu spriječiti odvodnju ako se drenažni jarak ne ispuni propusnim materijalom.

S obzirom na to da je filter materijal prvenstveno potreban radi hidraulične uloge, promjer čestica šljunka (šljunak se najčešće upotrebljava) može iznositi 0,3—35 mm. Visina šljunka u jarku za dubinu rahljenja, odnosno krtičenja. Ako se rahljenje izvodi do dubine od 60 cm, visina šljunka u jarku iznositi će obično do 50 cm ispod površine tla. Na taj način ostvaruje se siguran put suvišnoj površinskoj vodi i suvišnoj vodi iz rizosfere do cijevi, odnosno dalje od recipijenta i izvan proizvodne površine. Razmak prohoda rahljenja iznosi 75—150 cm. U slučaju izvođenja krtične drenaže (umjesto dubokog rahljenja) treba nastojati ostvariti njezinu dubinu također od 60 cm, a razmak 2—3 m.

5.2. Kemijske melioracije

Prilikom primjene kemijskih melioracija zaslanjenih i alkalnih tala prvenstveno je potrebno voditi računa o kemijskim svojstvima tla.

Što se tiče kemijskih svojstava treba utvrditi sadržaj CaCO_3 , te vrstu i količinu vodotopivih soli i sode, kao i zasićenost adsorpcijskog kompleksa natrijem. Po ovim svojstvima Miljković (1963) je sve slatine u Panonskoj nizini podijelio na karbonatne i nekarbonatne. Budući da je ovakva podjela stvarno praktična, posebno zbog njihovih melioracija, i mi ćemo je primijeniti.

Karbonatne slatine sadrže veće ili manje količine CaCO_3 , vodotopivih soli i vode (Na_2CO_3). Nekarbonatne slatine ne sadrže CaCO_3 , a vodotopivih soli također ne sadrže ili ih imaju vrlo malo (do 0,2 % ukupnih soli ili EC 4 mmhos/cm). Međutim, i karbonatne i nekarbonatne slatine imaju natrij vezan u adsorpcijskom kompleksu. Upravo prisustvo natrija čini tlo općenito nepovoljnim. U vlažnom stanju tlo je plastično, a u suhom tvrdo i kompaktno, tako da je u oba slučaja nestabilne strukture i teško obradivo.

Osnovna svrha kemijskih melioracija je da se u adsorpcijskom kompleksu natrij zamijeni kalcijem. Izmjenom natrija s kalcijem, struktura tla postaje stabilnija, a time se poboljšavaju fizikalna, kemijska i biološka svojstva tla, te tlo postaje povoljnije za obradu.

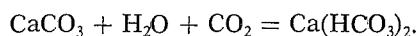
Način zamjene natrija s kalcijem u adsorpcijskom kompleksu treba se razlikovati kod karbonatnih u odnosu na nekarbonatne slatine. Naime, nekarbonatne slatine (solođi i neki solonjeci) imaju pH vrijednost ispod 7,5 pa ih je relativno i lakše meliorirati. Kod solođa i nekih soloneca vapno je u procesu izluživanja isprano do izvjesne dubine, pa se dodavanjem vapna vrši poboljšanje beskarbonatnih slatina. Za razliku od njih, karbonatne je slatine (solončaci i karbonatni soloneci) teže meliorirati jer sadrže pored vapna i štetne soli (NaCl , Na_2SO_4 , pa i Na_2CO_3). Iz karbonatnih slatina je nužno odstraniti štetne soli natrija. U tu svrhu je prvenstveno potrebno osigurati drenažu, odnosno sniziti razinu podzemne vode. Pored toga, nužno je

kemijskim melioracijama sniziti pH vrijednost koja iznosi 8—10,5. Ovaj cilj se ne može ostvariti dodavanjem vapna koje ima također alkalnu reakciju i pospješuje daljnje stvaranje sode u tlu. Dakle, za razliku od nekarbonatnih slatina, solončanci i karbonatni solonci se ne smiju meliorirati vapnom (CaCO_3). Da bi se ipak izvršila zamjena natrija s kalcijem, u adsorpcijskom kompleksu primjenjuje se »posredan ili indirektan meliorativni postupak« (Miljković, 1963). U ovom slučaju se dodaje gips koji mobilizira kalcij iz vapnene sodne slatine. Dakle, gips indirektno pomaže aktiviranju manje aktivnog kalcija iz prirodnih rezervi. S obzirom na to da postoje različiti načini u pristupu kemijskih melioracija značajno je poznavati svojstva slatina, odnosno njihovu vrstu.

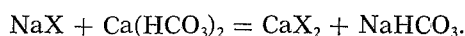
5.2.1. Popravljanje nekarbonatnih slatina

Dodavanjem CaCO_3 kalcifikacijom, kalcij zamjenjuje natrij u adsorpcijskom kompleksu. Struktura tla postepeno postaje mrvičasta, te se općenito poboljšavaju fizikalna svojstva tla (veća propusnost za vodu i veći kapacitet za zrak prvenstveno).

Kako je CaCO_3 znatno bolje vodotopiv u prisutnosti CO_2 (ugljičnog dioksida), preporuča se prije primjene kalcifikacije izvršiti gnojidbu organskim gnojivom. U tom slučaju nastaje kemijska reakcija:

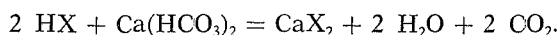


Nastali kalcijev bikarbonat efikasno djeluje na adsorpcijski kompleks koji je zasićen natrijem, putem slijedeće reakcije:



Na taj način dolazi do stvaranja natrijeva bikarbonata koji je topiviji u vodi i, uz prisustvo viška procijedne vode, potiskuje se prema dubini i odstranjuje putem drenaže iz tla.

Budući da se u nekarbonatnim slatinama (solodi prvenstveno) u adsorpcijskom kompleksu nalazi, pored natrija, i vodik, u tom slučaju dolazi i do zamjene vodikova iona kalcijem:



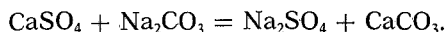
Krajnji rezultat kalcifikacije je poboljšanje stabilnosti strukture tla, a time i obradivost i njegova plodnost. Međutim, treba naglasiti da primjena kalcifikacije dolazi u obzir samo za solode, osoložena tla i nekarbonatne solonece. Kao sredstvo su prikladni mljeveni kalcijev karbonat i saturacijski mulj.

5.2.1.1. Potrebne količine CaCO_3 za popravljanje nekarbonatnih slatina

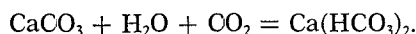
Određuje se na temelju vrijednosti adsorbiranog natrija i vodika u adsorpcijskom kompleksu. Po Richardsu (1954), jedan meq zamjenljivog natrija na 100 gr tla treba ekvivalentnih 2,635 tone CaCO_3 na hektar površine do dubine 30 cm. Na temelju hidrolitskog aciditeta (Y_1) određuje se količina CaCO_3 za neutralizaciju vodika (Škorić, 1965). Ako se vrijednosti (Y_1) množi s faktorom 0,45 dobije se ekvivalentna vrijednost CaCO_3 u tonama po hektaru površine.

5.2.2. Popravljanje karbonatnih slatina

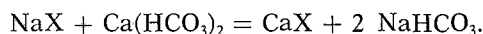
Osnovno je da se umjesto CaCO_3 dodaje gips (CaSO_4). U doticaju sa sodom dolazi do kemijske reakcije s kojom se soda pretvara u glauberovu sol (Na_2SO_4) koja je topiva u vodi i podliježe ispiranju iz tla:



Ovaj kalcijev karbonat ili onaj koji se prirodno nalazi u tlu znatno je bolje vodotopiv u prisutnosti CO_2 (ugličnog dioksida), pa je stoga i u ovom slučaju dobro izvršiti gnojidbu organskim (stajskim) gnojem. Time nastaje kemijska reakcija:



Nastali kalcijev karbonat efikasno djeluje na adsorpcijski kompleks koji je zasićen natrijem, putem slijedeće reakcije:



Rezultat toga je sniženje alkalne reakcije, smanjuje se koncentracija štetnih soli u tlu, te dolazi do poboljšanja kemijskih, fizikalnih i bioloških svojstava tla.

Nastali natrijev bikarbonat uz prisustvo viška procijedne vode potiskuje se prema dubini i odstranjuje se putem drenaže iz tla. Po Sigmondu (citirano po Miljkoviću, 1963) moguće je pri dodavanju gipsa dobiti i povratnu reakciju. U tom slučaju bi se povećala količina sode (Na_2CO_3) u tlu. Takva opasnost dolazi do izražaja ako su ioni sulfata u nedostatku, odnosno ukoliko se dodaje nedovoljna količina gipsa pa prevlada suprotna reakcija. Ova nepoželjna povratna reakcija dokazuje zašto se karbonatna alkalna tla ne mogu popravljati kalcifikacijom, odnosno dodavanjem CaCO_3 .

5.2.2.1. Potrebne količine gipsa za popravljanje karbonatnih slatina

Potrebne količine gipsa i stajnjaka

Za određivanje potrebnih količina gipsa pri popravljanju alkalnih tala važna je vrijednost adsorbiranog natrija i kapacitet adsorpcije baza u tlu. Do danas su se primjenjivale za određivanje količine gipsa uglavnom dvije metode:

- na temelju sadržaja adsorpcijskog natrija i kapaciteta adsorpcije baza,
- potreba gipsa («gypsum requirement») po Schoonoveru.

Po prvoj metodi određuje se potrebna količina gipsa računskim načinom. U daljnjem se tekstu iznosi kao primjer određivanje gipsa za sloj tla 0—30 cm i za sloj tla 30—50 cm dubine u slučaju melioracija alkaliziranih tala PIK Vinkovci (Tomić et al., 1985). Određene su količine gipsa za oba navedena sloja, zbog toga što je bilo potrebno izvršiti poboljšanje tla do dubine 50 cm.

Površinski sloj (0—30 cm):

- kapacitet zamjene kationa 15,46 meq/100 g tla,
- prisutnost Na u adsorpcijskom kompleksu 6,72 meq/100 g tla,
- zastupljenost Na u adsorpcijskom kompleksu 43,47 %.

Ako se snizi zastupljenost Na u adsorpcijskom kompleksu na 10 %, to znači da je potrebno supstituirati 5,17 meq/100 g tla Na. Budući da 1 meq/100 g tla gipsa odgovara približno 4,25 t/ha gipsa do 30 cm dubine pri volumnoj težini tla 1,333 t/m³, to znači da je potrebno dodati $5,17 \cdot 4,15 = 21,97$ t/ha gipsa. Ovoj količini treba dodati razliku od 2,35 t/ha gipsa koja proizlazi iz razlike volumne težine tla (vol. težina iznosi 1,476 t/m³ a ne 1,333 t/m³). Dobivena ukupna količina gipsa od 24,32 t/ha množi se faktorom 1,25 zbog kompenzacije nepotpune kvantitativne supstitucije. Tako je za kemijske melioracije *sloja tla 0—30 cm potrebno dodati 30,4 t/ha gipsa.*

Sloj tla 30—50 cm:

- kapacitet zamjene kationa 21,33 meq/100 g tla,
- prisutnost Na u adsorpcijskom kompleksu 9,21 meq/100 g tla,
- zastupljenost Na u adsorpcijskom kompleksu 43,2 %.

U ovom sloju tla (30—50 cm) treba sniziti zastupljenost Na u adsorpcijskom kompleksu na 10 % ili na 2,13 meq/100 g tla. To znači da treba supstituirati 7,08 meq/100 g natrija u adsorpcijskom kompleksu tla.

U tu svrhu je potrebno $7,08 \cdot 4,25 = 30,09$ t/h gipsa. Ovoj vrijednosti se dodaje 7,89 t/ha gipsa zbog razlike u volumnoj težini (volumna težina ne iznosi 1,333 t/m³, već 1,55 t/m³). Ako se ova ukupna vrijednost gipsa od 34,99 t/ha pomnoži s koeficijentom 1,25 (zbog kompenzacije nepotpune kvantitativne supstitucije), dobije se ukupna potreba gipsa od 43,74 t/ha za sloj tla od 30 do 60 cm dubine. Međutim, u ovom se slučaju želi izvršiti kemijska melioracija do dubine 50 cm, pa potrebna količina gipsa *za sloj tla 30—50 cm iznosi 29,16 t/ha.*

Prema tome, u svrhu kemijskih melioracija za poboljšanje kemijskih i fizikalnih svojstava tla do 50 cm dubine treba dodati $30,40 + 29,16 = 59,56$ t/ha gipsa. Ukupno određenu količinu gipsa bilo bi povoljnije postepeno davati u nekoliko doza, u odnosu na gipsanje cijele količine u jednom navratu. Stoga je predloženo da se ukupna količina razdijeli na četiri doze, odnosno da se gipsanje vrši kroz četiri godine, i to:

— u prvoj godini	25,00 t/ha gipsa
— u drugoj godini	15,00 t/ha gipsa
— u trećoj godini	10,00 t/ha gipsa
— u četvrtoj godini	9,56 t/ha gipsa

Ukupno:	59,56 t/ha gipsa
---------	------------------

Druga je metoda po Schoonoveru. Miljković (1963), a potom i Adam (1981) preporučuju ovu jednostavnu i brzu metodu. Po ovoj metodi tretira se uzorak tla zasićenim rastvorom gipsa. Razlika vrijednosti Ca u meq/l u

zasićenom rastvoru gipsa i Ca + Mg u meq/l iz filtrata uzorka tla, množi se faktorom 2. To odgovara potrebnoj količini gipsa u meq/100 gr tla. S obzirom na to da 1 meq gipsa na 100 gr tla odgovara približno 4,25 tone gipsa za površinu od 1 ha do 30 cm dubine, moguće je odrediti ukupnu potrebnu količinu gipsa za svaku površinu koju se namjerava meliorirati.

Po Miljkoviću (1963), potrebne količine gipsa po ovoj metodi, za popravljjanje solončaka u Vojvodini, iznose do 12,9 meq/100 gr za prvi sloj i do 20,5 meq/100 gr tla za drugi sloj. Za solonec je potrebno svega do 5,9 meq/100 gr, a za B horizont do 22 meq/100 gr tla. Po istom autoru je nužno dodavati gips i kod slatinastih tala u Vojvodini, i to do 9 meq/100 gr, dok solodi imaju neznatne potrebe za gipsom (0—1,5 meq/100 gr tla), pa za njihov popravak treba upotrebljavati vapno (CaCO_3), što je prikazano u dijelu popravljjanja nekarbonatnih slatina. Istraživanja Adama (1981) o slatinama i slatinastim tlima u Slavoniji i Baranji, pokazuju da su potrebne manje količine gipsa za njihovo popravljjanje u odnosu na navedene potrebe u Vojvodini. Naime, podaci pokazuju da je za solončake na pojedinim lokacijama, potrebno dodati 15,85 meq gipsa na 100 gr tla, a za solonece 10 meq/100 gr gipsa, i to za najlošiji (drugi) sloj.

U posljednje vrijeme se u Francuskoj dosta primjenjuje popravljjanje slanih i alkalnih tala upotrebom gipsa. Pokusi na marinskim nanosima u Francuskoj, u vezi s tretiranjem tla gipsom i vodom zasićenom SO_2 , pokazali su određenu desalinizaciju i povećanje prinosa, pogotovu pri upotrebi većih doza (doza gipsa i doza SO_2 koje odgovaraju 5,2 t/ha sumpora), Đaković (1983). Isti autor iznosi rezultate pokusa u zapadnim močvarama Francuske. Na zaslanjenim i dreniranim glinovitim tlima (oko 60 % gline) upotrebljavan je fosfogips i razrijeđena sumporna kiselina. Sva tretiranja su pokazala efikasnost što se tiče desalinizacije povećanja prinosa i poboljšanja strukture tla.

Značajno je spomenuti da francuski stručnjaci smatraju da je vrijeme rasipanja gipsa vrlo značajan faktor u popravljjanju tla. Međutim, povoljan učinak može se jedino ostvariti ako se gips rasipa u suho vrijeme i pri niskoj vlažnosti tla, odnosno kada postoji maksimalno raspucavanje tla (Concarnet, J., 1981).

5.3. Ispiranje vodotopivih soli

Ispiranje štetnih vodotopivih soli iz slanih i alkalnih tala vrši se procjeđivanjem većih količina vode kroz sloj tla, bilo putem povećanih doza vode za navodnjavanje, dodavanjem većih količina vode u tlo u toku godine, ili prirodnim putem tokom vanvegetacijskog perioda. Međutim, ovo ispiranje soli može se izvršiti uspješno samo onda kada su osigurani uvjeti za uspješno odvođenje vode iz tla i u njoj otopljenih soli. Znači da je ispiranje štetnih soli iz rizosfere poseban problem, ali je usko vezano s drenažom tla. U povoljnom drenažnom sistemu i pri izvršenim odgovarajućim kemijskim melioracijama stvoreni su uvjeti za prirodno ispiranje suvišnih soli iz tla. Ono se uglavnom odvija u zimskom periodu pri potpunoj saturaciji tla vodom, odnosno prirodnim oborinama u to vrijeme. Ukoliko se primjenjuje umjetno ispiranje, ono može biti početno i redovito.

5.3.1. Početno ispiranje soli

Količina vode za početno ispiranje štetnih soli se može odrediti po formuli Volobaeva (1948):

$$N = K \cdot \log \frac{S_i}{S_o} \cdot a$$

gdje je:

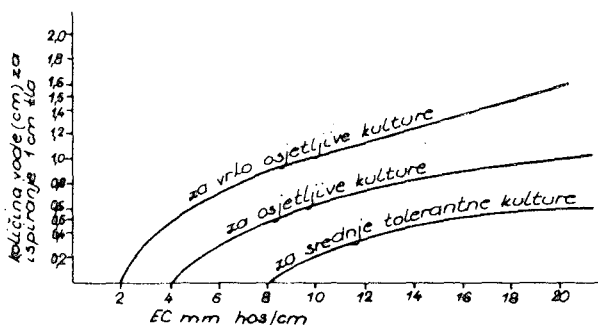
N = količina vode potrebna za ispiranje soli, u m³/ha

K = koeficijent proporcionalnosti (za 1 ha do 1 m dubine iznosi 10.000)

S_i = prosječan % soli u tlu

S_o = tolerantan % soli

a = parametar ovisan o slanosti i proporciji klorida u tlu.

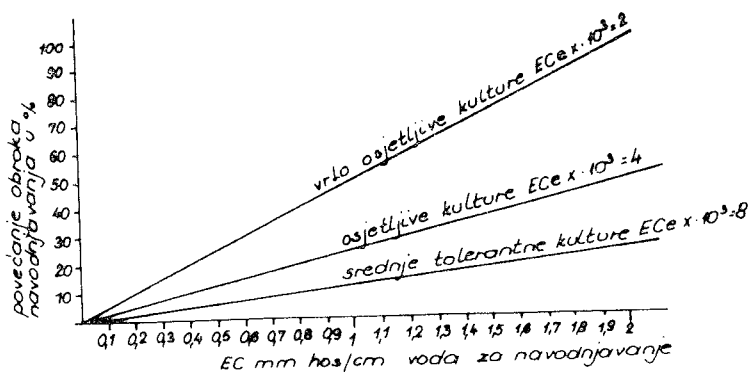


Sl. 2. Početno ispiranje soli

Osim toga, može se odrediti i po sl. 2 (Bernstein et al., 1955). Određena količina vode za početno ispiranje se dodaje u jednom, dva ili više navrata. Bolje je vršiti postepeno ispiranje, jer naglo dodavanje može dovesti i do nepovoljnih efekata, tj. ispiranja dijela nitrata i drugih hranjivih tvari iz rizosfere.

5.3.2. Redovito ispiranje soli

Vrši se tokom vegetacije. Primjena ovog ispiranja bit će češća ako je voda kojom se redovno navodnjava, lošije kvalitete. Količina vode za redovno ispiranje je u stvari postotak povećanja obroka navodnjavanja. Vrijednost povećanog obroka određuje se na temelju vrijednosti EC u vodi kojom se navodnja i osjetljivost uzgajanih kultura u odnosu na % soli u tlu, sl. 3 (Bernstein et al., 1955; US Salinity, 1954). U tu svrhu je potrebno tokom vegetacije pratiti sadržaj soli u tlu i vršiti kontrolu kvalitete vode kojom se navodnja. Na popravljenim slanim i alkalnim tlima može nastupiti novi proces salinizacije (sekundarno zaslanjivanje), posebno u uvjetima navodnjavanja. Mišljenje je Kovde (1947) da i voda najbolje kvalitete može izazvati zaslanjivanje tla. Pri uzgoju kultura u zatvorenom prostoru Tomaš i Tomić (1977) ustanovili su utjecaj vode na zaslanjivanje supstrata i postigli su dobre rezultate odstranjivanja štetnih soli primjenom redovitog ispiranja.



Sl. 3. Količina vode za redovito ispiranje soli

Pored navedenih temeljnih mjera za melioriranje slanih i alkalnih tala potrebno je poduzimati i niz ostalih pojedinačnih ili zajedničkih mjera: planiranje površina, izbor odgovarajućeg sistema obrade, povećanje plodnosti tla primjenom organskih i mineralnih gnojiva, te izbor kultura i plodoređa.

U svakom slučaju, ne mogu se melioracije slanih i alkalnih tala provoditi primjenom pojedinačnih zahvata, već njihov popravak treba biti sveobuhvatan i prilagođen svakom pojedinačnom (specifičnom) slučaju. Samo tako izvedena melioracija ovih tala može dati dobre rezultate.

LITERATURA:

1. Adam, M. (1981): Slatine i slatinasta tla Slavonije i Baranje, disertacija, Osijek.
2. Bernstein, L., Fireman, M., Recve, R. C. (1955): Control of salinity the Imperial, Valley, California, USDA.
3. Blašković, P. (1961): Problemi salinizacije i desalinizacije tala doline Neretve Vodoprivreda Jugoslavije, No 1—2, Beograd.
4. Blašković, P. (1965): Močvarna tla doline donjeg toka Neretve, doktorska disertacija, Zagreb.
5. Bogunović, M., Pavlič, V., Bašić, F., Šalinović, I., Bašić, I., Čaleta, Z. (1973): Tla dijelova sekcije Vukovar 1, 2, 4 i B. Palanka 3, Institut za pedologiju i tehnologiju tla Poljoprivrednog fakulteta, Zagreb.
6. Concaret, J. (1981): Drainage agricole, Theorie et pratique, Chambre regionale D'Agriculture de Bourgogne, Dijon.
7. Dobrenov, V. (1974): Vodna svojstva slatina severnog Banata sa gledišta uređenja njihovog vodnog režima, Novi Sad.
8. Dugandžić, G. (1973): Utjecaj agromelioracija na izmjenu vodnofizičkih svojstava i dinamika ispiranja jako zaslanjenih glinastih tala Neretve, Zemljište i biljka, Vol. 22, No 3, Beograd.
9. Filipovski, G. (1955): Solenite počvi na Kočensko Pole i mogućnost na nivna melioracija, Godišnji zbornik ZŠF, VI—VII, Skopje.
10. Filipovski, G. (1959): Geneza, evolucija i naučne osnove melioracija slatine Ovčeg polja, Godišnji zbornik ZŠF, XII, Skopje.

11. *Gračanin, M.* (1935): Pedološka studija otoka Paga, Glasnik za šumarske pokuse, No 34, Zagreb.
12. *Gračanin, M.* (1951): Pedologija, III dio, Sistematika tala, Školska knjiga, Zagreb.
13. *Jelavić, A.* (1955): Slanost tala Neretvanskih Blatija, Vodoprivreda, No 1, Beograd.
14. *Kovda, V. A.* (1947): Proishvođenje i režim zasoljenih počv, I i II, Moskva.
15. *Kurtagić, M., Jugo, B.* (1954): Problem navodnjavanja Istočne Slavonije, Poljoprivredni nakladni zavod, Zagreb.
16. *Mihalić, V., Miljković, N., Najgebauer, V., Mušac, I.* (1980): Problemi intenziviranja proizvodnje na anormalnim zemljištima uključujući odvodnju i druge meliorativne zahvate, VI kongres JDPZ, knjiga I, Novi Sad.
17. *Mihalić, V., Butorac, A., Manger, I.* (1979): Projekat agromelioracija za objekte Krnjak, Črnkovi i Marijanci, FPZ Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
18. *Miljković, N.* (1955): Iskorišćavanje i popravljavanje slatina, Zadruga knjiga, Beograd.
19. *Miljković, N.* (1962): Hidrofizičke karakteristike glavnih tipova slatina u Vojvodini, Letopis radova Polj. fak. br. 6, Novi Sad.
20. *Miljković, N.* (1963): Karakteristike vojvođanskih slatina, Savez vodnih zajednica NR Srbije, Novi Sad.
21. *Miljković, N.* (1963): Vrste mineralne gline u vojvođanskim slatinama, Arhiv za poljoprivredne nauke, God. XVI, str. 53, Beograd.
22. *Mosković, A.* (1914): Izvešće o preglednom agropedološkom kartiranju ljeti 1913. godine, Vijesti geološkog povjerenstva za kraljevine Hrvatsku i Sloveniju za godine 1912. i 1913, Zagreb.
23. *Najgebauer, V.* (1934): Tipovi zemljišta Skopske ravnice njihova poljoprivredna vrednost, gena i mere poboljšanja, Beograd.
24. *Najgebauer, V.* (1949): Kritični nivo podzemne vode u Vojvodini i opasnost od sekundarnog zaslanjivanja, Radovi Polj. nauč. istr. inst., Beograd.
25. *Najgebauer, V.* (1954): Prilog poznavanju geneze slatina u Vojvodini, Zbornik Mat. srp., No 5, Novi Sad.
26. *Najgebauer, V., Čirić, M., Filipovski, G., Škorić, A., Živković, M.* (1963): Klasifikacija zemljišta Jugoslavije, II kongres JDPZ, Ohrid.
27. *Najgebauer V., Živković, B., Tanasijević, Đ., Miljković, N.* (1973): Klasifikacija zemljišta Vojvodine, Zemljište i biljka, Vol. 22, No 1, Beograd.
28. *Plamenac, N.* (1964): Slatine ulcinjskog polja i mogućnosti melioracija, Dokt. dis., Beograd.
29. *Plamenac, N.* (1971): Bilans vode i soli i u aktivnom sloju jako zaslanjenog zemljišta u Ulcinjskom polju, Zemljište i biljka, Vol. 20, No 1—3, Beograd.
30. *Racz, Z., Bogunović, M., Perković, J., Prša, M., Strunjak, R., Redžepović, S.* (1978): Projekat agrotehničkih melioracija za pojedine objekte na području D. Miholjac, Instituta za agroekologiju, FPZ, Zagreb.
31. *Racz, Z., Bogunović, M., Perković, J.* (1980): Prilog poznavanju slatina u Slavoniji i problematika njihovih melioracija, VI kongres JDPZ, knjiga III, Novi Sad.
32. *Radanović, R.* (1972): Prilog poznavanju izvesnih svojstava solonca Banatskog Potisja, Arhiv za poljoprivredne nauke, Sv. 92, Beograd.
33. *Sandor, F.* (1912): Slanjače u Hrvatskoj i Sloveniji, Vijesti geološkog povjerenstva za kraljevine Hrvatsku i Sloveniju za 1911. godinu, Zagreb.
34. *Škorić, A., Kalinić, M., Pavlić, V., Bogunović, M., Šalinović, I., Čaleta, Z.* (1972): Tla sekcije Vukovar, Institut za pedologiju i tehnologiju tla Poljoprivrednog fakulteta, Zagreb.
35. *Škorić, A.* (1973): Pedološki praktikum, Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
36. *Škorić, A. i suradnici* (1977): Tla Slavonije i Baranje, Posebna izdanja, knjiga 1, Zagreb.

37. *Tomaš, I., Tomić, F.* (1977): Rješavanje problema vodnog i solnog režima pri intenzivnom uzgoju kultura u staklenicima, *Vodoprivreda*, br. 45—46, Beograd.
38. *Tomaš, I., Kasum, D.* (1979): Utjecaj kvaliteta supstrata na prinos povrćarsko-cvjećarskih kultura u stakleniku, *Savjetovanje — Uređenje površina s gledišta hidro i agromelioracija*, Knjiga II, Zadar.
39. *Tomić, F., Stričević, I., Dolanjski, D.* (1985): Melioriranje alkaliziranih tala na objektu Gušta I, *Studija*, Institut za agroekologiju, Zagreb.
40. *Volobaev, V. R.* (1948): *Leaching of Saline soils*, Arneshp., Baku.
41. *Vukušić, S., Dolanjski, D., Rus, B.* (1978): Glavni projekt hidrotehničkog rješenja detaljne odvodnje za OOUR Žankovac, Institut za pedologiju i poljoprivredne melioracije, Zagreb.
42. *Živković, B.* (1954): Gipsovanje sodnih slatina u Vojvodini, *Arhiv za poljoprivredne nauke*, Sv. 16, Beograd.
43. *Živković, B.* (1965): Problemi zaslanjivanja i uporedne karakteristike zemljišta u zaslanjivanju i solončaka u Vojvodini, *Savremena poljoprivreda* br. 5, Posebno izdanje, Novi Sad.
44. * * * (1954): *Diagnosis and improvement of Saline and Alkaly Soils*, USDA, Handbook 60.

PRIKAZ OSNOVNE I DETALJNE ODVODNJE U HIDROMELIORACIONOM SISTEMU ČRNEC-POLJE

MIRKO ČOVIĆ, dipl. ing.

1. OPĆENITO

Od značajnih hidromelioracionih sistema koji se posljednjih godina provode u SR Hrvatskoj je Črnek-polje. Nalazi se u Gornjem Posavlju i lijevom zaobalju rijeke Save i u neposrednoj blizini gradova Zagreba i Siska. Ukupno je brutto površina 61.233 ha, od kojeg iznosa je oko 46.000 ha melioracioni, tj. obradivi dio. Na području Črnek-polja značajna je i zastupljenost društvenog sektora u iznosu od 14.500 ha, koji je nosilac progressa u poljoprivrednoj proizvodnji na ovom području.

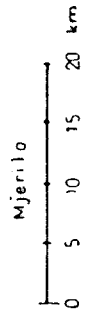
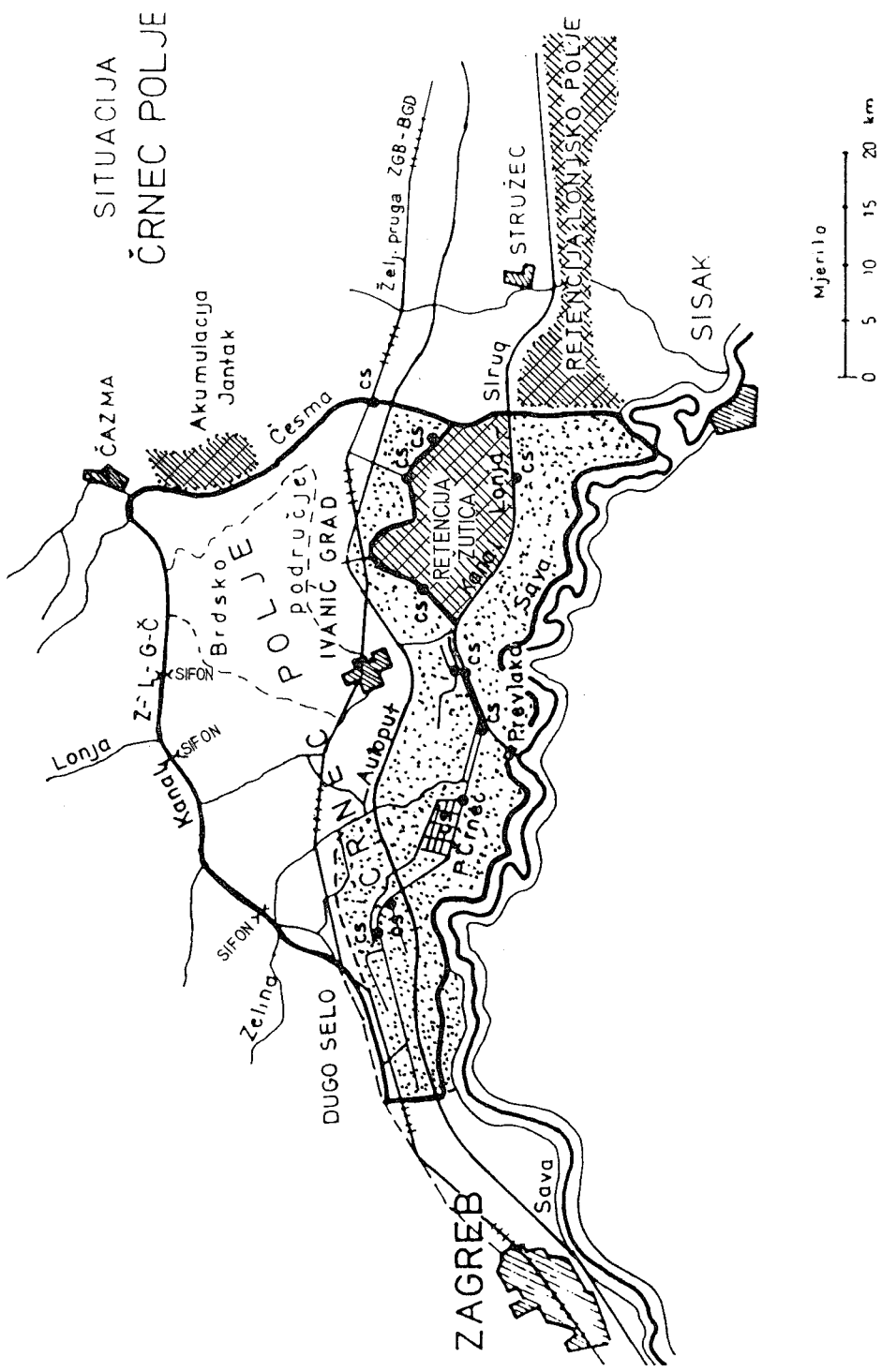
Prostor obuhvaćen projektom odvodnje Črnek-polje prostire se u dužini od 28 km i u širini 32 km i pripada u administrativnom pogledu općinama: Sesvete, Dugo Selo, Ivanić-Grad, Čazma i Sisak. Zahvaća potpuno ili djelomično 49 katastarskih općina, sa 110 naselja u kojima živi cca 42.440 stanovnika. Uz tehničke melioracije na čitavom području je provedena i komasacija zemljišta.

Provedba tehničkih melioracija predstavlja drugu fazu realizacije projekta »Obrana od poplave Srednjeg Posavlja« koju je ovaj sistem omogućio na području Črnek-polja i koji stvara, ovisno o stupnju njegove izgrađenosti, provedbu sličnih radova na uređenju zemljišta i na ostalim područjima, kao što je Lonjsko polje, Odransko polje, Sunjsko polje itd. Ovim se postepeno eliminira prirodna stihija na velikim prostranstvima Srednjeg Posavlja i privode se velike površine intenzivnoj poljoprivrednoj proizvodnji. Konačni cilj ovih radova je poboljšanje opskrbe poljoprivrednim proizvodima i industrijskim biljem velikih potrošačkih centara, Zagreba i Siska, a umnogome pridonosi na poboljšanju zaposlenosti šire regije.

Projekt Črnek-polje financiran je udruženim sredstvima Svjetske banke, Zagrebačke banke te vlastitim učešćem. Organizator i nosilac čitava projekta bila je Vodoprivredna radna organizacija za sliv rijeke Save — Zagreb sa svojim kooperantima. Projekt je potpuno dovršen u predviđenom roku (1981—1985) i predan u eksploataciju.

2. ZAŠTITA PODRUČJA OD VANJSKIH VODA

Osnovni uvjet za provođenje tehničkih melioracija na nisko-bazenskom području Črnek-polja bila je zaštita područja od vanjskih voda. Ona se dijeli na dva potpuno različita dijela, i to na zaštitu od visokih voda rijeke Save i na zaštitu od brdskih voda. Pretežni dio zaštite od savskih voda bio je već



Slika 1.

izveden u okviru projekta »Obrana od poplave Srednjeg Posavlja«, i na njoj su bile potrebne manje dopune, kao npr. rekonstrukcija pojedinih dijelova lijevog savskog nasipa od Palanjka do Rugvice i djelomična izgradnja sjevernog nasipa retencije Žutica. Najznačajniji radovi bili su na zaštiti područja od brdskih voda koje dolaze sa šireg uzvodnijeg područja ogranaka Zagrebačke gore. Potrebno je bilo na višem terenu prihvatiti vode rijeke Zeline, Lonje, Česme i Glogovnice, te ih granicom Črnec-polja odvesti preko akumulacije Jantak u nizinsku retenciju Lonjsko polje. Kanal koji prihvaća naprijed spomenute vode je »Spojni kanal Zelina—Lonja—Glogovnica—Česma«, ukupne dužine od cca 51 km i svojim pretežnim dijelom nalazi se u obostranim nasipima. Ovaj značajni objekt u okviru sistema »Obrana od poplave Srednjeg Posavlja« nije bio u potpunosti dovršen, a bio je od prioritarnog značenja za izvođenje radova na tehničkim melioracijama u Črnec-polju. Kanal je na više lokaliteta prolazio i kroz urbane prostore i presijecao glavne prometnice (ceste i željezničku prugu) pa je bilo potrebno na njemu izgraditi i više krupnijih objekata i sifona za odvodnju manjih uzvodnih površina.

3. ANALIZA VANJSKOG I UNUTARNJEG VODNOG REŽIMA

Režim vanjskih i unutarnjih voda Črnec-polja je izrazito složen. Ta složenost proizlazi iz činjenice što se koncepcija projekta »Obrana od poplave Srednjeg Posavlja« temelji na rješenju da višak savskih voda moraju preuzeti retencije i odušni kanali. To znači da se kroz Črnec-polje moraju povremeno distribuirati visoke vode rijeke Save. U lijevom zaobalju rijeke Save su retencije: Žutica, Lonjsko polje i Odušni kanal Lonja—Strug. Ovim posljednjim preko upusne ustave Prevlaka (kapaciteta 480 m³/sek) propuštaju se visoke vode rijeke Save u retencione prostore. U drugoj funkciji kanal je ujedno i glavni odvodni recipijent unutarnje odvodnje. Objekt je izveden sa obostranim nasipima do retencionih prostora, što ukazuje da visoki vodostaji u njemu nadvisuju prirodni teren i za nekoliko metara. Takvo stanje znatno remeti i otežava rješenje odvodnje na području Črnec-polja. Analiziranjem pojedinih vodostaja konstatirano je da su najviši vodostaji u rijeci Savi, nešto niži u kanalu Lonja—Strug, a najniži u retencionim prostorima. Ovi vodostaji su pokazali da za područje Črnec-polja ne postoji mogućnost permanentne gravitacione odvodnje, i to posebno za nisko-bazensko područje a koje je i u prošlosti bilo često plavljeno. Druga važna konstatacija je da svu odvodnju kod visokih vodostaja rijeke Save treba usmjeriti prema retencionim prostorima Žutica i Lonjsko polje. Najpovoljniji vodostaji omogućuju redukciju mehaničke odvodnje na najmanju moguću mjeru, što je s ekonomskog stanovišta od posebne važnosti, jer se smanjuje kapacitet crpnih stanica, čija je izgradnja i eksploatacija vrlo skupa (slika 1).

4. PODLOGE, ISTRAŽNI RADOVI I STUDIJE

Projekt osnovne i detaljne odvodnje temeljen je na prethodno izrađenim podlogama, istražnim radovima i studijama. Za Črnec-polje izrađeni su idejni projekti odvodnje, ekonomske analize rentabilnosti investicije, posebno sa stanovišta odvodnje teških tala. U tu svrhu, prije 14 godina, uz tehničku pomoć FAO-a, izrađeno je eksperimentalno polje — »Pilot farma Ježevo« — unutar Črnec-polja, na kojoj su uglavnom bila zastupljena sva tla. Na ovom

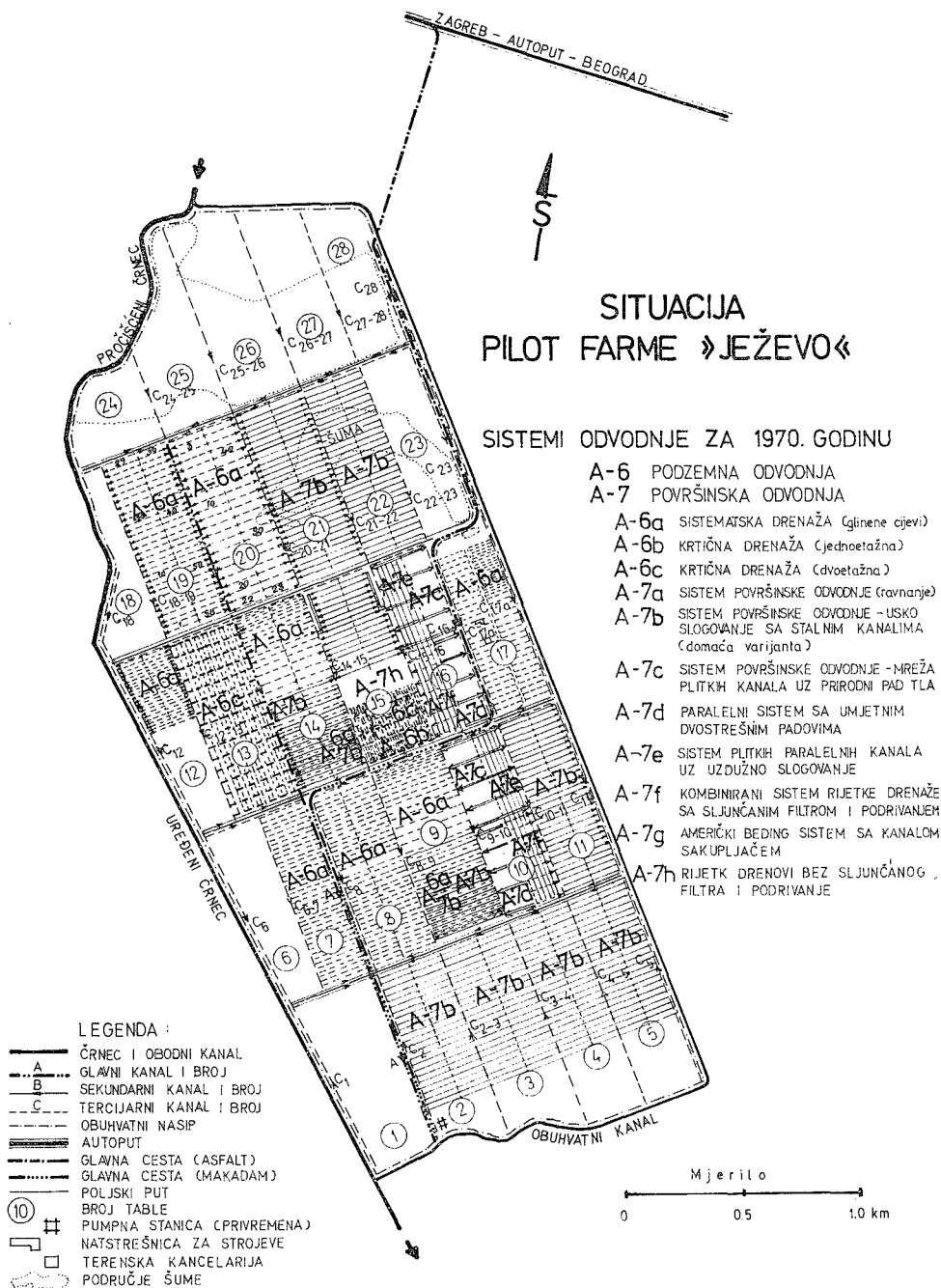
polju instalirano je više sistema regulacione odvodnje, od drenaže s različitim razmacima drenova i različitih dubina, drenaža s kontaktnim i hidrauličkim filtrima u kombinaciji s dodatnim mjerama odvodnje (podrivanje, krtičenje), kao i površinska odvodnja s pomoću naoravanja u slogove u raznim varijantama i drugi paralelni sistemi odvodnje, te kombinacije potpovršinske i površinske odvodnje. Osim spomenutoga, obrađene su i druge hidrološko-hidrauličke veličine, kao oborine, evaporacija, infiltracija, evapotranspiracija, izračunati su vodne bilance, specifični dotoci u nizinskim slivovima i u potpuno izgrađenim sistemima odvodnje, te potrebni kapaciteti crpnih stanica. Izvršena su pedološko-hidrološka ispitivanja sastava tla i utvrđivani uzroci prekomjernog vlaženja tla, fizikalna i kemijska svojstva tala, visine i porijeklo podzemnih voda, te utjecaji visokih voda rijeke Save na zaobalje. Ispitivane su optimalne veličine parcela, odnosno tabli u odnosu na veličinu prosječnog posjeda i na primjenu krupne poljoprivredne mehanizacije i njena tehnološkog procesa. Na izgrađenim sistemima mjerena su istjecanja, pojedinačna i ukupna, radi ocjene pojedinih sistema, te konačno i prinosi pojedinih sistema i njihova ekonomika. Kroz višegodišnje istražne radove i eksploataciju utvrđeno je da se i na klima teškog mehaničkog sastava može, uz otežane uvjete rada, ekonomično proizvoditi. To je dalo podsteka da se pristupi realizaciji projekta Črnc-polje.

U tu svrhu izrađene su za veći dio područja Črnc-polja osnovne državne karte u mjerilu 1 : 5000, s visinskom predodžbom terena na 0,50 m, ortofotokarte istog mjerila i za društvene programirane posjede topografske karte u mjerilu 1 : 2000, s visinskom predodžbom terena na 0,25 m. Na temelju postojećih dubokih sondi ili bunara i dopunskih dubokih geoloških profila, utvrđen je sastav i građa tla, visine i porijeklo podzemnih voda odgovarajuće vjerojatnosti pojava, te metodom kroskorelacije veza između visokih voda rijeke Save, područja s visokim podzemnim vodama, te utvrđen utjecaj savskih voda na formiranje horizonata podzemne vode.

Za programirane društvene površine izrađene su detaljne pedološko-hidrološke studije, utvrđena geneza prekomjernog vlaženja, te dati prijedlozi sistema regulacione odvodnje na temelju pokusnih polja i provedenih istražnih radova.

5. KONCEPCIJSKO RJEŠENJE OSNOVNE ODVODNJE TE DEFINIRANJE PODSLIVOVA I KAZETA

Glavni odvodni recipijenti unutarnje odvodnje su potoci Črnc, Zelina i Lonja. Najvažniji od njih je potok Črnc, po kojem je čitav hidromelioracioni sistem i dobio ime. Rijeke Zelina i Lonja izgubile su svoj prvobitni značaj redukcijom gornjih tokova izvedbom spojnog kanala. U svom prirodnom stanju potok Črnc prolazi po najnižem terenu sredinom gornjeg i srednjeg dijela područja i utječe u Odušno-sabirni kanal Lonja—Strug. U okviru izgradnje Pilot farme Ježevo i izgradnje autoceste Zagreb—Beograd, provedeni su na njemu dosta značajni regulacioni radovi, koji su i u rješenju odvodnje u Črnc-polju prihvaćeni. Ovaj vodotok ostao je i dalje glavni odvodni recipijent sistema. Kanal se odlikuje svojom velikom dužinom (cca 30 km), izrazito malim uzdužnim padom (0,20 ‰), jakim meandriranjem i velikom zaraštenosti korita. Na svom ušću u Odušni kanal Lonja—Strug, još u okviru izgradnje sistema obrane od poplave od savskih voda, izgrađena je



Slika 2.

u nasipu ustava »Črnec« koja se zatvara za vrijeme otjecanja visokih voda rijeke Save kanalom Lonja—Strug, a vlastite vode koje su dotjecale potokom Črnec, rijekom Zelinom izljevale su se iz prirodnog korita i plavile nisko ležeće područje. U branjenom sistemu Črnec-polja to je bilo nedopustivo, pa je potok Črnec, s manjim profilom korita, produžen do rijeke Lonje, odnosno upušten u retenciju Žutica, koja ima znatno povoljniji vodostaj od kanala Lonja—Strug i taj dio kanala nazvan je Derivacioni kanal. Olakšavajuća okolnost kod toga je što je isključena svaka mogućnost koincidencije visokih voda rijeke Save i visokih voda potoka Črnec. Utvrđeni koeficijent korelacije je 0,33. Najviša kota punjenja retencije Žutica je 98,50 mnJn, dok je najniži teren iznosio 95,80 mnJm, što ukazuje da je bilo neophodno čitav potok Črnec zaštititi jednostranim odnosno obostranim nasipima sve do izravnjanja vodnog lica u razini terena u dužini od 20,0 km.

Prosječna visina nasipa s nadvišenjem od 1,00 m iznad velike vode iznosi 2,50 m. Ovim je riješena obrana i poplava u zaobalju od vlastitih i visokih voda rijeke Save. Rijeka Zelina utječe u potok Črnec na nizvodnom dijelu toka, a ima također obostrane nasipe do visine uspornih voda u dužini od cca 10,0 km.

Na sjeveroistočnom dijelu kazete najznačajniji glavni odvodni recipijent je rijeka Lonja, koja direktno utječe u korito Odušnog kanala Lonja—Strug, odnosno u retenciju Žutica. Maksimalni vodni nivo u retenciju Žutica također je zahtijevao usporne nasipe ali znatno kraće dužine, jer je uzdužni pad terena veći. U svrhu eliminacije mehaničke odvodnje na razumnu mjeru, projektiran je i izveden veći broj lateralnih kanala od kojih su najvažniji Deanovac, Križ, Caginec, Širinec, Križci, Liplenica, Kopčevac, te istočni i zapadni lateralni kanali Zeline. Neki od njih prolazili su kroz nizinsko područje s obostranim nasipima do retencionog prostora žutice, kao na primjer Deanovec i Križ. Veći broj ovih kanala je projektiran i izveden u okviru zaštite i obrane od brdskih voda autoceste Zagreb—Beograd na ovom području.

Rješenjem osnovnih odvodnih sistema, hidromelioracioni sistem je zbog topografskih obilježja podijeljen na veći broj podsistema i kazeta, a ukupno ih ima 14, što je vidljivo iz pregledne situacije na slici 3. Ovakvim rješenjem smanjena je mehanička odvodnja na najmanju površinu, odvodni sistemi su manji, odvodnja funkcionalnija, kanalska mreža je plića i s manje zemljoradnji, a iskopi ne ulaze u geomehanički nepovoljne slojeve. Ovakvo rješenje ima i negativnu stranu a to je: potreban je veći broj crpnih stanica i zahtijeva znatno veće objekte na prijelazima preko glavnih odvodnih kanala koji su izvedeni u nasipima. Analizom ukupnih troškova došlo se do spoznaje da je znatno jeftinija gradnja više manjih crpnih stanica umjesto jedne crpne stanice istog kapaciteta.

6. DISPOZICIJA KANALSKE I PUTNE MREŽE PO KAZETAMA I NAČELA ZA NJIHOVO POSTAVLJANJE

Realizacijom projekta glavnih odvodnih kanala u Črnec-polju stvoreni su uvjeti za rješavanje kompleksne bonifikacije svake kazete. Dinamika ovog rješavanja odabrana je tako da se izvode najprije one kazete koje ne ovise od izgradnje crpnih stanica, iako se nije uvijek ovakav redoslijed u potpunosti poštovao. Bilo je potrebno i više vremena za izradu crpnih stanica.

cima. Ovakvi kanali nisu suviše duboki, ne ulaze u geomehanički nepovoljne slojeve i lakše se održava tražena norma odvodnje i kod slabijeg održavanja kanala, posebno kada je u pitanju podzemna drenaža na najnižim površinama. U slučaju mehaničke odvodnje, geodetske visine dizanja vode su najmanje i time se postiže ušteda u energiji. U slučaju pune koncentriranosti, optimalnija je veličina kazete krug površine cca 11.300 ha, odnosno 5.650 ha, ako ima oblik polukruga. Glavni odvodni kanali imaju svoje trase obično po najnižem terenu a poželjno je da imaju pravolinijski oblik.

Postavljanje osnovne kanalske i putne mreže s razgraničavanjem površina su dva problema međusobno povezana. Od načina rješenja zavisi racionalna organizacija teritorija, koja se pozitivno odražava na poljoprivrednu proizvodnju, naročito na suvremenu mehanizaciju i njezin tehnološki proces. Topograska razvijenost i reljefne razlike terena imaju vidnu ulogu u rješavanju ovog problema. Nizinska melioraciona područja redovito imaju veći broj mikro i makrodepresija i uzvisina. One su nepravilnog oblika i različite duljine. U svim starim rješenjima kanalska mreža pratila je depresije, a makrouzvisine su služile kao prometnice.

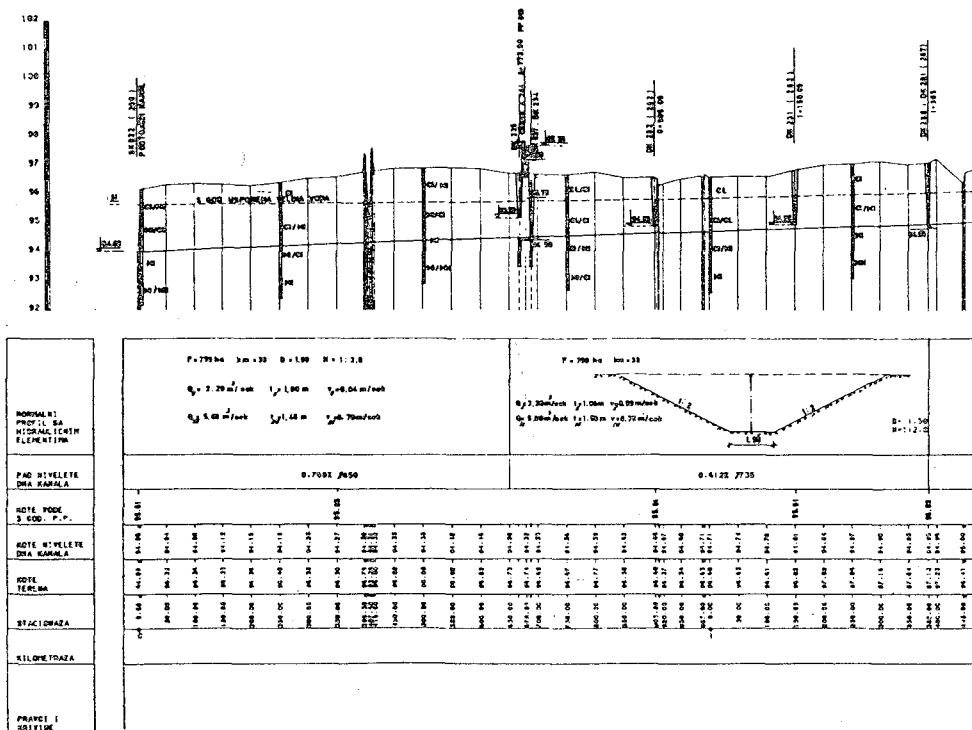
U primjeni suvremene poljoprivredne mehanizacije, reljefne razlike na dispoziciju kanalske i putne mreže ne smiju kočiti intenzifikaciju i mehanizaciju poljoprivredne proizvodnje na melioracionim područjima. Stoga danas na nizinskim melioracionim područjima prevladava načelo paralelnog postavljanja sabirnih kanala i paralelno postavljanje detaljnih kanala. Sabirni kanali redovno idu u pravcu generalnog pada terena na individualnom sektoru vlasništva, a obrnuto na društvenom. Detaljni ili tzv. »suhi kanali« na društvenim površinama imaju smjer generalnog pada terena radi obrade po dužoj strani table, a na individualnom posjedu obrnuto. Upravo s tog razloga, od bitnog je značenja poznavanje točnih granica individualnog i društvenog posjeda. Razmaci kanala i dužine parcele ovise o prosječnoj veličini posjeda, o upotrebi mehanizacije i o sistemu regulacione odvodnje. Što se, pak, tiče putne mreže, uobičajena je praksa da se poljski putovi II reda postavljaju uz sabirne kanale, a poljski putovi III reda uz detaljne, tzv. parcelne kanale. Ovaj način postavljanja putne i kanalske mreže veoma je prikladan i funkcionalan, jer omogućuje lagan pristup na svaku parcelu, bez obzira na to da li se obrađuje po duljini ili širini, a osim toga, zahtijeva minimum objekata na kanalima. Od postavljanja osnovne kanalske i putne mreže zavisi i formiranje parcele kao proizvodne jedinice. Njezin optimalni oblik je pravokutnik. Već na Pilot farmi Ježevo je utvrđeno da se optimalna dužina parcele najčešće kreće od 800—1000 m na društvenom posjedu i 250—300 m na individualnom posjedu i uvijek u smjeru generalnog pada terena, koristeći pravilo »svaka brazda dren«. Sva dosadašnja saznanja govore da se širina parcele kreće između 250—350 metara, s naglaskom optimalizacije kod 300 m. Respektirajući gornje dimenzije, dolazi se do prosječne površine pojedine parcele na ravnim terenima i tlima teškog mehaničkog sastava od 24—30 hektara.

7. PRIMJENA SUVREMENIH METODA RADA U PROJEKTIRANJU VELIKIH HIDROTEHNIČKIH SISTEMA

U velikim i složenim sistemima s razgranatom kanalskom i putnom mrežom, do izražaja dolazi primjena suvremenih metoda rada. Ovim se u

velikoj mjeri želi smanjiti vrijeme za izradu tehničke dokumentacije, kako na terenu, tako i u uredu, smanjiti troškove projektiranja svođenjem manualnog rada na minimum, te postići jednoobraznost projektne dokumentacije. Ova metoda rada maksimalno je korištena u projektiranju osnovne kanalske i putne mreže u Črnc-polju.

Projektirana kanalska mreža s karte 1 : 5000 prenosi se i provjerava na terenu i iskolčavaju se i stabiliziraju samo krajnje točke svakog kanala i puta, s eventualnim lomovima. Za iskolčene točke klasičnim metodama određuju se koordinate i visine. S pomoću orijentacionih točaka fotogrametrijskih modela na autografu se orijentiraju i očitavaju modelske koordinate uzdužnih i poprečnih profila kanala i putova i registriraju na magnetskim trakama. Dešifražom i transformacijom modelskih koordinata u Gauss-Krügerove i apsolutne visine, te njihovim izjednačenjem na prethodno utvrđene na terenu, dobiju se elementi za prikazivanje terena uzdužnih i poprečnih profila kanala i putova. Unošenjem navedenih podataka preko računara i plotera, dobiju se svi potrebni elementi kanala za izvedbu. Slična metoda rada korištena je i u upotrebi karata mjerila 1 : 2000 za projektiranje drenaže, kao i za projektiranje drenaže, kao i za projektiranje drenaže. Dobivene razlike nakon snimanja za potrebe izvođenja ukazuju na zanemarivo mala odstupanja.



Slika 4.

8. KRITERIJI I NORMATIVI ODVODNJE

Postizavanje optimalnog režima vodo-zračnih odnosa u tlu predstavlja najslabiji problem odvodnje. Prema dosadašnjim saznanjima, reguliranje tih odnosa svodi se na rješavanje njegovih triju osnovnih komponenata, a to su:

- norma odvodnje,
- hidromodul odvodnje,
- potrebno vrijeme odvodnje.

Norma odvodnje. Rješavanjem ove komponente određuje se moćnost gornjeg sloja, u kojem odvodnjom treba regulirati režim vodno-zračnih odnosa. U široj praksi, ovo se svodi na fiksiranje nivoa podzemne vode, bez obzira na njihovu genezu, do dubine do koje biljke razvijaju glavninu svog korijenova sistema. Optimalna norma odvodnje još uvijek ostaje predmet istraživanja. Na teškim tlima u svijetu, a i kod nas, općenito se smatra da se ona kreće minimum 0,80 m za oranične površine i 0,40 m za livadske kulture. Da bi se ova funkcija efikasno obavila, kanali moraju imati dovoljnu dubinu, da za utvrđeni povratni period mogu provesti svu vodu. U njima treba ostvariti naznačene norme odvodnje. Kao mjerodavni kriterij, uz stanoviti rizik u poljoprivredi kao i ekonomsku opravdanost, uzeta je 5-godišnja velika voda. Drugi kriterij kod kanala usvojen je, da kanali sa svojim punim profilom moraju prihvatiti vode 25-godišnjeg povratnog perioda. Proračun vodnih nivoa 5 i 25-godišnje velike vode proveden je na računaru za sve glavne i sabirne kanale u posebnim listama, a vodni nivo 5-godišnje velike vode unesen je u posebnu rubriku i ucrtan u sve uzdužne profile.

Hidromodul odvodnje predstavlja količinu vode koju treba evakuirati s tzv. posljednjeg hektara svake proizvodne jedinice. On zavisi od čitava niza faktora, a najbitniji su: fizikalne osobine tla, potreba uzgajanih kultura na vodi, količina intenziteta oborina, nagibi i pad terena, oblik nizinskog sliva i visina podzemne vode.

Za utvrđivanje hidromodula odvodnje postoje mnoge empirijske formule. Na području Pilot farme Ježevo vršena su mjerenja i u razdoblju višegodišnjih opažanja uspjelo se zabilježiti maksimum padavina od cca 180 mm u tri dana različitog intenziteta, s maksimalnim otjecanjima od 2,0—7,0 lit/sek, odnosno s prosjekom otjecanja od 2,2 lit/sek/ha, što je vidljivo na slici 5.

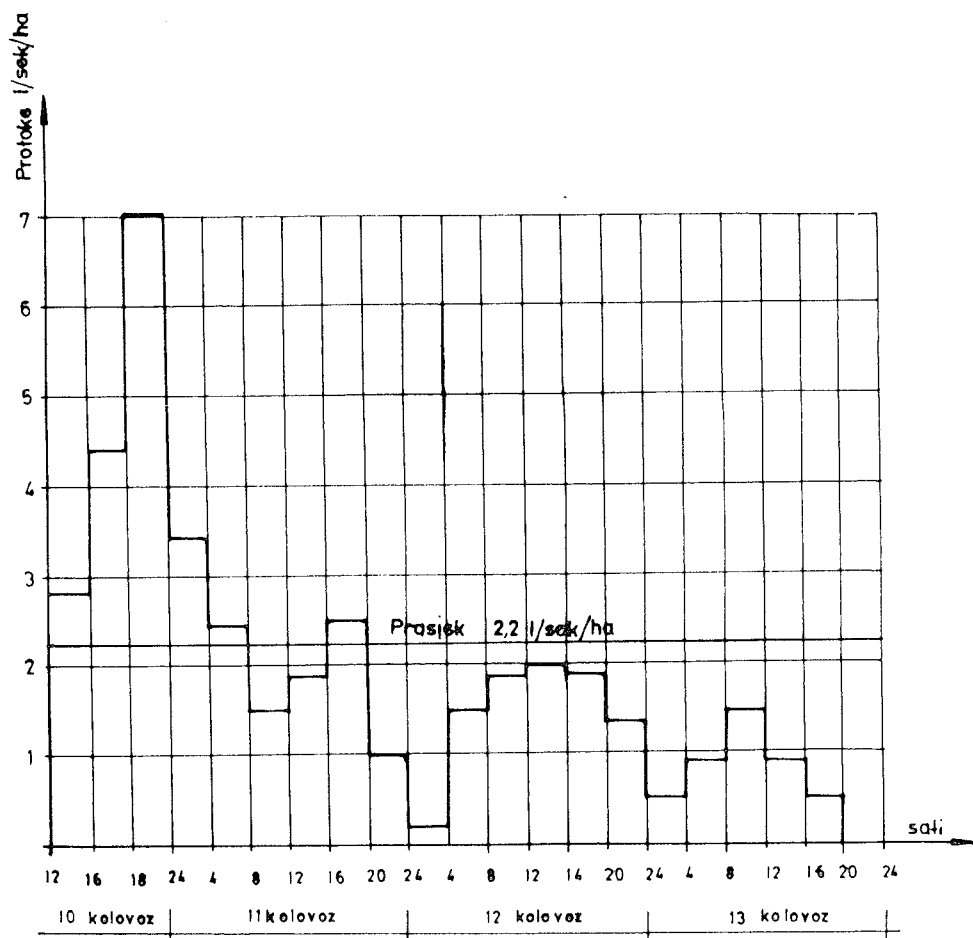
Za područje Črnec-polja korištene su empirijske formule prof. dra Srebrenovića, koje za praktičnu upotrebu imaju oblik:

$$q_5 = \frac{2,78}{\tau} \left\{ 28,37 \cdot H \left[\left(\frac{V}{28,37 \cdot H} \right)^{3,165} + \tau \right]^{0,316} - V \right\} \text{ lit/sek/ha}$$

$$q_{25} = \frac{2,78}{\tau} \left\{ 52,42 \cdot H \left[\left(\frac{V}{52,42 \cdot H} \right)^{4,156} + \tau \right]^{0,240} - V \right\} \text{ lit/sek/ha}$$

gdje su:

$$\tau_1 = \frac{3}{4} \tau_b; \quad \tau_2 = 2,6 \left(\frac{F}{J} \right)^{1/3}; \quad \tau = \tau_1 + \tau_2$$



Stika 5.

konačno je: $Q = 0,1 \cdot F \cdot q \text{ m}^3/\text{sek}$.

U gornjim formulama su:

q — hidromodul odvodnje

H — srednja godišnja oborina u m

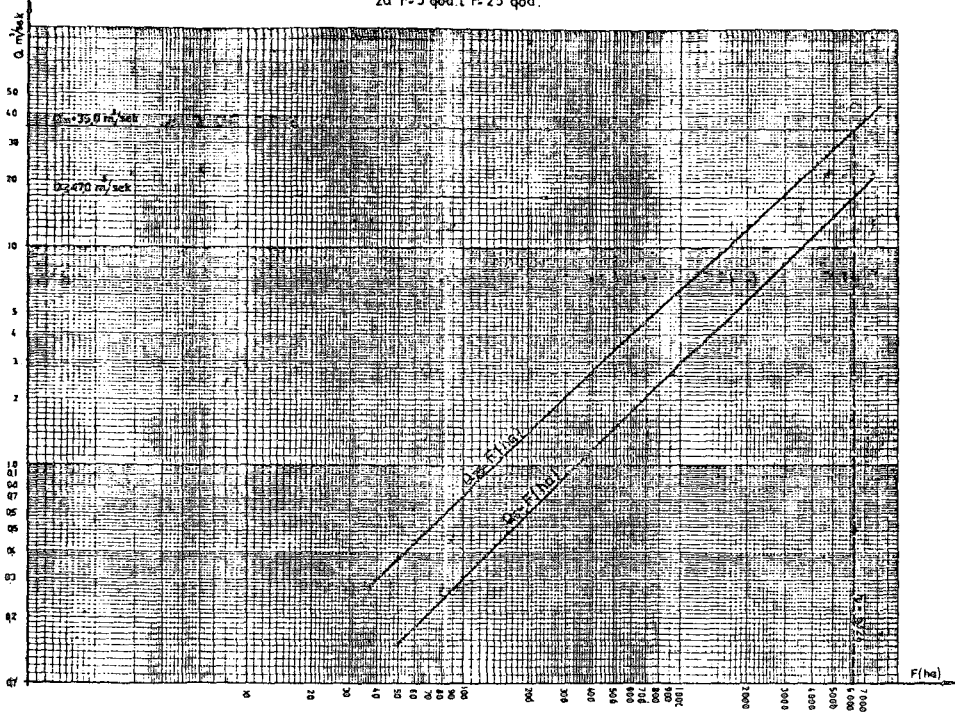
τ — ukupno vrijeme koncentracije

V — retencionna sposobnost tla za vodu.

Za primjenu je najprikladnija upotreba nomograma, kao što je priložen npr. za kazetu 10 u Črnc-polju (sl. 6).

Potrebno vrijeme odvodnje se smatra racionalnim vremenom za evakuaciju utvrđenog viška vode. Obično se to smatra da iznosi 12 sati za oranične

MAKSIMALNE VODNE KOLIČINE ZA KAZETU 10
za P-5 god. i P.25 god.



Slika 6.

kulture. Ako se povećava trajanje evakuacije, razmjerno tome smanjuje se i visina prinosa. Neka istraživanja kod nas i na Pilot farmi Ježevo navode da se to vrijeme teško ostvaruje i nešto je duže na tlima teškog mehaničkog sastava.

9. HIDRAULIČKO DIMENZIONIRANJE KANALA

U velikim odvodnim sistemima s razgranatom kanalskom mrežom, naj-prikladniji je način dimenzioniranja kanala tabelarno po dionicama s istovremenim polaganjem niveleta. Karakteristične promjene protoka obično se uzimaju na ušćima kanala, gdje se znatno mijenjaju doticajne površine uz nastojanje da i padovi niveleta imaju promjene na istim lokalitetima. Varijacijom dubine kanala i širine dna, potrebno je težiti za postizavanjem ekonomičnog profila kanala s minimalnim uspornim i depressionim djelovanjem vodnog nivoa. Pokosi kanala redovito su unaprijed određeni i oni ovise o geomehaničkom sastavu materijala. Da bi se znao geomehanički sastav i izabrao adekvatni nagib pokosa, provedeno je geomehaničko sondiranje kanala do ispod dubine kanala i na razmacima od maksimum 250 m, uz vizualnu AC klasifikaciju. Izbor sonde najbolje je odabrati neposredno uz iskolčenu trasu, a tada su sonde i slojevi visinski definirani. Analogno tabelarnom dimenzioniranju kanala provodi se također po dionicama proračun brzina i

pokretnih snaga vode za maksimalne usvojene protoke. One se uspoređuju s dopuštenima prema odgovarajućim materijalima. Adekvatno preporučeni-
ma, odabiru se tipovi obloge po čitavoj dužini kanala ili po dionicama.

Za konačnu obradu uzdužnih i poprečnih profila kanala na računalu i ploteru koriste se podaci iz tabele. Najprikladnije je za proračune u tabe-
lama koristiti postojeće nomograme jer daju osim dubina i srednje brzine
te omogućuju izbor različitih koeficijenata hrapavosti. Nomogrami su izra-
đeni na temelju poznate Manningove formule:

$$Q = A \cdot K_M \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \quad (\text{m}^3/\text{sek})$$

Dijagram kritične pokretne snage vode za nevezane materijale računa se
po formuli:

$$\tau_c = \frac{2}{3} f \cdot p (\rho_z - \rho_v) \cdot g \cdot d; \quad 2/3 f \cdot p \text{ prema Laneu} = 0,60$$

$$\tau_c = 0,06 (\rho_z - \rho_v) \cdot g \cdot d \text{ N/m}^3$$

gdje su:

d — srednji promjer zrna

f — koeficijent otpora.

Stvarna pokretna snaga $\tau = \gamma \cdot R \cdot J$ [N/m²], odnosno $J_{\max} = \frac{\tau_c}{\gamma \cdot R}$ u ‰.

Za koherentne materijale mogu se koristiti tabele (US Bureau of Recla-
mation) ili grafikoni USSR-a.

Proračun vodnog lica u kanalima na računalu i ploteru baziran je na
primjeni Bernulijeve jednadžbe bilance specifične energije toka:

$$H_i = H_{(i-1)} + \Delta 1 (J_{i-1}^T + J_i^T) \cdot 0,50 + (1 + \delta) (H_{i-1}^V + H_i^V)$$

gdje su:

H — kota vodnog lica

$\Delta 1$ — razmak susjednih profila

i — indeks profila

T — pad u trenju u profilu $\frac{Q^2}{K^2}$, gdje su: Q^2 — protoka
 $\varepsilon V_e^3 \cdot F$ K — modul protoke

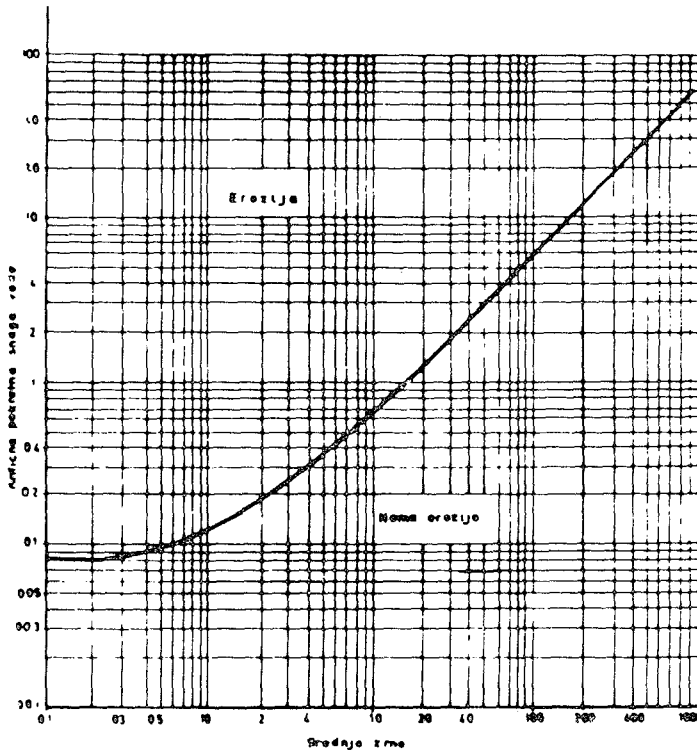
H — visinska brzina = $\frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot Q}$

V_e — brzina toka n-tog dijela živog presjeka.

Diferencijalna jednadžba toka u konačnom obliku glasi:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\frac{n^2 \cdot Q^2 \cdot p^{4/3}}{A}}{\frac{1 - \alpha \cdot Q^2 \cdot T}{S \cdot A^3}}$$

Kritična pokretna snaga vode (nevezani materijali)



Slika 7.

gdje je:

- Q — protoka u m³/sek
- A — površina poticajnog profila
- p — omočeni opseg
- T — širina vodnog lica.

Jednadžba se rješava iterativnim postupkom.

U tabeli 1. dat je primjer za tabelarno dimenzioniranje kanala, a u tabeli 2. ispitivanje stabilnosti korita.

10. OBJEKTI NA KANALSKOJ I PUTNOJ MREŽI

Crpne stanice i gravitacioni ispusta su najznačajniji objekti u sistemu. Mehanička odvodnja provodi se s površine od 31.000 ha s ukupnim instaliranim kapacitetom crpljenja od 60 m³/sek, a ukupno ima 12 crpnih stanica. Svi objekti i mehanička oprema uglavnom su tipizirani u kombinaciji s odvojenim gravitacionim ispustima u istom bazenu, osim na dvije crpne stanice.

ISPITIVANJE STABILNOSTI KORITA GLAVNIH I SABIRNIH KANALA

Naziv kanala	Stacionaža	Kriterij dozvoljene brzine		Kriterij dopust. potret. anaga			S, dep. H/m ²	Oznake materijala
		V _{ag} m/sak.	V _{dop} (voda zamulj.) m/sek.	R	J %	S = R·J H/m ²		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
SK-02A	0+000-0+250	0,28	0,75	0,28	0,44	1,23	5,40	MI
	0+250-0+459	0,28	1,05	0,28	0,44	1,23	5,40	CI/MI
SK-02B	0+000-0+250	0,45	1,50	0,31	1,09	3,38	22,50	MB/CR
	0+250-0+500	0,45	1,50	0,31	1,09	3,38	22,50	MB/CR
	0+500-0+800	0,30	1,50	0,28	0,51	1,43	22,50	CR/MB
SK-03	0+800-0+943	0,30	1,05	0,28	0,51	1,43	7,30	ML/CI
	0+000-0+250	0,43	0,90	0,77	0,25	1,92	7,30	MI/ML
	0+250-0+400	0,43	0,90	0,77	0,25	1,92	7,30	MI/ML
	0+400-0+650	0,40	0,90	0,73	0,25	1,83	7,30	MB/CH
SK-04	0+650-0+900	0,40	0,75	0,73	0,25	1,83	3,70	CI/CL
	0+900-1+211	0,38	0,75	0,66	0,25	1,65	3,70	ML/CL
	0+000-0+250	0,55	0,75	0,36	1,08	3,89	7,30	CI
	0+250-0+500	0,55	0,75	0,36	1,08	3,89	3,70	CL/ML
	0+500-0+750	0,46	0,75	0,31	1,03	3,35	7,30	MI
	0+750-0+928	0,46	0,75	0,31	1,08	3,35	7,30	MI

Tabela 1.

TABELARNI PREGLED hidrološko - hidrauličkih elemenata za kanale UKAZENI-

NAZIV KANALA	BR. KANALA	STACIONAŽA 00 — 00	GRAVITRAJ. POVRŠINE (ha)	RAČUN PROTOKE		ZADANI ELEMENTI KANALA				ODREĐENI ELEMENTI KANALA			
				PP-5god 05 m/sek	PP-25god 025 m/sek	ŠIRINA b (m)	POKOS n	PAĐ NIVELE I ‰	KM	DUBINA t ₅ (m)	DUBINA t ₂₅ (m)	SRED. BRZINA V ₅ m/sek	SRED. BRZINA V ₂₅ m/sek
SK-2b		0+000-0+550	70	018	042	10	2	109	33	030	047	036	045
		0+550-0+943	36	010	025	10	2	051	33	028	042	022	030
SK-03		0+000-0+617	454	11	25	20	2	025	33	086	130	034	043
		0+617-1+214	393	10	22	20	2	025	33	083	123	033	040
SK-04		0+000-0+450	146	038	085	10	2	1078	33	048	065	040	055
		0+450-0+928	78	021	048	10	2	1078	33	031	050	035	046
SK-05		0+000-0+500	320	08	180	15	2	0571	33	065	098	043	054
		0+500-1+000	175	044	100	15	2	0571	33	048	072	035	045
		1+000-1+400	124	031	070	15	2	0571	33	040	062	033	040
		1+400-1+767,7	54	014	032	10	2	245	33	025	032	046	056

Tabela 2.

TABELARNI PRIKAZ
količina po vrstama kanala

Broj ka- zete	Brutto površ. kazete	Glavni i sabirni kanali (GOK + SK)		Detaljni kanali		Ukupno kanali		Prosječni iskop po ha
1	2.700	31.590	124.284	67.230	529.548	98.820	653.832	242
2	1.130	9.610	334.261	28.233	163.314	37.845	497.575	440
3	1.554	24.040	630.819	40.509	291.155	64.549	921.974	593
4	2.075	6.135	161.323	50.572	45.878	56.707	207.203	100
5	960	22.877	255.796	27.111	118.430	49.988	374.226	390
6	950	8.987	40.574	12.997	36.574	21.984	77.148	81
7	4.060	85.409	807.164	161.900	986.062	247.309	1.793.226	442
8	4.616	58.396	622.609	63.083	341.586	121.479	964.197	209
9	5.305	85.409	813.943	143.900	986.062	231.309	1.800.005	339
10	5.400	68.609	601.475	208.800	1.046.352	277.409	1.647.827	305
11	6.200	54.534	390.619	175.670	839.040	230.204	1.229.659	198
12	5.728	91.081	611.790	135.956	629.779	227.037	1.241.569	216
13	3.234	25.534	151.130	56.213	251.331	81.747	402.461	124
14	3.220	9.900	434.186	53.928	163.087	63.828	597.273	185
	47.132	582.111	5.979.975	228.204	6.428.200	1.810.215	12.408.175	
PROSJEK		12.35 m/ha	126.9 m ³ /ha	26.06 m/ha	136.4 m ³ /ha	38.4 m/ha	263.3 m ³ /ha	253.3 m ³ /ha

Tabela 3.

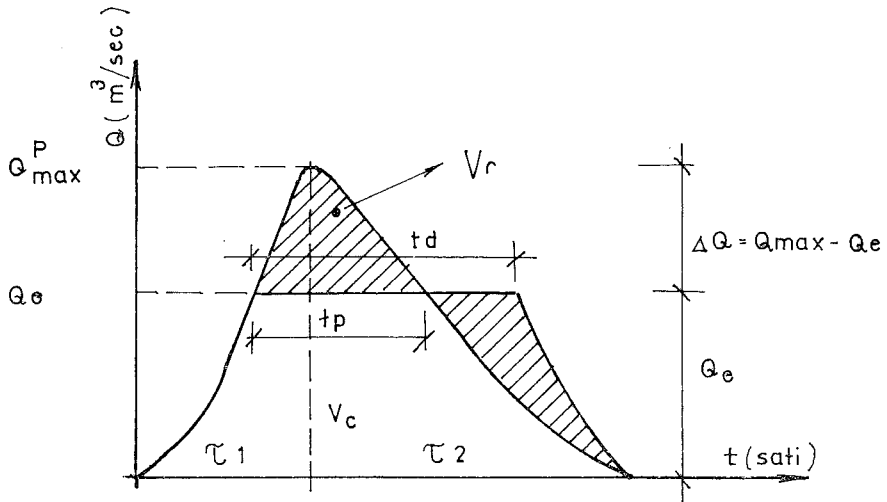
Određivanje kapaciteta svake crpne stanice provedeno je proračunom na bazi zapremine vodnog vala, a provjera je provedena holandskom metodom na bazi mjerenja oborina.

Proračun se bazira na utvrđenoj protoci odgovarajućeg povratnog perioda, uzimajući u obzir i količinu procijednih voda.

Crpne stanice se dimenzioniraju uvijek na manju protoku od maksimalnih. Stupanj redukcije ovisi od mnogog faktora i općenito se daje izrazom:

$$\varepsilon = \frac{Q_c}{Q_{\max}}$$

Glavni faktori su veličina i pad slivnog područja, intenzitet i trajanje oborina, površinske i podzemne retardacije, te izbor kultura koje se uzgajaju.



Slika 8.

Kapacitet crpke je

$$Q_c = Q_{\text{max}} \left(1 - \frac{V_r}{V_u} \right)$$

gdje je:

t_a — vrijeme tolerantne saturacije (plavljenja).

Transformacija vodnog vala se može izvršiti i grafičkom metodom, gdje je:

V_r — volumen retencije

V_u — ukupni volumen vodnog vala.

Ako vodni val ima oblik istokračnog trokuta, onda je

$$Q_c = Q_{\text{max}} - \frac{Q_{\text{max}} \cdot V_u}{1} \text{ m}^3/\text{sek}$$

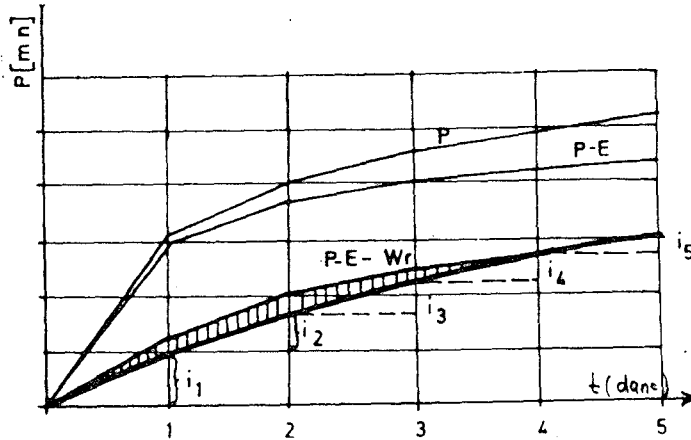
a tolerantno vrijeme plavljenja retencijskih površina

$$t_p = \frac{2 \cdot V_u}{Q_c} + t_p.$$

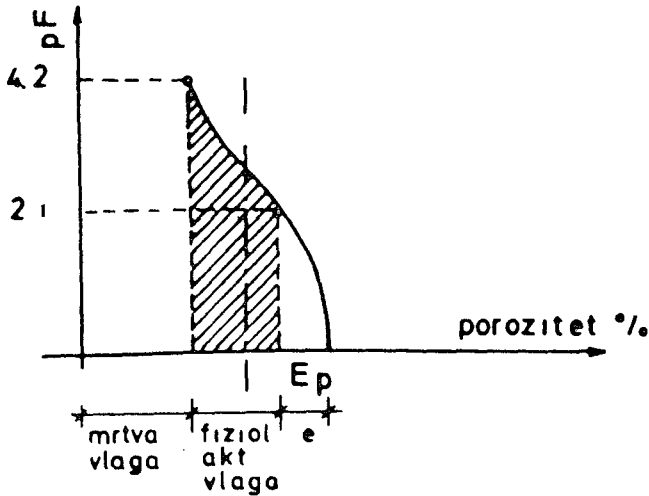
Što je veća retencionna zapremina, to je kapacitet crpnih stanica manji, pa se stoga crpna stanica odabire neposredno uz stara korita zbog sporijeg pražnjenja usisnog bazena.

Proračun na bazi višednevnih oborina. Ova metoda proračuna bazira se na razmatranju mjerenih višednevnih oborina usvojenog povratnog perioda. Dnevni intenziteti oborina umanjuju se za vrijednost evapotranspiracije, re-

tencije tla, retencije kanalske mreže i makrodepresija. Za utvrđivanje retencione sposobnosti tla potrebno je poznavati raspon fiziološki aktivne vlage u tlu na bazi utvrđenih pF krivulja. Ove veličine redovito su poznate iz pedološko-hidroloških studija. U prosjeku se uzima cca 30 % raspona fiziološki aktivne vlage na dubini od 0,8 m.



Slika 9.



Slika 10.

Mjerodavan je maksimalni reducirani dnevni ili višednevni intenzitet, koji transformiran na protoku ima oblik:

$$Q_c = 0,116 \cdot i_p^{\max} \cdot F \text{ m}^3/\text{sek.}$$

Gravitacioni ispusti dimenzionirani su na maksimalne nereducirane protoke 25-godišnjeg povratnog perioda.

Veličina crpnih agregata, njihov broj i tipovi određuju se na temelju razmatranja ukupnog kapaciteta, dotoka malih voda i za srednje geodetske visine dizanja. Kod ovog izbora potrebno je težiti da broj agregata bude što manji, da svi dotoci budu savladani uz duže vrijeme rada svake crpke, da građevinski objekt bude što manji tj. ekonomičniji i da oprema bude po mogućnosti tipizirana. Vrlo je teško udovoljiti svim uvjetima, pa se zato preporučuje da kod izbora uvijek bude minimum dva agregata višebrzinskih motora s izmjenom nagiba lopatica na crpkama.

Na izbor tipa crpnih agregata svakako utječe količina vode i visina dizanja. Zato je važno poznavati srednje visine dizanja kod kojih crpne stanice najviše rade te da koeficijent maksimalnog iskorištenja upravo kod te visine bude što veći. Isto tako s dovoljno velikim koeficijentom iskorištenja, crpka mora raditi i kod najviše visine dizanja. U većini slučajeva maksimalni vanjski vodostaji nisu u korelaciji s maksimalnim unutarnjim, što je olakšavajuća okolnost. Za područje Črnc-polja taj koeficijent iznosi 0,33. Za tretirani kompleks odabrane su vertikalne dvobrzinske propelerne pumpe, tipa AVZ Jugoturbine — Karlovac i Riva Calzoni — Milano, Italija.

Kod utvrđivanja visine poda strojnarnice potrebno je isključiti svaku mogućnost plavljenja u slučaju kvara ili nestanka električne energije, pa pod strojnarnice mora biti izdignut iznad maksimalne kote plavljenja.

Većina crpnih stanica je tipizirana (osim Pos. Bregi i Mahovo), kako u pogledu opreme, oblika i veličine građevinskog objekta. U svom sklopu imaju armirano-betonske cjevovode za gravitacionu odvodnju, koja se regulira s pomoću zapornih uređaja. Svi objekti crpnih stanica (osim dvije spomenute) imaju za mehaničku odvodnju čelične tlačne cjevovode koji prolaze kroz nasip ili preko njega. Gotovo svi objekti crpnih stanica udaljeni su od obalnih nasipa kanala cca 15 m.

Tabela 4.

PRIKAZ CRPNIH STANICA I GRAVITACIONIH ISPUSTA U ČRNEC-POLJU

Red. br.	Naziv crpne stanice	Broj kazete	Gravitarajuća površina ha	Kapacitet crpne stanice m ³ /sek	Broj agregata kom.	Broj gravit. otvora kom.	Ukupni svijetli otvor m ²
1.	Posavski Bregi	1	1.370	2,5	2	1	4,00
2.	Vezišće	2	1.846	4,0	2	1	4,00
3.	Hrastilnica	5	1.554	4,0	2	1	4,00
4.	Rožec	3	1.602	4,0	2	1	4,00
5.	Mahovo	10	6.324	12,0	4	2	16,80
6.	Lonja	9	1.730	4,0	2	1	6,25
7.	Obedišće	14	2.104	4,0	2	1	4,00
8.	Črnc	9	3.281	6,0	3	2	12,50
9.	Oborovo	7	3.200	6,0	3	2	12,50
10.	Ježevo	12	3.986	6,0	3	2	12,50
11.	Rugvica	13	3.177	6,0	3	2	12,50
12.	Dugo Selo	12	818	1,5	2	1	4,00
Sveukupno:			30.992	60,0	30	17	96,85

Pločasti propusti su tipizirani i reducirani na minimum tipova do raspona od 14 m. Ovisno od dubine i širine kanala, odabrani su rasponi 8—14 m za širine kolnika 4 i 6 m. U većini slučajeva odabrani su veći svijetli otvori propusta od minimalno potrebnih s malim upornjacima i krilnim zidovima i dužim prefabriciranim nosačima. Izgradnja ovakvih objekata je kraća i ekonomičnija.

Minimalni hidraulički raspon upornjaka usvojen je kao širina vodnog lica maksimalne 5-godišnje velike vode zaokružene na puni metar. Visina donjeg ruba konstrukcije usvojena je s minimum 0,80 m iznad vode 25-godišnjeg povratnog perioda i da je donji rub konstrukcije minimum 0,30 m iznad prirodnog terena.

Ukupni broj pločastih propusta u Črnc-polju iznosi 73 komada.

Cijevni propusti predviđeni su kao klasični, kružnog presjeka 60—180 cm, tipizirani u odnosu na značenije saobraćaja, veličinu kanala, širinu kolnika i visinu nadsloja. Sve cijevi su jednostruko ili dvostruko armirane s ležajem i bez njega, temeljene na armirano-betonskoj podlozi, s vertikalnim plitkim zidovima i kratkom oblogom na ulazu i izlazu od prefabriciranih elemenata. Svi veći profili na glavnim prijelazima su pojačani armirano-betonskom košuljicom. Naknadno su razrađeni tipovi cijevnih propusta pravokutnog presjeka od prefabriciranih elemenata, koji se odlikuju jednostavnom i brzom izgradnjom. Ukupno je izvedeno 1.050 cijevnih propusta, što daje cca 22,2 kom. na 1.000 ha.

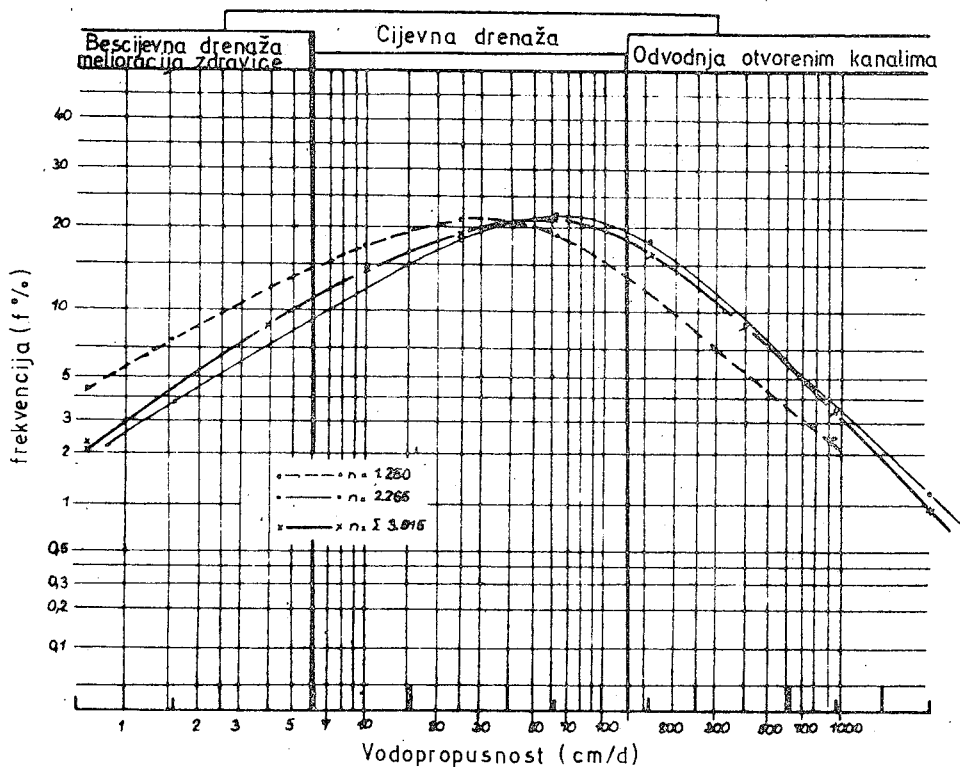
Detaljna odvodnja

Rijetka otvorena kanalska mreža, bez obzira na svoju dubinu, u većini slučajeva ne djeluju dovoljno meliorativno, pa je neophodna ugradnja regulacionih sistema odvodnje na proizvodnim površinama (parcelama), bez obzira na to radi li se o društvenom ili privatnom posjedu. Kanali na razmacima od 200—300 m ne snizuju nivo podzemne vode na traženu dubinu, ako vodonepropusnost tla nije velika. To najbolje ilustriraju zapadnonjemački stručnjaci, dr Eggelsmann i dr Rider, što je vidljivo na slici 11.

Na području Črnc-polja pojas širine do 500 m uz rijeku Savu, na aluvijalnoj savskoj gredi i na povišenim terenima uz naselja, zadovoljio je sistem rijetke kanalske mreže. Na ostalim površinama primjenjivani su površinski i potpovršinski sistemi regulacione odvodnje.

Površinski sistemi odvodnje primijenjeni su uglavnom na individualnom sektoru vlasništva i na tlima tipa hipoglej, semiglej, pseudoglej i amfiglej. Razlog za ovakvo rješenje bio je ekonomske prirode. Primijenjena je dvostručna baulacija u kombinaciji s plitkim međusložnim jarcima, tzv. »domaća varijanta« koja je na području Posavine dobro poznata.

Potpovršinski sistemi odvodnje izvedeni su uglavnom na svim društvenim poljoprivrednim ratarskim površinama u površini od cca 14.500 ha. Izbor sistema odvodnje ovisio je o pedološko-hidrološkim osobinama tla i o genezi prekomjernog vlaženja aktivnog profila tla. Uglavnom je prevladavalo prekomjerno vlaženje od visokih podzemnih voda na tlima tipa hipoglej i semiglej, zatim od suvišnih stagnirajućih voda oborinskog karaktera (pseudoglej) i od kombiniranog prekomjernog vlaženja, tj. od visokih nadzemnih voda u kombinaciji sa stagnirajućim površinskim vodama (pseudoglej-glej



Slika 11.

i amfglej). Kroz detaljne pedološko-hidrološke studije utvrđeni su hidromelioracioni rajoni i dati su svi potrebni elementi za projektiranje drenaže. Na sva rješenja dominantni utjecaj su imali rezultati višegodišnjih istražnih radova na eksperimentalnom polju Pilot farme Ježevo, kao i rezultati s novog istražnog polja koje je za te svrhe bilo izvedeno.

a) Odvodnja tla s dominantnim vlaženjem aktivnog profila tla visokim nivoima podzemne vode (tla tipa semiglej i hipoglej)

Proračun drenažnih razmaka proveden je po poznatim formulama za teoriju horizontalnog toka u saturiranoj zoni tla. Za stacionarno tečenje to su poznate formule Hooghoudta i Ernsta-Boumansa za dvoslojnu sredinu. Ovisno o položaju granica propusnosti slojeva koriste se formule Hooghoudta ili Ernsta, a često su proračuni provedeni po obim formulama i međusobno uspoređivani rezultati. Poznata je činjenica, da Hooghoudt daje uvijek rješenje za dvoslojnu sredinu s granicom slojeva uvijek na dubini drenaže, dok je Ernstova jednadžba primjenjiva za dvoslojnu sredinu, gdje granica propusnih sredina može biti ispod i iznad razine drenova. Primjena Hooghoudtove formule bazira se na mjerenim veličinama na terenu, kao što je horizontalna vodopropusnost K_1 , K_2 u m/dan, te u određivanju položaja nepropusnog sloja D.

Uvođenjem pojma ekvivalentnog sloja eliminira se utjecaj radijalnog toka i ulaznog otpora u cijevi, kada se otvoreni drenski rovovi zamijene drenskim cijevima.

Za praktičnu upotrebu postoje gotove tabele i grafikoni.

b) Odvodnja tla s dominantnim površinskim vlaženjem (pseudoglej)

Rješenje odvodnje za ovaj tip tla je rijetka i plitka drenaža s dodatnim mjerama odvodnje i uz obaveznu kalcifikaciju. Karakteristično za ovo tlo je nestabilna struktura, velika sklonost zbijanju posebno podoranice koja postaje slabo propusna i dolazi do stagniranja suvišne oborinske vode, posebno kod rada krupne poljoprivredne mehanizacije u nepovoljnim uvjetima rada. Radi sprečavanja mehaničkog zbijanja, povremeno se provodi podrivanje, tj. kidanje i podizanje dijela tla debljine najmanje 40 cm, s oruđem za podrivanje. Kidanjem i razrahljivanjem zbijenog dijela tla povećava se udio gravitacionih pora i prostor za rast korijenja te retencionna sposobnost za vodu, kao i struktura tla, posebno ako se još provodi i kalcifikacija zemljišta.

Dubina podrivanja varira od 0,50—0,80 m u razmacima od 0,75 m. Razmak tijela podrivača treba odabrati tako da se brazde podrivanja presijecaju u gornjem području, na dubini od 30 cm.

Rahljenje ima svoj puni efekt kada je dominantna praškasta tekstura tla, tj. kada tlo sadrži < 30 % glinenih čestica.

Podzemna drenaža ima tranzitnu funkciju i njen se razmak najbolje određuje eksperimentalnim putem na pokusnim poljima. Primjenjuje se redovito plitka drenaža prosječne dubine 0,80—0,90 m, s ugradbom kontaktnog šljunčanog filtra do 30 cm ispod površine terena ili kalcifikacijom drenskog rova. Dominantno tečenje suvišne vode kroz tlo je plitko, pa je propusnost drenskih rovova od bitne važnosti.

c) Odvodnja tla s kombiniranim vlaženjem stagnirajuće suviše vode i visoke podzemne vode (tla tipa amfiglej i pseudoglej-glej)

Ovaj sistem regulacione odvodnje uveden je kao kompromis između površinske i podzemne odvodnje. U tlima s teškim mehaničkim sastavom suvišne vode sporo pritječu u podzemne drenske rovove. Njezini nedostaci naročito dolaze do izražaja u proljeće, pa se stoga dešava da sistematska cijevna drenaža ne funkcionira dobro kad je priticaj vode s površine najintenzivniji. Da bi se smanjili navedeni nedostaci površinske i podzemne odvodnje, pristupilo se istraživanju regulacione kombinirane odvodnje, i to sa širim razmakom drenova za površinsku odvodnju, odnosno rjeđim za podzemnu odvodnju, uz primjenu dodatnih mjera, tj. krtičenja ili podrivanja.

Rješenja se obično baziraju na temelju višegodišnjih poljskih eksperimenata. Računska provjera provodi se tako da se za površinske vode određuju širi razmaci, a za sniženje podzemnih voda uži drenski razmaci. Obično se kombinira da se u svaki drugi dren ugrađuje kontaktni filter i provode dodatne mjere odvodnje, a to su podrivanje ili krtičenje, što ovisi o sadržaju glinenih čestica. U Črnc-polju najuži razmaci iznose 15 m, a na 30 m su drenovi s kontaktnim filtrom.

Drugi pristup rješavanju ove problematike odvodnje tala tipa amfiglej i pseudoglej-glej je u sistematskoj drenaži, koristeći nestacionarna rješenja Glover-Dümma.

Agrotehničkim mjerama potrebno je poboljšati svojstva tla, a time i vodopropusnost. Na eksperimentalnom polju »Pilot farma Ježevo«, na tlima tipa amfiglej, bez agrotehničkih mjera i kod razmaka drenova od 15,0 m, dominantno je tečenje kroz plitki obradivi sloj. Mjerenje istjecanja iz drenova i mjerenje nivoa podzemne vode u pjezometrima ukazuju da je dominantno plitko tečenje kroz obradivi sloj i više od 80 %, kada se ne poboljšavaju fizička svojstva podoranice.

11. ZAKLJUČAK

Povećanjem stanovništva problem prehrane postaje sve akutniji. Ukupne poljoprivredne površine kroz urbanizaciju i ostalu infrastrukturu postaju sve manje, jer se poljoprivredi stalno oduzima najkvalitetnije zemljište, pa se time smanjuje ukupni zemljišni fond. Da bi se stanje poboljšalo moraju se provoditi tehničke melioracije i komasacija zemljišta na poplavnim i slabo odvodnjenim zemljištima. To se posebno odnosi na velike potrošačke centre, koje je potrebno zadovoljiti osnovnim prehrambenim proizvodima kako stanovništvo tako i prehrambene kapacitete koji su redovno koncentrirani u najvećim potrošačkim centrima. Najekonomičnije je svakako ako se takvi proizvodi mogu dobiti u neposrednoj blizini.

Privođenje takvih poljoprivrednih površina na intenzivnu proizvodnju je vrlo složen i često rizičan put, koji prethodno mora biti ekonomski valoriziran. Na projektu Črnec-polje to je učinjeno izgradnjom eksperimentalnog polja »Ježevo«, na kome su vršena višegodišnja mjerenja i valorizacija svih neophodnih parametara.

Druga značajna spoznaja je u tome da kompletna zaštita od vanjskih voda mora obavezno biti dovršena prije provedbi tehničkih melioracija u nisko-bazenskim područjima.

U složenim odvodnim sistemima kao što je Črnec-polje, konceptijskom rješenju potrebno je bilo dati znatnu pažnju, a to se moglo postići ako su prethodno na vrijeme izrađene sve studije, kvalitetne topografske podloge i dobro poznat režim vanjskih i unutarnjih voda. Primarni zadatak u izradi koncepcije bio je razgraničenje na gravitacionu i mehaničku odvodnju, kako bi ova druga bila svedena na najmanju moguću mjeru. U okviru ovog rješenja dano je racionalno rješenje organizacije prostora, a koja se uglavnom sastoji u iznalaženju najfunkcionalnije dispozicije putne i kanalske mreže i objekata. Kroz poplavna područja potrebno je bilo iznaći najbolja povezivanja naselja i riješiti saobraćaj regionalnog značenja. Također je stečeno vrlo značajno iskustvo na bržoj izradi projektne dokumentacije primjenom racionalnih metoda u projektiranju s minimum terenskih mjerenja i uz veće korištenje suvremenih pomagala kao što su autografi, elektronski računari i ploteri. Najveće poteškoće bile su u načinu projektiranja i izvedbe drenaže na tlima teškog mehaničkog sastava. Te dileme ni do danas nisu u potpunosti riješene, i trebat će ih valorizirati kroz dugotrajna mjerenja na eksperimentalnim poljima, koja su u tu svrhu izrađena.

Drugi prigovori bili su u izboru većeg broja crpnih stanica i neekonomičnim objektima. Kroz višegodišnju eksploataciju sistema u ravnim terenima s vrlo malim padovima kanala i slabijem održavanju sistema, s većim brojem crpnih stanica i manjom dužinom kanala ostvaruju se bolje norme odvodnje, dok pojednostavljenjem konstruktivnih svojstava objekata crpnih stanica mogla bi se u ovom klimatu poboljšati i dati ekonomičnija rješenja.

Kroz dosadašnju eksploataciju može se konstatirati da se uz kvalitetnu pripremu zemljišta, pravovremenu sjetvu, izbor adekvatnog sjemena i plodoreda te stalno održavanje sistema, može rentabilno gospodariti na novoosvojenim površinama u Črnec-polju.

LITERATURA:

1. Idejni projekt odvodnje Črnec-polja, Direkcija za Savu, 1972.
2. *Prof. dr Dionis Srebrenović*: Maksimalni dotoci s ravnih melioracionih površina, *Građevinar* br. 1, 2 . . . , 1971.
3. *Mr Zlatko Srebrenović*: Elementi dimenzioniranja crpnih stanica, Priručnik za hidrotehničke melioracije, Knjiga 3, 1985.
4. *J. M. Groot*: Ispitivanje odvodnje teških tala u Gornjem Posavlju, 1973.
5. *Drainage Principles and Applications*, Publications 16, Wageningen 1974.
6. *R. Eggelsmann: Drän-anleitung*, 2. Auflage, 1981.

DRENAŽA ZASLANJENIH TALA U ARIDNIM PODRUČJIMA

DRAGUTIN GERESŠ, dipl. ing. građ.

ISPIRANJE SUVIŠNIH SOLI NA PROJEKTU »DUJAILAH« U IRAKU

1. UVOD

Vjerojatno jedan od najvećih nedostataka u prošlosti u razvoju navodnjavanja kao sistema i procesa je zanemarivanje drenaže. Danas se drenaža redovno razmatra i rješava uz navodnjavanje. Kod navodnjavanja kultura, soli se moraju odstraniti iz tla u istoj količini u kojoj su unesene u tlo, inače dolazi do povećanja koncentracije soli i smanjenja prinosa ili čak neplodnosti tla. Bilanca soli, tj. da je odstranjivanje jednako unošenju soli, na navodnjavanim površinama postiže se većom količinom vode pri navodnjavanju od potreba biljaka, kako bi višak vode odstranio topive soli. Podzemna drenaža mora biti tako riješena da omogući potrebno ispiranje soli kao i održavanje nivoa podzemne vode na odgovarajućoj dubini, kako bi se spriječilo podizanje zaslanjene kapilarne vode u zoni korijena ili čak na površinu terena.

Prema iskustvima FAO i UNESCO postoji potreba za drenažom u aridnim područjima. Potreba ovisi o prosječnim godišnjim oborinama i o tipu navodnjavanja. Smatra se da područja s prosječnom visinom oborina do 300 mm godišnje trebaju drenažu.

Potreba i mogućnosti drenaže zaslanjenih tala trebaju biti potpuno istraženi prije planiranja navodnjavanja u cilju sprečavanja zaslanjivanja. Istražni radovi, eksperimenti i teoretska objašnjenja su potrebni za potpuno razumijevanje ponašanja tla, soli i biljaka u danim uvjetima drenaže i navodnjavanja. Pažnja se treba posvetiti utvrđivanju kretanja vode i soli u tlu. Naučnim istraživanjima tih pojava za potrebe drenaže u aridnim područjima dolazimo u mogućnost da se razjasne odnosi tlo—klima—biljka—čovjek.

Rad prikazuje istražne radove, rezultate eksperimenata, metodologiju i dobivene rezultate koji su omogućili rješenje drenaže zasoljenih tala područja projekta »Dujailah« u Iraku na površini od 25.000 ha.

Drugo poglavlje obrađuje opće podatke o projektu, historijat zaslanjivanja, topografiju, geologiju, hidrogeologiju i klimatske karakteristike.

Treće poglavlje prikazuje svojstva tla i zaslanjenost suvišnim solima.

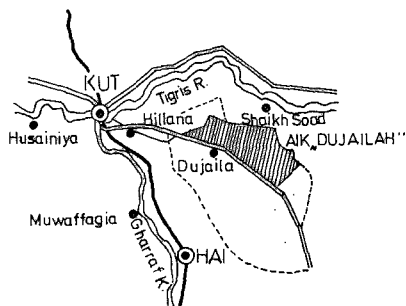
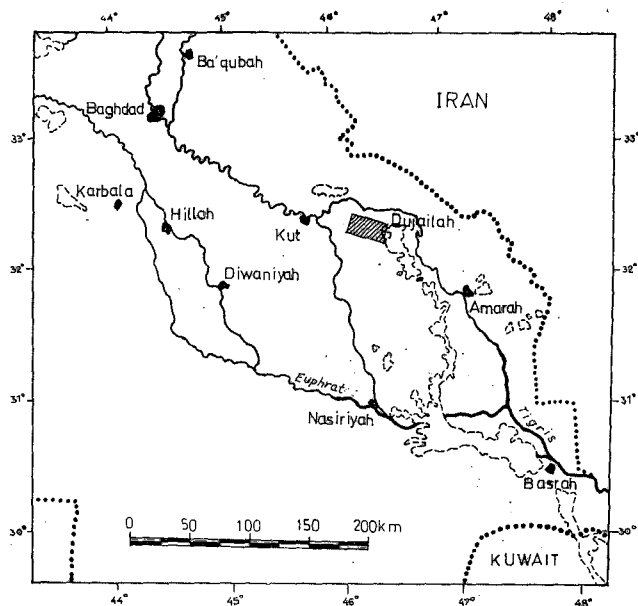
U četvrtom se poglavlju analiziraju rezultati eksperimenata, koji su osnova za fundamentalni pristup problemu ispiranja soli i njenu odstranjivanju

putem drenaže. Prikazuje se sistematski proračun bilance vode i soli kao i teorija ispiranja soli.

2. KARAKTERISTIKE PODRUČJA PROJEKTA

2.1. Opći podaci o Iraku i projektu

Projekt »Dujailah« se nalazi u ravnici Mezopotamije, u državi Irak. Teritorij Iraka proteže se između 29° i 37° sjeverne geografske širine i između 39° i 48° istočne geografske dužine. Mezopotamija, u kojoj je izražen problem zaslanjenosti tla, nalazi se između 30° i 34° sjeverne širine i između 43° i 48° istočne dužine.



Sl. 1. Pregledna karta Iraka i projekta »Dujailah«

Republika Irak ima površinu od 434.000 km². Poljoprivredne površine su oko 27 % nacionalnog teritorija (oko 12 milijuna ha). Od tih površina oko 4 milijuna ha se nalazi na sjeveru, gdje ima oborina za poljoprivrednu proizvodnju. Na preostalih 8 milijuna ha proizvodnja je moguća samo uz navodnjavanje. Godišnje se navodnjava oko 2 milijuna ha, isto toliko površina ostaje pod ugarom. U zadnjem desetljeću naglo se povećavaju poljoprivredne površine uz primjenu navodnjavanja.

Realizacijom studije AIK »Dujailah« na površini od 117.300 ha, glavnih projekata za 25.000 ha i izgradnjom I faze od 25.000 ha. Poljoprivredni kombinat »Beograd« i kooperanti oživotvorili su ideju o iskorištavanju stajljecima neplodnog zemljišta Mezopotamije u poljoprivredne svrhe.

2.2. Historija zaslanjivanja tla

Dobro je poznato, da je civilizacija koja se ranije razvijala na teritoriju današnjeg Iraka među najstarijima i najpoznatijima u svijetu. Poljoprivreda je bila uvijek osnova te civilizacije. U istraživanjima iračke vlade i Orienta Institute iz Chicaga zaključuje se, da je oko 2400. godine p. n. e. prinos pšenice i ječma bio oko 2000 kg/ha; da nije bilo umjetne drenaže; da je pojava zaslanjenosti u Gharaffu blizu Amare zabilježena oko 2400. godine p. n. e.; iako su registrirani poneki fosili porijeklom iz taloga mora, geneza zaslanjivanja tla pripisuje se solima iz vode za navodnjavanje. Zbog velike evaporacije (aridna klima) soli su se akumulirale u tlu tokom godina. Stanje je postajalo vrlo ozbiljno s visokim nivoom podzemne vode, kada kapilarno dizanje vode omogućuje evaporaciju i nakon prestanka navodnjavanja. Može se zaključiti, da zaslanjenost tla nije bila ozbiljan problem u Starom vijeku, već je ona vjerojatno nastala zbog akumulacije soli iz vode za navodnjavanje tokom godina

2.3. Topografija

Područje projekta »Dujilah« ima sva obilježja aluvijalne ravnice, koja ima blagi pad prema jugoistoku. Prosječan pad je 0,2—0,5 ‰. Nadmorske visine se kreću od 10,50—15,50 m. Reljef južnog i jugoistočnog dijela je više izražen. Površine projekta po visinskom položaju date su u tabeli 1. Oblik reljefa ima utjecaj na teksturu tla, propusnost i zaslanjenost.

Tabela 1.

POVRŠINE PROJEKTA »DUJILAH« PREMA VISINSKOM POLOŽAJU

Nadmorska visina m	Površina ha	% od ukupne površine
1	2	3
10—11	860	3
11—12	5.400	21
12—13	7.600	30
13—14	6.860	27
14—15	4.200	17
Preko 15	600	2
UKUPNO	25.500	100

2.4. Geologija

Karakteristike područja ovisne su o genezi i razvoju dolina rijeka Tigris i Eufrat, koje čine dio ravnice Mezopotamije. Područje je u geološkom smislu formirano od aluvijalnih nanosa rijeke Tigris, koji su se taložili u periodičnim poplavama u posljednjim milenijima. Poriijeklo sedimenta je iz perioda mezozoika i tercijara. Nanos se sastoji od vapnenca, ilovače, gline i pjeskovitih tala, s proslojcima gipsa i ostalih komponenti. Različite su teksture.

Aluvijalni nanosi imaju debljinu do 30 m. U hidrogeološkom smislu to je dvoslojna sredina: donji se sloj sastoji od pjeskovitih dijelova razne krupnoće, debljine do 20 m, gornji sloj (povlata) je sastavljen od glinovitih sedimenta debljine 3,5—17 m. Podinu aluvijalnih nanosa čine konsolidarne gline.

Uz aluvijalne nanose postoje i nanosi od irigacija, stvaranih kroz period od 4—6 milenija. To su slojevi debljine nekoliko metara, porijeklom iz voda Tigrisa. Karakteristika tih sedimenta je visok sadržaj praha.

2.5. Hidrogeologija

Iako porijeklo podzemne vode nije dovoljno istraženo, može se pretpostaviti da je podzemna voda formirana od viška irigacione vode i procjeđivanja iz kanala. Ta procijedna voda zadržava se na nepropusnom glinovitom sloju.

Fluktuacija nivoa podzemne vode u toku godine je znatna. Visoki nivoi podzemnih voda su u zimsko/proljetnom periodu, kada se navodnjavaju kulture. Najniži nivo podzemne vode je u jesen, prije prvog navodnjavanja. Nivo podzemne vode varira od 0,75 do 5,00 m. Nivo podzemne vode ovisi o utjecaju čovjeka.

Tabela 2.

NIVO PODZEMNIH VODA

Broj profila	Dubina profila (cm)	Broj slojeva u profilu	Nivo podzemne vode (cm) Mjerenja u XI i XII 1974.		
			I	II	III
1	2	3	4	5	6
3	305	12	204	204	199
4	325	11	222	190	193
5	360	10	299	286	289
10	380	11	215	202	—
21	400	17	300	274	—

Na području projekta nema kontinuiranih dubokih akvifera, koji formiraju režim podzemnih voda i koji bi se mogli koristiti za prihvaćanje vode s površine. Ne mogu se konstatirati zakonitosti režima formiranja i pravaca kretanja podzemnih voda.

Slanost podzemne vode je veća od 36 mmhos/cm pri 25 °C. Najmanja slanost podzemne vode je u blizini glavnih i distributivnih irigacionih kanala. U podzemnoj vodi dominiraju kationi natrija i anioni klorida i sulfata. Podzemna voda pripada klasi C₄—S₄.

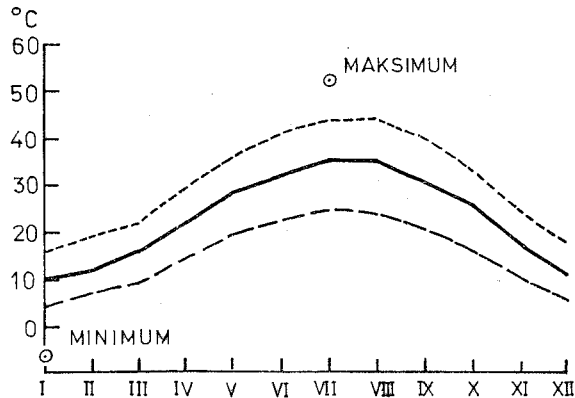
Tabela 3.

**KEMIJSKI SASTAV PODZEMNE VODE, DRENAŽNE VODE I VODE
U IRIGACIONIM KANALIMA**

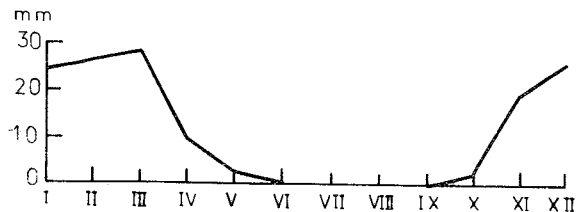
Mjesto uzorka	pH	EC pri 25°C mmhos/cm	TSS ppm	Kationi meq/l				Anioni meq/l				S. A. R.	Klasa
				Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	CO ₃		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Profil 3	7,5	65,9	61.019	71,5	302,5	680	0,4	915	160	1,8	0	49,7	C ₄ —S ₄
Profil 5	7,3	56,9	46.930	167,2	206,8	472	0,3	765	63	1,1	0	34,5	C ₄ —S ₄
Irigacioni kanal	7,5	0,75	569	4,4	1,3	2,2	0,09	2,5	3,0	2,4	0	1,3	C ₂ —S ₁
Drenažni kanal	8,0	10,08	7.453	27,5	16,5	79	0,06	81,0	37,0	3,8	0	16,8	C ₄ —S ₄

2.6. Klima

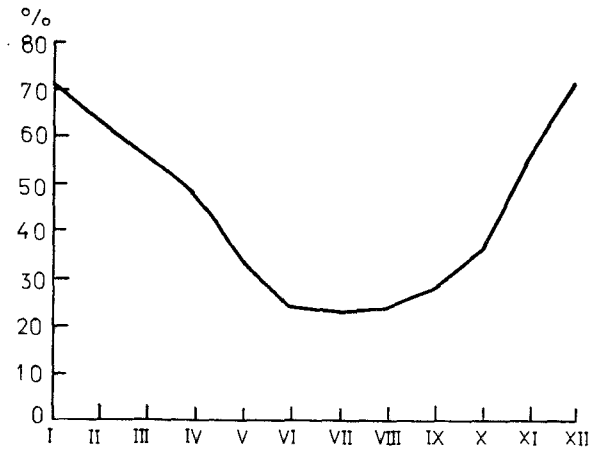
Ravnica Mezopotamije ima izrazito aridnu klimu. Najizraženija karakteristika klime su duga, suha ljeta, od svibnja do listopada, s vrlo visokim temperaturama. Ima nešto oborina u zimskom periodu, ali poljoprivredna proizvodnja zahtijeva navodnjavanje tokom cijele godine.



Sl. 2. Temperature zraka, stanica Baghdad



Sl. 3. Prosječne mjesečne oborine, stanica Baghdad



Sl. 4. Relativna vlažnost zraka, stanica Baghdad

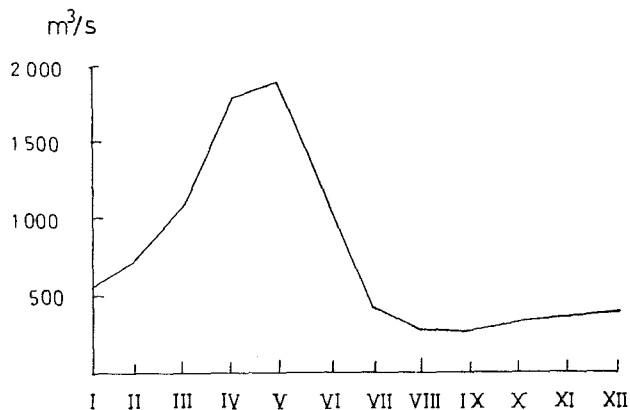
Prosječna godišnja brzina vjetra iznosi 3,6 m/s. Smjerovi vjetra su različiti, najčešće se javljaju zapadni vjetrovi (39,3 % učestalosti), slijede istočni (11,5 %) itd.

Srednja godišnja veličina radijacije (zračenja) iznosi 520 cal/cm² dan. Mjerena evaporacija u stanici Amara iznosi 3389 mm godišnje.

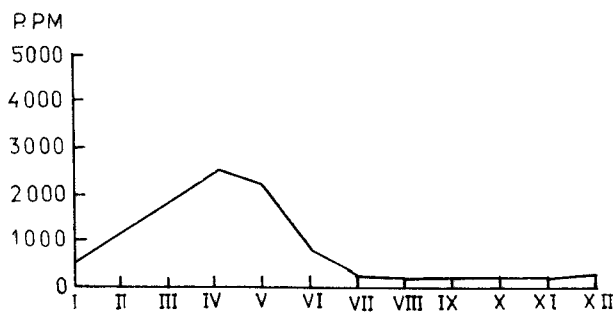
2.7. Hidrologija

Voda za navodnjavanje zahvaća se u rijeci Tigris, kod grada Kuta, gdje postoji brana. Višegodišnji prosjek protoka kod stanice Kut je 748 m³/s, maksimum je u mjesecu svibnju 1869 m³/s a minimum u mjesecu rujnu 272 m³/s. Usporeni vodostaji uzvodno od brane, iznose: maksimalni između 18,30 m i 19,06 m a minimalni između 15,30 i 17,20 m. Količine i nivoi vode na zahvatu osiguravaju gravitacionu opskrbu vodom projekta »Dujailah«.

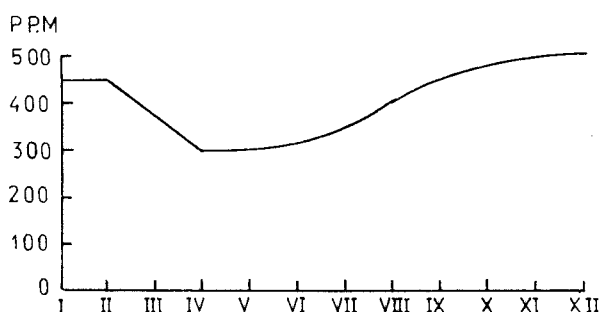
Karakteristike rijeke Tigris date su na slikama 5, 6. i 7. i u tabeli 4.



Sl. 5. Srednje mjesečne protoke rijeke Tigris, stanica Kut



Sl. 6. Nanos u rijeci Tigris, stanica Baghdad



Sl. 7. Ukupno otopljene soli u rijeci Tigris, stanica Baghdad

Tabela 4.

SASTAV VODE RIJEKE TIGRIS (BAGHDAD)

Naziv	Minimalna maj—juni	Maksimalna decembar—januar	Godišnji prosjeak
1	2	3	4
Soli (ppm)	180	370	250
Ca (meq/l)	2,0	3,2	2,5
Mg (meq/l)	0,7	2,1	1,4
Na (meq/l)	0,2	1,4	0,9
S. A. R. (meq/l)	0,2	1,0	0,6

3. TLO I ZASLANJENOST TLA SUVIŠNIM SOLIMA

3.1. Profil tla i glavna svojstva

Zemljišni profil područja Dujailah čine nanosi ilovače i praha. Tla imaju slijedeća glavna svojstva:

— profil tla je višeslojan, različite je teksture i strukture,

- propusnost tla za vodu je različita po slojevima, u ovisnosti o mehaničkom sastavu, strukturi, stupnju zaslanjenosti. Većinom je propusnost za vodu mala i vrlo mala,
- sva tla su duboka,
- položaj nivoa podzemne vode različit je u uvjetima navodnjavanja i bez njega.

Tabela 5.

TEKSTURA TLA

Broj profila	Dubina cm	Presjek	Frakcije (%)		Teksturna klasa
			Prašina	Glina	
1	2	3	4	5	6
2	0—20	14	44	42	SiC
	20—45	7	44	49	SiC
	45—75	7	47	46	SiC
	75—100	13	58	29	SiCL
	100—120	23	56	21	SiL
	120—148	28	56	16	SiL
5	148—168	81	14	5	LS
	0—21	1	64	35	SiCL
	21—39	10	69	21	SiL
	39—76	39	52	9	SiL
	76—110	20	68	12	SiL
	110—148	38	54	8	SiL
	148—180	54	34	12	SiL
	180—240	3	45	52	SiC
	240—281	6	51	43	SiC
	281—323	4	45	51	SiC
323—358	3	46	51	SiC	

3.2. Propusnost za vodu

Poljska mjerenja propusnosti izvršena su metodom »auger hole« i inverznom metodom a rezultati iz većeg broja mjerenja prikazani su u tabeli 6.

Tabela 6.

PROPUSNOST TLA — SREDNJE VRIJEDNOSTI

Dubina cm od — do	Propusnost (K) cm/dan		
	Minimum	Prosijek	Maksimum
1	2	3	4
60—200	30	45	80
230—350	70	95	150

3.3. Tekstura i vodno-fizičke osobine

Tekstura površinskog (oraničnog) sloja, do 20 cm dubine, kreće se u klasama prašinate ilovače, prašinsto glinovite ilovače, prašinate gline i gline. Generalno se može reći da je to teža tekstura.

Tekstura podoraničnog sloja, od 20—110 cm dubine, ne razlikuje se mnogo od teksture površinskog sloja. Postoje razlike u alternaciji slojeva različitog sastava. Srednja vrijednost propusnosti ovog sloja je oko 10 cm/dan, maksimalna veličina je do 25 cm/dan. Horizontalna propusnost se kreće 5—30 cm/dan.

Tekstura podloge, dubine veće od 110 cm, rangirana je kao i prethodna dva sloja. Propusnost ovog sloja se kreće do 96 cm/dan. Horizontalna propusnost se kreće oko 3 cm/dan. Brzina infiltracije kreće se od 12—15 cm/dan.

Tabela 7.

TEKSTURA I HIDRAULIČNA PROPUSNOST

Broj profila	Tekstura slojeva			Hidraulička propusnost — cm/dan					
	Oranični	Podoranični	Podloga	horizontalna		vertikalna			
				Podoranični	Podloga	Oranični	Podoranični	Podloga	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2	SiC	SiL, SiCL	SiL, LS	—	—	15	3	33	
5	SiCL	SiL	SiC	—	—	15	3	7	
9	SiCL	SiL, SiCL	SiL, SiL	30	2	9	3	96	
10	SiL	SiL, SiC	SiL, SiCL	6	4	15	3	34	

3.4. Zaslanjenost i alkalitet tla

Istraživanja pokazuju da je tlo na području projekta umjereno ili znatno zaslanjeno.

Voda iz rijeke Tigris je kvalitetna za navodnjavanje, ali se za vrijeme irigacija kroz nekoliko milenija bez drenaže i uz veliku evaporaciju pojavila sol u tlu i podzemnoj vodi. S navodnjavanjem nivo podzemne vode dostiže do površine terena, izazivajući neželjene posljedice.

Prema istraživanjima 1959. godine u tlo su unesene, putem irigacija, velike količine soli: količina vode za navodnjavanje od 300 mm i s prosječnim sadržajem soli od 400 ppm unosi u tlo 1200 kg/ha soli. Ako ne postoji prirodna ili umjetna drenaža, sol se akumulira u tlu.

Otopljene soli: ukupan sadržaj soli u tlu varira u vertikalnom i prostornom rasporedu. Uzrok takvoj raspodjeli soli je velika pokretljivost soli, uvjetovana stratigrafskim i hidrografske karakteristika i načinom navodnjavanja.

Prosječna električna vodljivost pri 25 °C je 5,6—48,7 mmhos/cm, ekstremne veličine su 0,9—125 mmhos/cm.

Generalno, slabije slana tla su na višim terenima a jako slana tla su u depresijama. Uspoređujući odnos Cl / SO_4 , SO_4 / Cl i $\text{HCO}_3 / \text{SO}_4 + \text{Cl}$ zaključuje se da su soli na »Dujailah« projektu predominantno kloridnog tipa, zatim dolaze sulfatno-kloridnog tipa.

Tabela 8.

SADRŽAJ VODE U TLU PRI RAZNIM PRITISCIMA U TEŽINSKIM %

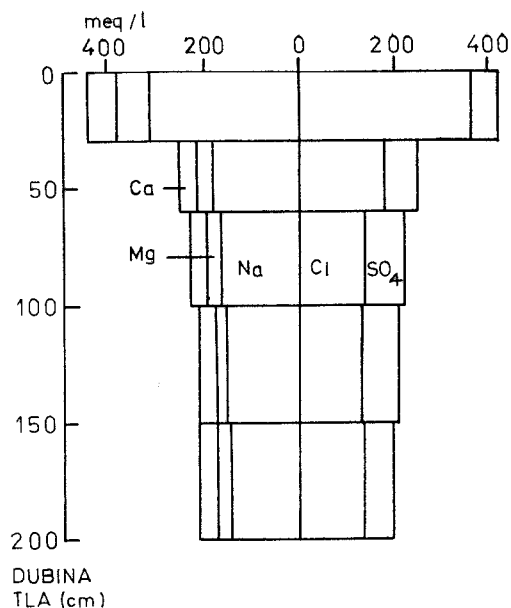
Broj profila	Dubina cm	0,33 bara	0,50 bara	1 bar	300 bara
1	2	3	4	5	6
2	0— 20	21,66	20,34	18,69	4,17
	20— 45	23,05	22,78	20,55	5,77
	45— 75	34,71	22,55	21,02	4,54
	75—100	24,82	21,87	18,87	6,12
	100—120	23,08	20,86	17,89	2,88
	120—148	18,21	17,20	14,12	2,35
	148—168	7,54	7,45	5,31	1,85
5	0— 21	27,07	25,09	24,09	8,05
	21— 39	20,51	18,54	16,18	1,14
	39— 76	13,27	11,11	10,05	3,88
	76—110	14,76	12,50	11,56	2,13
	110—148	11,23	9,29	8,78	2,30
	148—180	11,78	10,50	9,29	2,25
	180—240	32,60	31,00	28,65	2,97
	240—281	27,27	22,07	20,81	2,83
	281—323	26,84	24,54	23,71	5,43
323—356	24,18	31,25	28,57	3,53	

Odnosi $\text{Na} + \text{K} / \text{Ca} + \text{Mg}$, $\text{Ca} + \text{Mg} / \text{Na} + \text{K}$ i Mg / Ca pokazuju da tla imaju predominantan magnezij-natrijev tip zaslanjenosti. Pojavljuje se i magnezij-kalcijev tip.

Promjenljivi natrij: učešće natrija u adsorpcionom kompleksu kreće se između 0,7 i 10,1 meq/100 g tla. Distribucija je vezana sa slojevima profila, ali nije u potpunosti u suglasnosti s teksturom i kapacitetom promjenljivih kationa (C. E. C.), koji rangira od 9,2 do 45 meq/100 g tla. Postotak promjenljivog natrija (E. S. P.) kreće se od 2,9 do 50.

Vapnenac (CaCO_3): tlo sadrži od 2 do 30 % CaCO_3 . Prisustvo tolikih količina vapnenca povoljno utječe na strukturu u procesu ispiranja soli.

Gips je pronađen u svim uzorcima u količini od 0,10—8,20 %. Najveći dio se nalazi ispod dubine od 1. metra. Prisustvo gipsa govori da nije potrebna upotreba kemijskih dodataka pri ispiranju soli.



Sl. 8. Raspored soli u ekstraktu 1 : 1, eksperimentalno polje, neisprano tlo

Tabela 9.

KEMIJSKA SVOJSTVA TLA

Profil broj	Dubina cm	EC sat. ekstr. mmhos/cm	pH paste	CaCO ₃ %	Gips %	Kationi meq/l				Anioni meq/l		S. A. R.
						Ca	Mg	Na	Cl	SO ₄	HCO ₃	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	0— 20	0,94	8,10	24,7	0,24	4	5	3	4	5	2,5	1,4
	20— 45	2,07	8,00	27,6	0,28	6	10	9	10	12	1,9	3,4
	45— 75	9,30	7,80	26,2	0,32	34	64	37	70	67	1,4	5,2
	75—100	10,20	7,80	26,2	0,40	34	60	57	69	74	1,4	9,0
	100—120	12,88	7,70	25,6	0,86	46	70	51	105	67	1,3	7,0
	120—148	16,43	7,65	26,0	1,15	58	76	73	145	72	1,3	8,9
	148—168	24,70	7,55	24,8	0,58	92	92	135	270	45	1,4	14,1
5	0— 21	95,77	7,10	21,2	4,55	938	130	515	1626	54	0,7	53,1
	21— 39	36,78	7,40	25,2	0,10	118	128	226	426	60	0,8	20,4
	39— 76	28,98	7,50	26,2	0,45	78	94	170	318	32	1,0	18,3
	75—110	36,60	7,50	26,1	0,45	108	116	235	417	77	0,8	22,2
	110—148	33,80	7,45	26,7	0,14	86	114	211	378	63	1,0	21,0
	148—180	29,60	7,50	23,9	0,18	66	104	180	294	54	0,9	19,5
	180—240	18,77	7,60	21,6	0,10	46	64	125	186	56	0,9	16,8
	240—281	31,90	7,60	20,2	0,50	62	94	236	342	58	0,9	26,7
	281—323	24,50	7,65	25,9	0,60	46	74	180	246	60	0,9	23,2
	323—358	26,30	7,60	22,2	0,10	44	84	200	276	70	1,0	25,0

Tabela 9. (nastavak)

KEMIJSKA SVOJSTVA TLA

Profil broj	Dubina cm	Promjenljivi Na		C. E. C. meq/100 g	Humus %	NO ₃ ppm	Izlučivi	
		meq/100 g	%				P ₂ O ₅ ppm	K ₂ O meq/100 g
14	15	16	17	18	19	20	21	22
2	0— 20	0,7	2,9	23,8	1,0	70	0,4	0,80
	20— 45	1,3	5,0	26,0	0,4	40	0,8	0,72
	45— 75	1,9	2,5	26,0	0,3	20	0,8	0,12
	75—100	2,7	12,6	21,4	0,4		0,0	0,56
	100—120	2,2	10,9	21,4				0,18
	120—148	2,3	12,8	18,0				0,12
	148—168	1,4	14,7	9,2				0,06
5	0— 21	10,0	42,0	23,8	0,8	150	2,0	0,58
	21— 39	4,5	22,0	20,0	0,4	230	2,4	0,26
	39— 76	1,6	11,4	14,0	0,1	230	2,8	0,12
	76—110	3,5	21,8	16,0	0,1		2,0	0,12
	110—148	2,3	17,4	13,2				0,12
	148—180	2,8	21,2	13,2				0,32
	180—240	2,4	6,1	39,4				0,32
	240—281	6,6	23,9	27,6				0,32
	281—323	6,9	23,8	29,0				0,38
	323—358	6,6	16,8	39,4				0,52

Na osnovi klasifikacije zaslanjenih tala (USDA, 1954) većina tala su klasificirana kao zaslanjena i alkalna.

Tabela 10.

KLASIFIKACIJA ZASLANJENIH TALA PREMA U. S. D. A. (1954)

Vrsta tla	Električna provodljivost EC mmhos/cm	% zamjenjiva natrija ESP %	pH
1	2	3	4
Slana tla	> 4 kod 25 °C	< 15	ispod 8,5
Slano-sodna (alkalna tla)	> 4 kod 25 °C	> 15	rijetko veći od 8,5
Neslano-sodna (alkalna) tla	< 4 kod 25 °C	> 15	8,5—10

Tla područja projekta su prema stupnju zaslanjenosti podijeljena u pet klasa, koje su prikazane u tabeli 11.

Tabela 11.

KLASE ZASLANJENOSTI TALA PODRUČJA PROJEKTA

Klasa	EC na 25 °C mmhos/cm	Ukupno rastvorljive soli u % (T. D. S.)	Zastupljenost u % površine	
			0—30 cm	30—100 cm
1	2	3	4	5
S ₀ nezaslanjeno	do 4	do 0,15	9,9	5,0
S ₁ slabo zaslanjeno	4— 8	0,15—0,35	7,0	5,7
S ₂ srednje zaslanjeno	8—16	0,35—0,65	13,1	20,8
S ₃ jako zaslanjeno	16—32	0,65—1,00	19,9	41,5
S ₄ vrlo jako zaslanjeno	> 32	> 1,00	50,1	27,0

Za potrebe planiranja melioracije tala izvršena je podjela svih klasa tala u tri grupe:

- I grupa (21 % ukupne površine) :glinovito-ilovasta tekstura, slaba do srednja propusnost (0,25—1,25 cm/h) i laka do srednja zaslanjenost,
- II grupa (56 % od ukupne površine): glinovito-ilovasta tekstura, slaba do vrlo slaba propusnost (0,13—0,25 cm/h), srednja do umjereno jaka zaslanjenost,
- III grupa (23 % od ukupne površine): glinovita tekstura, vrlo mala propusnost ili nepropusni slojevi (manje od 0,13 cm/h), većinom jaka zaslanjenost.

4. DRENAŽA ZASLANJENIH TALA

4.1. Općenito o melioriranju zaslanjenih tala

Opći princip melioriranja zaslanjenih tala obuhvaća:

1. sprečavanje daljeg zaslanjivanja,
2. ispiranje soli (početno i redovno),
3. zamjena izmjenljiva natrija s izmjenljivim kalcijem.

Sprečavanje daljeg zaslanjivanja tla postiže se zaštitom od poplava, ali češće je potrebno smanjiti kapilarno penjanje vlage. Snižavanje nivoa podzemne vode je uobičajeno rješenje.

Ispiranje soli u aridnim područjima zahtijeva navodnjavanje. U toku ispiranja zamjenjuje se otopina soli u tlu svježom vodom koja se procjeđuje kroz tlo. Efikasnost ispiranja ovisi o sadržaju vlage u tlu, normi ispiranja, rasporedu pora i vertikalnom rasporedu soli u profilu. Potrebno je osigurati efikasno odvođenje slane vode iz tla.

Ispiranje slanog tla, osim početnog ispiranja soli iz korijenove zone, zahtijeva i mjere sprečavanja ponovnog zaslanjivanja. To se postiže sniženjem nivoa podzemne vode i odvođenjem otopljenih soli putem drenaže izvan područja.

Ispiranje suvišnih soli i kontrola zaslanjenosti zahtijevaju adekvatnu podzemnu drenažu; slana tla zahtijevaju različitu količinu vode za navodnjavanje od normalnih tala. Potrebna količina vode za navodnjavanje sastoji se od količine potrebne za biljke i od dodatne količine za ispiranje soli. Ovoj količini dodaju se i gubici.

Drenažne potrebe moraju se tako specificirati da omogućuju da se pravilno projektira sistem u odnosu na dubinu, razmak i kapacitet. Dok u vlažnim regijama suvišna voda od oborina uzrokuje potrebu drenaže, u aridnim je to nedostatak oborina. U osnovi problemi su isti u pogledu kretanja vode kroz tlo. Zato je logično da se potrebe zaslanjenih površina izraze na sličan način kao u humidnim regijama, tj. količina vode za ispiranje mora se odvesti u određenom vremenu. Potrebna dubina podzemne vode ovisna je o odnosu zrak — vlažnost u tlu u pogledu uzgoja kultura i rada mehanizacije, a također i o riziku resalinizacije. U mnogim slučajevima normalni gubici na procjeđivanje dovoljni su da osiguraju ispiranje, ali se to mora provjeriti. Količina vode za dreniranje mora biti specificirana za potrebe proračuna razmaka drenova. Količina vode za drenažu ovisi o bilanci soli u tlu. Ako nedovoljno vode prolazi kroz tlo, zaslanjenost se ne može nikada efikasno kontrolirati samo spuštanjem vodnog lica podzemne vode.

4.2. Početno ispiranje soli

4.2.1. Drenaža za kontrolu saliniteta

Drenažni sistem projektira se i izgrađuje za stalne potrebe, odnosno za efikasno odvođenje vode iz tla pri redovnom ispiranju soli. Potrebno je zbog toga provjeriti da li taj sistem zadovoljava privremene drenažne zahtjeve početnog ispiranja. Jasno je, da je zbog prirode procesa ispiranja moguće poduzeti početno ispiranje s mogućnostima drenažnog sistema baziranog na stalnim potrebama. Međutim, može se dogoditi da se presporo postiču rezultati ispiranja i da zbog toga nisu prihvatljivi u općim ili posebnim uvjetima. Proračun duljine perioda početnog ispiranja na osnovi krivulje ispiranja daje ideje da li se može dogoditi taj slučaj.

Tako dugo dok je količina soli u tlu prevelika za uzgoj biljaka, visoki nivo podzemne vode (i do površine) ne čini štetu. Ako je drenaža projektirana npr. da održava podzemnu vodu 1 m ispod površine terena, isti sistem omogućuje mnogo veći obrok vode za ispiranje od redovnog u slučaju kad se može dozvoliti podizanje nivoa do površine terena.

Analizom duljine vremena početnog ispiranja može se zaključiti da li ima ili nema potrebe da se predviđaju dodatni drenažni kapaciteti za period početnog ispiranja.

U provođenju navodnjavanja uvijek se dovodi više vode od potreba biljaka za vodom. Javlja se gubici na distribuciji i infiltraciji vode. Prema generalnom iskustvu, oko 20 do 40 % vode su gubici, što daje efikasnost navodnjavanja od 60 do 80 %. Neizbježni gubici pri navodnjavanju uzrokuju podizanje vodnog nivoa podzemne vode i mogu dovesti do zamočvarenja ukoliko nema drenaže. Ako ima soli u tlu, potrebno ih je isprati. Gubici vode u tlo vrše ispiranje soli.

Poteškoća što ispiranje nije uniformno, jer su gubici na procjeđivanje nejednoliko raspoređeni, može se premostiti tehnikom navodnjavanja itd.

Ako je potrebna voda za ispiranje za kontrolu soli manja od normalnih gubitaka na procjeđivanje tada veličina tih gubitaka određuje intenzitet drenaže. Prema tome, količina vode za dreniranje s navodnjavanog tla ima neku minimalnu vrijednost, koja ovisi o tlu, padu, metodi navodnjavanja itd. Ta veličina se obično kreće od 20 do 30 % od potrebne vode za navodnjavanje.

U zaključku može se navesti princip, da se privremeni drenažni zahtjevi perioda početnog ispiranja soli moraju prilagoditi drenažnom sistemu, koji treba zadovoljiti period redovnog ispiranja, u kojem se mora spriječiti re-salinizacija tla.

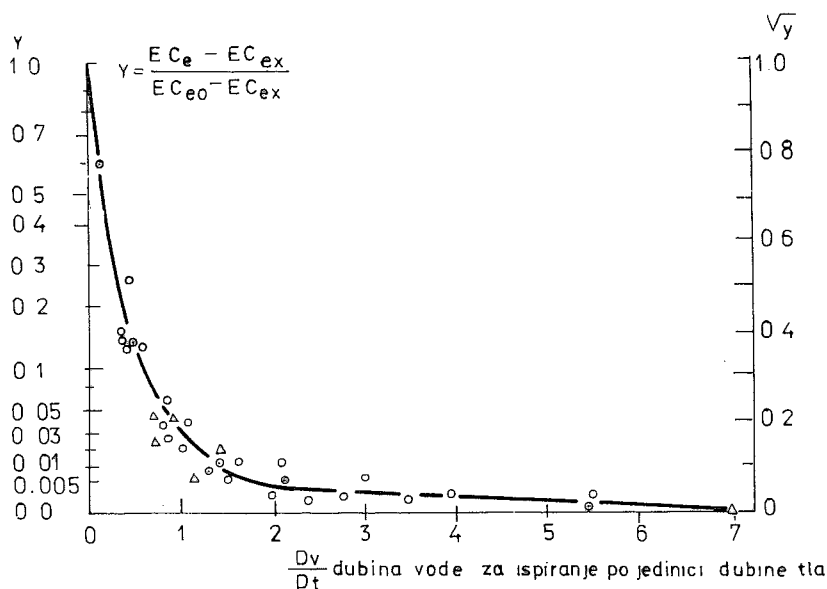
4.2.2. Eksperimentalno utvrđivanje elemenata ispiranja

Eksperimenti početnog ispiranja soli vršeni su u periodu 1954—1959. godine u organizaciji vlade Iraka (istraživanja P.J. Dielemana i drugih) i u periodu 1976—1977. godine za potrebe projekta »Dujailah« od strane PKB. Rezultati istraživanja u oba perioda se generalno podudaraju.

a) Krivulja ispiranja soli

Krivulja ispiranja suvišnih soli iz tla pokazuje odnos između smanjenja sadržaja soli, izražen u jedinici električne provodljivosti, i prosječne količine drenirane vode. Može se uraditi teoretska krivulja ispiranja (poglavlje 4.3.4) ili stvarna krivulja ispiranja, na bazi promatranih podataka s eksperimentalnog polja.

Obradom podataka istraživanja na eksperimentalnom polju Dujailah dobivena je krivulja ispiranja soli, prikazana na slici 9.



Sl. 9. Krivulja ispiranja (za $EC_{ex} = 2,8$)

Izvršena je transformacija mjerenih podataka.

Oznake znače:

EC = električna provodljivost u mmhos/cm pri 25 °C

ECe = e. p. saturacijskog ekstrakta

ECeo = početni sadržaj soli u tlu izražen s e. p. saturacijskog ekstrakta

ECex = uravnoteženi nivo soli (e. p. saturacijskog ekstrakta) dobiven u uvjetima provođenja normalnog irigacionog i drenažnog procesa (ima konstantnu vrijednost)

Dv = dubina vode za ispiranje

Dt = dubina tla.

Odnosi prikazani na slici 9. postali su nezavisni od slanosti irigacione vode i drenažnih uvjeta uvođenjem vrijednosti ECex (u eksperimentima dobivena vrijednost od 1,3 do 2,8 mmhos/cm, ovisno o evaporaciji, potrebnoj vodi za ispiranje i slanosti irigacione vode).

Napomene o krivulji ispiranja soli

— Vrijednosti ECe su prosječne za danu dubinu profila tla. Raspored soli unutar te dubine nije uniforman, kao što nije uniforman sadržaj soli različitih slojeva profila. Detaljna analiza pokazuje da bi se mogle dobiti krivulje za razne dubine. Međutim, te razlike su od manje važnosti za praksu i one se mogu zanemariti.

— Krivulja ispiranja dobivena je na osnovi empirijski utvrđenih odnosa. Njena je vrijednost ograničena na početni sadržaj soli (ECeo), u jednakim granicama kao i podaci dobiveni eksperimentom. Za Dujailah projekt te su granice (ECeo) između 40 i 100 mmhos.

— Krivulja ispiranja je praktično nezavisna od tipa ekstrakta tlo-voda, potrebnog za mjerenje električne provodljivosti. Slanost se također može izraziti u % soli suhog tla.

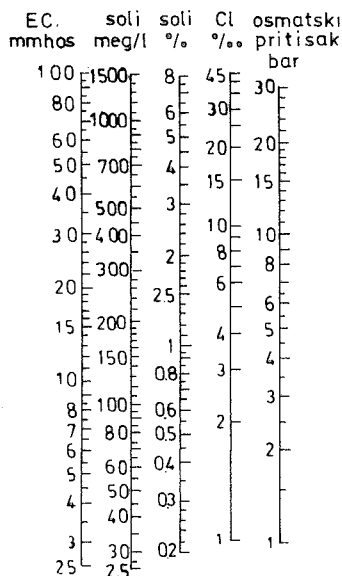
— Efekt ispiranja ovisan je samo o ukupnoj količini vode za ispiranje, koja se stvarno procijedi kroz tlo.

— Krivulja ispiranja je primjenjiva samo za dubine, gdje je kretanje vode vertikalno ili praktično vertikalno. Ovi uvjeti postoje pri ispiranju tla dubine 1 metra u slučaju velikog razmaka drenova, s izuzetkom uskog pojasa za dren.

b) Upotreba krivulje ispiranja

Ispiranje suvišnih soli može se izvoditi na više načina. Osnovna razlika je u tome, da li se voda za ispiranje primjenjuje na golo tlo ili u kombinaciji s izabranim određenim kulturama leguminoze. Izbor načina ispiranja soli nije samo problem kemijsko-fizikalnih osobina tla već su ekonomsko-socijalni aspekti također usko vezani za reklamaciju tla.

Ako je potrebno preporučiti specifičnu proceduru reklamacije tla, tada krivulja ispiranja omogućuje pravilno planiranje i pokazuje posljedice u odnosu na potrebe vode i potrebno vrijeme za dovršetak reklamacije. Slijedeći primjer ilustrira ove tvrdnje.



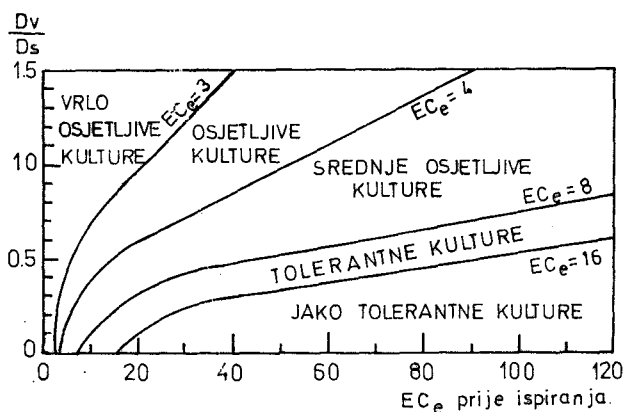
Sl. 10. Graf za pretvaranje električne vodljivosti i slanosti prosječnog ekstrakta

Pretpostavimo: $E_{Ce} = 50$ mmhos/cm za gornjih 30 cm i 40 za gornjih 60 cm tla. Planirano je da se daje voda dok E_{Ce} za prvih 30 cm ne padne na 10 mmhos/cm i poslije tog ispiranja slijedi jedna ili više godina gajenja leguminoza, sve dok E_{Ce} u sloju 0—60 cm ne bude ispod 4 mmhos/cm. Kad se postigne ta vrijednost, smatra se da je tlo reklamirano (isprano). Norma ispiranja za vrijeme plavljenja je 2 cm/dan. Dubina vode za ispiranje za svaku godinu gajenja leguminoza je 25 cm. E_{Cex} je 2,8 mmhos/cm. Evaporacija je 2 cm/dan. Vlaženje tla do poljskog kapaciteta traži 15 cm vode. Prema slici 9, potrebna količina vode za reduciranje E_{Ce} 0—30 cm sa 50 na 10 je oko 14 cm: $(E_{Ce} - E_{Cex}) / (E_{Ce0} - E_{Cex}) = 15\%$ tako da je $D_v / D_t = 0,47$ i $D_v = 14$ cm. Ovo plavljenje traje 7 dana. Ukupna potreba vode, uključujući evaporaciju i vlaženje tla bit će 43 cm. Ukupna dubina vode za ispiranje za prvu godinu bit će 39 cm, i poslije 2 godine 64 cm. Pripadna E_{Ce} vrijednost za gornjih 60 cm tla je 5,8 i 3,9 mmhos/cm. Dakle, potrebno je 7 dana plavljenja i 2 godine gajenja leguminoza da bi se reklamiralo tlo na Dujailah projektu.

Da bi se olakšale računice daje se grafikon na slici 11. Krivulje su konstruirane na osnovi krivulje ispiranja. Dubina vode za ispiranje (drenažna voda) prikazana je kao funkcija zaslanjenosti tla prije ispiranja soli i za četiri nivoa zaslanjenosti poslije ispiranja.

4.2.3. Ispiranje soli i odstranjivanje soli putem drenaže

Nakon što je zaslanjeno tlo isprano treba obratiti pažnju na dva fenomena. Prvo, soli iz gornjih slojeva tla su isprane u donje slojeve, činjenica koja je omogućila korištenje tla u poljoprivredne svrhe. Drugo, nivo vodnog



Sl. 11. Grafovi ispiranja tla

lica će se podići i tako uzrokovati kretanje slane vode prema drenovima. Istraživanjima je utvrđeno da se veći dio soli u gornjih 30 cm tla uklanja s 20 cm vode za ispiranje. Kada 165 cm vode prođe kroz tlo, iz drenova još uvijek istječe vrlo slana voda. To znači da nakon potpunog ispiranja soli iz gornjih slojeva još dugo traje proces ispiranja soli cijelog profila tla.

4.2.4. Bilanca soli u ispranom tlu

Potrebno je uočiti razliku između ispiranja soli, koje su se nakupile u tlu i kasniju drenažu određenih količina vode, dodanih soli za navodnjavanje u cilju održavanja postignutog niskog sadržaja soli (početno i redovno ispiranje vodotopivih soli). Dreniranje i ispiranje soli za poljoprivredne ciljeve bilo bi beskorisno ako ne bismo spriječili resalinizaciju već ispranog tla. Uspjeh projekta drenaže ovisi o mogućnosti održavanja zaslanjenosti na dovoljno niskom nivou koji omogućuje uspješnu poljoprivrednu proizvodnju.

Stvarni nivo zaslanjenosti, koji treba održati, je osnova za proračun zahtijevanih minimalnih količina drenažnih voda i za procjenu očekivanih prinosa poljoprivrednih kultura.

Ne postoji konstantna zaslanjenost tla za vrijeme vegetacionog perioda. Sa svakim obrokom navodnjavanja soli se potiskuju prema dalje, međutim u intervalu između dva obroka dolazi do podizanja soli uslijed evaporacije.

Uz ovu manju fluktuaciju javlja se povećanje sadržaja soli za vrijeme perioda mirovanja između dvije vegetacione sezone. Lokalna je praksa za eliminaciju nagomilane soli, da se daje mnogo veća količina vode za pripremu tla za sjetvu i neposredno iza sjetve.

U toku istraživanja utvrđeno je brzo povećanje zaslanjenosti gornjeg sloja tla, uzrokovano prvim obrokom navodnjavanja poslije ljeta. Iako je taj obrok navodnjavanja bio značajan za ispiranje soli, vrijeme u mjesecu rujnu (toplo i velika evaporacija) izazvalo je kretanje soli prema gornjem dijelu profila tla. Kretanje soli prema gore za vrijeme ljetnog mirovanja je važan faktor za ustanovljenje drenažnih kriterija.

4.2.5. Količine drenažnih voda i potrebna voda za ispiranje

Minimalna zaslanjenost tla ovisi o količini vode za navodnjavanje i količini vode koja se mora provesti kroz tlo i kroz drenažni sistem. Količine vode koje se dreniraju jednake su dodatnoj količini vode za održavanje nivoa saliniteta.

Podaci s eksperimentalnog polja prikazani su u tabeli 12.

Tabela 12.

KOLIČINE DRENAŽNIH VODA

Lokalitet	Ispiranje		1956. g. ljetne kulture		1956/57. g. zimске kulture		1957. g. ljetne kulture	
	mm/dan	dr/ir	mm/dan	dr/ir	mm/dan	dr/ir	mm/dan	dr/ir
1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	12	53 %	2,2	26 %	1,4	54 %	1,5	12 %
B	—	—	2,0	14 %	0,9	36 %	0,9	13 %

dr/ir = dio irigacione vode koji se drenira

Hidraulička provodljivost je 0,8 m/dan (prosjeak brojnih mjerenja auger-hole metodom). Za jednoliku protoku od 1 mm/dan potreban razmak drenova bio bi 130 m s dubinom od 2 m i nivoom podzemne vode na 1 m dubine (između 2 dreva).

Uočava se razlika u količini drenažne vode između perioda ljetnih i zimskih kultura. Lokalna praksa navodnjavanja zadržava približno konstantan prosječan vodni nivo podzemne vode za vrijeme vegetacionog perioda. Kako se znatno razlikuju količine primijenjene vode za navodnjaavanje to se razlikuju i količine drenažnih voda, izražene u % irigacione vode. Velika drenažne količine u ljetnoj sezoni 1956. godine uzrokovane su kasnom sjetvom i kulturom (riža) na lokalitetu B.

Potrebna voda za ispiranje izražena u % povećanja obroka navodnjavanja tla je, grubo utvrđeno, tri do četiri puta veća u zimskom nego u ljetnom periodu. To je uvjetovano jednakim drenažnim utjecajima za vrijeme obje sezone s mnogo većom potrebom vode za navodnjavanje ljeti u odnosu na istu potrebu zimi, kao i utjecajem palih oborina zimi na količinu drenažne vode.

To znači da je otopina tla manje zaslanjena zimi nego ljeti, što se slaže s podacima promatranja. Slijedi, ako je cilj da imamo konstantan nivo soli u tlu i kada postoji intenzivna sezona uzgoja kultura u zimi i ljeti, da je za vrijeme ljetna potrebna veća količina vode. Za istu potrebnu vodu za ispiranje (u % irigacione vode) za ljetne i zimске kulture dobije se modul drenaže od oko 0,4 mm/dan za zimski period i oko 1,5 mm/dan za vrijeme ljeta.

Uz određene pretpostavke, potrebna voda za ispiranje ovisna je o sadržaju soli u vodi za navodnjavanje i prema USDA (1954) ta količina je:

$$LR = 100 \frac{D_d}{D_i} = 100 \frac{EC_{iv}}{EC_{dv}} \quad (1)$$

gdje je:

LR = količina vode potrebna za ispiranje soli (% irigacione vode)

D_d = dubina drenirane vode

D_i = dubina irigacione vode

EC_{dv} = električna provodljivost drenažne vode

= električna provodljivost tla

EC_{iv} = električna provodljivost irigacione vode.

Može se generalno reći da potrebna voda za ispiranje, za normalne biljke, iznosi oko 20 %, što rezultira za ECe tla od 3 mmhos/cm. Za osjetljivije kulture potrebna voda za ispiranje je oko 35 %, što rezultira s ECe tla od 2 mmhos/cm.

4.3. Redovno ispiranje soli

4.3.1. Bilanca vode i soli u tlu

U cilju održavanja sadržaja soli u zoni korijena na određenom nivou potrebno je suvišnu sol evakuirati u donje slojeve tla s pomoću procijedne vode. Bilanca soli za određenu dubinu tla u određenom periodu je:

$$I \cdot C_i + G \cdot C_g = P \cdot C_p \quad (2)$$

I = irigaciona voda (u mm visine vode)

C_i = koncentracija soli u irigacionoj vodi (u % soli ili EC)

G = dotok vode odozdo (u mm visine vode)

C_g = koncentracija soli u vodi G

P = procijedna voda iz sloja u razmatranju (mm visine vode)

C_p = koncentracija soli procijedne vode.

Ravnoteža u bilanci soli postiže se prvo u površinskim slojevima i postepeno se širi dalje, dok se ne postigne u čitavom profilu:

$$C_g = C_p. \quad (3)$$

Ako je period za koji se radi bilanca takav da se može zamijeniti razlika u vlažnosti tla, bilanca vlažnosti sloja može se izraziti:

$$I + N + G = ET + P \quad (4)$$

gdje je:

N = efektivna oborina (u mm)

ET = evapotranspiracija (u mm).

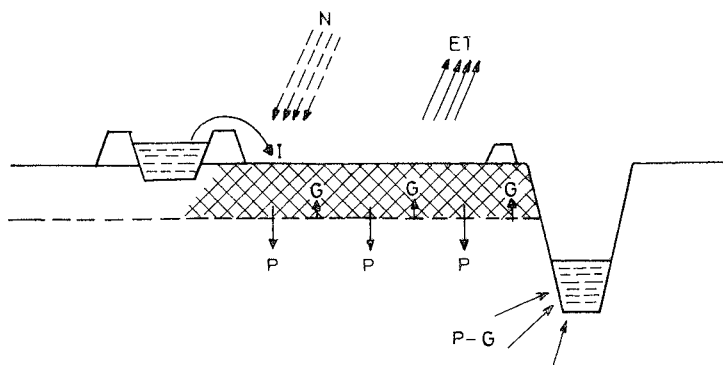
Zamjenom (3) i (4) u (2) dobije se:

$$P - G = \frac{C_i}{C_p - C_i} (ET - N). \quad (5)$$

Ako je ΔM razlika u vlažnosti tla na početku i na kraju perioda koji se razmatra, izraz (5) postaje:

$$P - G = \frac{C_i}{C_p - C_i} (ET - N + \Delta M). \quad (5a)$$

Količina $P - G$ predstavlja visinu vode koja se mora evakuirati iz tla.



Sl. 12. Bilanca vode

Koncentracija soli otopine koja se procjeđuje iz promatranog sloja (C_p) bit će manja ili jednaka koncentraciji u tlu u tom sloju (C_{sm}):

$$C_p = f \cdot C_{sm} \quad (6)$$

gdje je:

f = koeficijent efikasnosti ispiranja soli (≤ 1).

Pretpostavljajući da je sadržaj vlage za vrijeme kretanja vode jednak poljskom kapacitetu, izraz (6) postaje:

$$C_p = \frac{M_{ex}}{M_{fc}} C_{ex} \quad (6a)$$

gdje je:

M_{ex} = sadržaj vlage sloja

M_{fc} = sadržaj vlage pri poljskom kapacitetu

C_{ex} = koncentracija soli ekstrakta M_{ex} .

U slučaju srednje teksturnog, neorganskog tla saturacijski postotak je približno dva puta veći od poljskog kapaciteta, pa se izraz (6a) pojednostavljuje:

$$C_p \cong 2 \cdot f \cdot C_{es} \quad (6b)$$

gdje je:

C_{es} = zaslanjenost tla.

Zamjenom (6a) u (5) dobije se:

$$P - G = \frac{M_{fc} C_i}{f M_{ex} C_{ex} - M_{fc} C_i} (ET - N). \quad (7)$$

Ako je poznata količina vode za navodnjaavnje, ($P - G$) se može izraziti s pomoću izraza (4) i (7):

$$P - G = \frac{M_{fc} C_i}{f M_{ex} C_{ex}} \cdot I. \quad (8)$$

Za slučaj srednje teksturnog tla dobiju se aproksimativne vrijednosti:

$$P - G \cong \frac{C_i}{2 f C_{es} - C_i} (ET - N) \quad (7a)$$

$$P - G \cong \frac{C_i}{2 f C_{es}} \cdot I. \quad (8a)$$

($P - G$) predstavlja potrebu vode za ispiranje soli (leaching requirement).

Primjer:

Za $ET = 210$ mm/mjesec
 $N = 20$ mm/mjesec
 $f = 0,60$
 $M_{fc} = 30$ (%) suhe (težine)
 $M_{ex} = 50$ (%) (suhe težine)
 $C_i = 1$ mmhos/cm
 $C_{ex} = 4$ mmhos/cm

dobije se iz izraza (7) potreba vode za ispiranje soli za održavanje srednje zaslanjenosti tla od 4 mmhos/cm u količini od 63,3 mm/mjesečno.

4.3.2. Koeficijent efikasnosti ispiranja

Koeficijent efikasnosti ispiranja je odnos između koncentracije soli vode drenirane iz sloja tla i koncentracije soli u tom sloju tla.

Za projekat »Dujailah« eksperimentalno je utvrđeno da f iznosi 0,6.

Veličina koeficijenta efikasnosti ovisi o fizikalnim svojstvima tla. Koeficijent je relativno niži u slojevima bliže površini, gdje se nalazi više nekapi-larnih pora, uključujući pukotine i ostatke korijena. Veličina mu raste s dubinom i približava se vrijednosti 1 za slojeve tla ispod stalnog nivoa podzemne vode.

Odnos između dubine tla i efikasnosti ispiranja ukazuje da veličina koeficijenta, koja se koristi, ovisi o dubini korijenove zone, koja se opet mijenja s kulturom, ali se mijenja i za vrijeme razvoja biljke. To je u suglasnosti s poznatom činjenicom da je potrebno više ispiranja u početnom periodu, nego u kasnijim fazama razvoja biljke.

Proces ispiranja soli može se prikazati diferencijalnim izrazom:

$$T \cdot M \cdot d C_{sm} = d I C_i - d P C_p \quad (9)$$

gdje je:

T = dubina sloja tla

M = sadržaj vlage u tlu (volumni)

C_{sm} = koncentracija soli u tlu

I = količina vode za navodnjavanje ($I = P + ET$)

ET = evapotranspiracija

C_i = koncentracija soli u irigacionoj vodi

P = količine vode koje se procijede

C_p = koncentracija soli procijeđene vode.

Kako je prema (6) $C_p = f C_{sm}$ i uz pretpostavku da je količina procijedne vode proporcionalna irigacionoj vodi:

$$P = \frac{I}{r} \text{ i } d I = r d P.$$

Integracijom izraza (9) i s rubnim uvjetima $P = 0$, $C_{sm} = C_{sm0}$ dobije se:

$$\frac{P}{T} = \frac{M}{f} \ln \frac{C_{sm0} - \frac{r C_i}{f}}{C_{sm} - \frac{r C_i}{f}} \quad (10)$$

gdje je:

$$r = \frac{I}{P} = 1 + \frac{ET}{P}.$$

Stvarni fizikalni i kemijski tok ispiranja soli u tlu je puno kompleksniji nego što izgleda po izrazima (9) i (10).

Utvrđeno je da se formula ispiranja (10) dobro slaže s empirijskom krivuljom ispiranja (slika 9) i zbog toga može koristiti za praktične svrhe.

Usporedbom izraza (10) s krivuljom na slici 9. zaključuje se da je koeficijent ispiranja povezan s oblikom krivulje, kao i s EC_{ex} . Krivulja ispiranja na taj način omogućuje proračun vrijednosti koeficijenta ispiranja.

Primjer:

Tekstura tla — ilovača, prašinstva ilovača; $\frac{M}{f}$ iz slike 9 = 0,7; M utvrđen na osnovi teksture = 0,4; slijedi: $f = 0,6$. Ili na drugi način: $EC_{ex} = \frac{r C_i}{f}$ iz iste slike = 1,3; $r C_i = 0,7-0,8$ (procijenjeno), slijedi: $f = 0,55-0,60$.

4.3.3. Potrebne količine vode za drenažu i navodnjavanje

Jednadžbe ravnoteže vode i soli u tlu (4) i (7) omogućuju da se odrede količine vode za navodnjavanje:

$$I_r = (ET - N) \left(1 + \frac{M_{fc} \cdot C_i}{f M_{ex} C_{ex} - M_{fc} C_i} \right). \quad (11)$$

Za slučaj tla srednje teksture (neorganskog) dobije se prema (7a):

$$I_r = (ET - N) \left(1 + \frac{C_i}{2 f C_{es} - C_i} \right). \quad (11a)$$

Potrebna količina vode za drenažu (ili modul drenaže) definira se kao ona količina vode, koja otječe kroz drenažni sistem u određenom periodu vremena u cilju kontrole zaslanjenosti korijenove zone. Ta količina vode (oznaka D_r) sastoji se od količine za ispiranje ($P - G$), ako postoji mora se uzeti u obzir i prirodna drenaža D_n i/ili snabdijevanje podoraničnog sloja vodom sa strane S.

Ako je dana količina irigacione vode iz izraza (8) može se izračunati D_r :

$$D_r = \frac{I}{f} \cdot \frac{M_{fc}}{M_{ex}} \cdot \frac{C_i}{C_{ex}} I + S - D_n. \quad (12)$$

Ako su poznati evaporacija i oborine, tada je D_r , suglasno (7):

$$D_r = \frac{M_{fc} C_i}{f M_{ex} C_{ex} - M_{fc} C_i} (ET - N) + S - D_n. \quad (13)$$

Za slučaj tla srednje teksture (neorganskog) iz (7a) i (8a) dobije se:

$$D_r = \frac{1}{2 f} \cdot \frac{C_i}{C_{es}} I + S - D_n \quad (12a)$$

$$D_r = \frac{C_i}{2 f C_{es} - C_i} (ET - N) + S - D_n. \quad (13a)$$

Korištene oznake u izrazima:

I_r = količina vode za navodnjavanje	}	mm vode u razmatranom vremenu
D_r = količine vode za drenažu		
ET = evapotranspiracija		
N = oborine		
S = dotok vode u sloj tla sa strane		
D_n = prirodna drenaža sloja		
M_{fc} = poljski kapacitet	}	na bazi suhe težine
M_{ex} = sadržaj vlage sloja ekstrakta (koji se odnosi na C_{ex})		
C_i = zaslanjenost irigacione vode	}	električna provodljivost ili koncentracija soli
C_{ex} = dozvoljena zaslanjenost zone korijena		
C_{es} = dozvoljena zaslanjenost saturacijskog ekstrakta		
f = efikasnost ispiranja		između 0 i 1.

4.3.4. Količine vode za drenažu i navodnjavanje

Ove količine mogu se odrediti pomoću izraza (11) i (12). Primjenjujući podatke za područje projekta, i to: $C_i = 0,6$ mmhos/cm, saturacijski postotak je dva puta veći od poljskog kapaciteta, $f = 0,6$, pretpostavljajući da je S i $D_n = 0$, izračunate su mjesečne vrijednosti i prikazane u tabeli 13.

Tabela 13.

KOLIČINE VODE ZA NAVODNJAVANJE I DRENAŽU

Mjesec	ET — N mm	Navodnjavanje — mm		Drenaža — mm	
		$C_{es} = 2$	$C_{es} = 4$	$C_{es} = 2$	$C_{es} = 4$
1	2	3	4	5	6
I	44	59	50	15	6
II	53	71	61	18	8
III	99	132	113	38	14
IV	127	169	145	42	18
V	165	220	189	55	24
VI	210	280	240	70	30
VII	340	453	389	113	49
VIII	350	467	400	117	50
IX	290	387	331	97	41
X	220	293	251	73	31
XI	134	179	153	45	19
XII	43	57	49	14	6
GODIŠNJE	2.075	2.767	2.371	692	296
PROSJEK	173	231	198	58	25

Vide se varijacije u količini drenažnih voda u mjesecima u godini (za $C_{es} = 4$ vrijednosti se kreću od 6 do 50 mm/mjesečno). Ove varijacije potrebnih količina za ispiranje (drenažu) stvaraju problem u planiranju drenažne sheme. Ako se planira prema maksimumu (ljetu), sistem će biti prekapacitiran zimi. Ako se planira prema minimumu (zima), bit će premašen dozvoljeni sadržaj soli za vrijeme ljeta.

Pod pretpostavkom da se upotrebljava konstantna vrijednost za mjesečne drenažne količine, predviđeno kolebanje zaslanjenosti tla za vrijeme (prosječne) godine može se utvrditi metodom numeričke analize (pokušajima) režima soli u tlu prema jednadžbi (9).

Ukupna količina soli B_x na dubini T , na kraju mjeseca x je:

$$B_x = B_{x-1} + I \cdot C_i - (P - G) \cdot f \cdot C_{sm} \quad (16)$$

u izrazu C_{sm} je aproksimativno

$$C_{sm} = \frac{B_x}{T M_{fe}} \quad (17)$$

gdje je:

$(P - G)$ = ispiranje

f = koeficijent efikasnosti

C_{sm} = koncentracija soli tla pri poljskom kapacitetu

T = dubina tla

M_{fe} = sadržaj vlage pri poljskom kapacitetu (volumno).

Proračun se započinje s procijenjenim nivoom zaslanjenosti za svaki mjesec, nastavlja se za niz sukcesivnih godina, sve dok rezultat ne bude konstantan.

4.3.5. Dubina podzemne vode i drenaže

Za navodnjavanje tla dubina podzemne vode od 150 i više cm se često preporučuje u literaturi. Smatra se da su ove dubine potrebne za sprečavanje zaslanjivanja zbog kapilarnog podizanja podzemne vode.

Ranije je objašnjeno da dubina podzemne vode nema direktan odnos prema bilanci soli u tlu. Zbog toga, minimalna dubina podzemne vode prvenstveno je određena potrebnom količinom zraka i razvojem korijena biljke. Može se reći da će biti istog reda veličine kao i za dubine u humidnim regijama (50 do 150 cm).

Dubina drenova bit će veća od minimalne dubine podzemne vode, da bi se osigurao potreban hidraulički pritisak za kretanje podzemne vode prema drenovima. S većom dubinom drenova njihov razmak može biti veći. Relacija između dubine drena, dubine podzemne vode i razmaka drenova prisutna je u drenažnoj formuli.

Dubina drenova je također ograničena dubinom kolektora i glavnih kanala, što se vidi iz sheme drenaže, a ograničeno je topografijom i načinom odvođenja drenažnih voda s područja.

Proračuni razmaka i dubine drenova za razne slučajeve pokazuju važnost duboke drenaže. Povoljni efekti duboke drenaže manifestiraju se preko:

- redukcija ukupnih godišnjih potreba vode za navodnjavanje i količina vode za drenažu,
- pravilnija raspodjela drenažnih voda u toku godine, što znači da se drenažni sistem upotrebljava ekonomičnije.

Tabela 14.

USPOREDBA PLITKE I DUBOKE CIJEVNE DRENAŽE

Dubina drenaže	1,1 m	2 m
Razmak drenova	52 m	88 m
1	2	3
Količina drenažne vode — godišnje	495 mm	455 mm
Potreba vode za navodnjavanje — godišnje	900 mm	740 mm
Dnevna količina drenažne vode za:		
— period 30 dana	1,93 mm	1,34 mm
— period 135 dana	3,06 mm	1,65 mm
— period 195 dana	0,12 mm	1,00 mm

4.4. Teorija ispiranja soli

Proces ispiranja soli može se prikazati slijedećim teoretskim modelima:

- jednostavan rezervoar,
- jednostavan rezervoar s »bajpasom«,
- serija rezervoara,
- kontinuirani stup (cilindar).

Pretpostavlja se da ne postoji kemijska i fizička interakcija između soli, rastopine i tla.

4.4.1. Jednostavan rezervoar

Uz konstantan volumen vode u rezervoaru i s potpunim miješanjem bilanca soli glasi:

$$C_i Q dt = C_r Q dt + V dC \quad (18)$$

gdje je:

C = prosječna koncentracija soli rastopine u rezervoaru

C_i = koncentracija soli ulazne vode

C_r = koncentracija soli izlazne vode

Q = protoka kroz sistem

dt = interval vremena

$T = \frac{V}{Q}$, vrijeme zadržavanja.

Ako je miješanje potpuno, imamo $C_r = C$, pa je nakon uređenja:

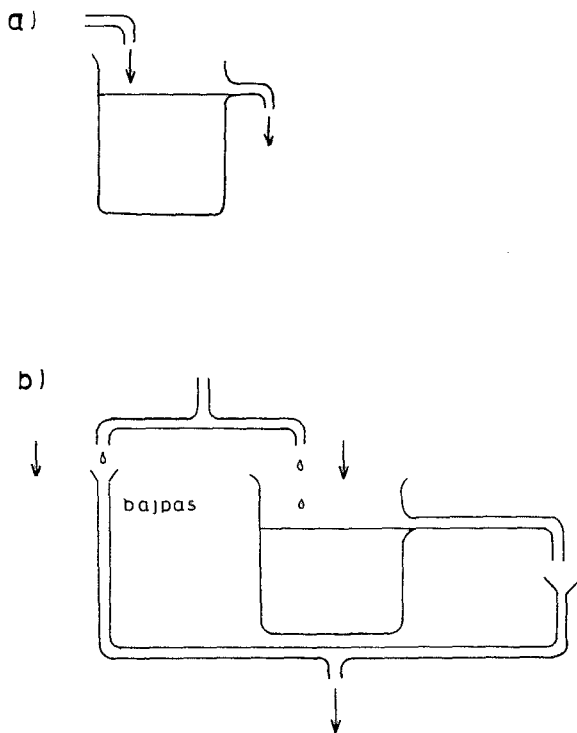
$$\frac{dC}{C - C_i} = -\frac{Q}{V} dt.$$

Integracijom izraza za granice $C = C_0$ u vremenu $t = 0$ i C u vremenu t dobije se:

$$C_r = C = C_i + (C_0 - C_i) e^{-t/\tau} \quad (19)$$

gdje je:

C_0 = početna koncentracija soli rastopine u rezervoaru.



Sl. 13. Jednostavan rezervoar (a) i rezervoar s bajpasom (b)

4.4.2. Rezervoar s »bajpasom«

U tlu se rijetko postiže potpuno miješanje vode s rastopinom soli u tlu. Dio vode kreće se kroz velike pore ili pukotine i dolazi na donju granicu bez ikakvog miješanja. To se izražava:

$$C_r = fC + (1 - f)C_i. \quad (20)$$

Iz izraza (18) i (20) dobije se, uz $C = C_0$ kad je $t = 0$,

$$C = C_i + (C_0 - C_i) e^{-ft/T}, \quad (21)$$

gdje je:

f = koeficijent efikasnosti ispiranja.

Za $C_i = 0$ izraz (21) postaje:

$$C = C_0 e^{-ft/T}. \quad (22)$$

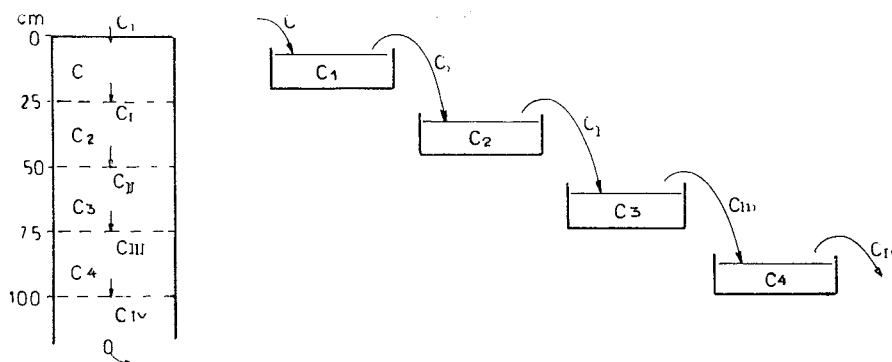
Ovaj izraz je osnova za izradu bilance soli u tlu.

4.4.3. Serija rezervoara

Iz istraživanja procesa ispiranja vidi se da nije vjerojatan slučaj potpunog miješanja na dubini korijena (najčešće 1 m).

Uzimajući u obzir ograničenu dubinu u kojoj je miješanje efikasno, može se pretpostaviti da se tlo sastoji od niza rezervoara.

Model Van der Molena (1973) dijeli zonu korijena biljke na 4 dijela, debljine 25 cm. Svaki sloj predstavlja rezervoar a cijeli profil seriju rezervoara. Voda za ispiranje (ili navodnjavanje) dovodi se u prvi rezervoar, ponire do drugog, iz drugog ponire u treći i iz trećeg u četvrti itd.

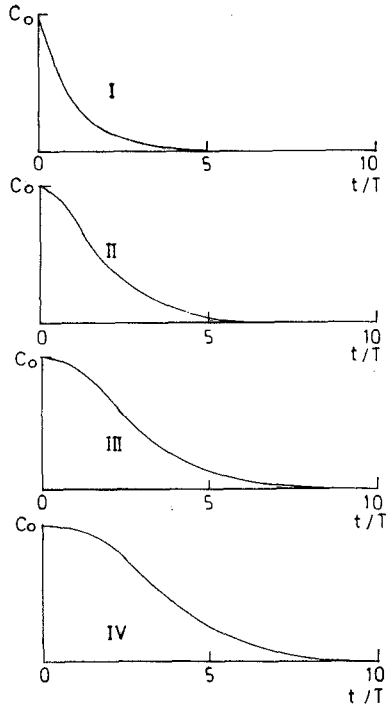


Sl. 14. Serija rezervoara

Volumen vode u svakom od rezervoara odgovara sadržaju vlage svakog sloja i može se smatrati konstantnim, jer se kretanje vode i soli događa pri sadržaju vlage blizu poljskog kapaciteta.

Bilanca soli u prvom rezervoaru dana je izrazom:

$$V dc_{tc} = (C_i - C_r) Q dt \quad (23)$$



Sl. 15. Ispiranje soli kod modela od 4 rezervoara u seriji

gdje je:

V = volumen rezervoara ispunjen vodom (l)

dc_{fc} = promjena u koncentraciji soli u ekstraktu tla pri poljskom kapacitetu (meq/l)

C_i = koncentracija soli ulazne (irigacione) vode (meq/l)

C_r = koncentracija soli izlazne vode (meq/l)

Q = protoka kroz sistem (l/s)

dt = interval (s)

$T = \frac{V}{Q}$ = vrijeme zadržavanja (s).

Za prvi rezervoar koncentracija izlazne vode je:

$$C_r = f C_{fc} + (1 - f) C_i \quad (24)$$

gdje je:

f = koeficijent efikasnosti ispiranja.

Iz izraza (23) i (24) izvodi se:

$$\frac{dc_{fc}}{C_{fc} - C_f} = -f \frac{Q}{V} dt. \quad (25)$$

Integracijom izraza (25) za rubne uvjete $t = 0$, $C_{fc} = C_1$ i $t = t$, $C_{fc} = C_I$ dobije se:

$$C_I = C_1 + (C_1 - C_i) e^{-ft/T} \quad (26)$$

gdje je:

C_I = koncentracija izlazne vode, koja se procjeđuje iz prvog u drugi rezervoar.

Na sličan način dobije se koncentracija soli izlazne vode iz drugog, trećeg i četvrtog rezervoara:

$$C_{II} = C_1 + (C_1 - C_i) \frac{ft}{T} e^{-ft/T} + (C_2 - C_i) e^{-ft/T} \quad (27)$$

$$C_{III} = C_1 + (C_1 - C_i) \frac{f^2 t^2}{2 T^2} e^{-ft/T} + (C_2 - C_i) \frac{ft}{T} e^{-ft/T} + (C_3 - C_i) e^{-ft/T} \quad (28)$$

$$C_{IV} = C_1 + (C_1 - C_i) \frac{f^3 t^3}{6 T^3} e^{-ft/T} + (C_2 - C_i) \frac{f^2 t^2}{2 T^2} e^{-ft/T} + (C_3 - C_i) \frac{ft}{T} e^{-ft/T} + (C_4 - C_i) e^{-ft/T}. \quad (29)$$

Za N-ti rezervoar:

$$C_N = C_1 + (C_o - C_i) e^{-ft/T} \sum_{n=0}^{n=N-1} \left(1 + \frac{f^n t^n}{n! T^n} \right). \quad (30)$$

Koncentracija soli u izrazima (26) do (30) može se izraziti u meq/l topljivih soli ili električnom provodljivošću. Njihov odnos se vidi iz slike 10.

Sadržaj vlage pri poljskom kapacitetu je 40 % volumena, pa će sloj od 25 cm sadržati 100 mm vode. Ako izaberemo jedinicu procjeđivanja 100 mm, tada izraz ft / T ima vrijednost f . S pomoću izraza (26) do (30) mogu se dobiti teoretske krivulje ispiranja za razne početne sadržaje soli i različite koeficijente efikasnosti ispiranja.

4.4.4. Numeričke metode

Numeričke metode upotrebljavaju se u kompliciranijim slučajevima: kada koeficijent efikasnosti ispiranja nije konstantan, već varira s dubinom. Kod ovih metoda profil tla dijeli se u više rezervoara s volumenom koji je proporcionalan dužini miješanja. Računa se i s promjenljivim vrijednostima za f . Ove se promjene računaju uzimajući male priraste vremena ili volumena dodane vode.

LITERATURA:

1. ***: Studija izvodljivosti AIK »Dujailah«, Poljoprivredni kombinat »Beograd«, 1975.
2. ***: Glavni projekti I faze AIK »Dujailah«, PKB i kooperanti, Beograd, 1976—1978.
3. *Dieleman, P. J.* (1977): Reclamation of salt affected soils in Iraq, ILRI, Publication 11, Wageningen.
4. *Eggelsmann, R.* (1981): Dränanleitung, Paul Parey V., Hamburg — Berlin.
5. *Gereš, D.* (1985. i 1986): Predavanja na seminaru I hidrotehničkih melioracija, Zagreb.
6. *Kessler, J.* (1983): Field Drainage criteria, ILRI- Publication 16, vol. II, Wageningen.
7. *Molen, van der, W. H.* (1983): Salt balance and leaching requirement, ILRI, Publication 16, vol. II, Wageningen.
8. *Racz, Z.* (1980. i 1981): Meliorativna pedologija I i II, Zagreb.
9. *Richards, L. A.* (1954): Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, Agriculture handbook 69, USDA, Washington D. C.
10. *Srebrenović, D. i Z.* (1981): Podzemno odvodnjavanje, Zagreb.
11. *Verhoeven, B.* (1979): Salty soils, ILRI, Publication 16, vol. I, Wageningen.

DODATNE MJERE U FUNKCIJI CIJEVNE DRENAŽE

Dr BRANKO ĐAKOVIĆ, dipl. ing. agr.

Uspjeh sniženja razine podzemne vode kod hidromorfnih tala s visokom podzemnom vodom, poznat je i potvrđen u mnogo slučajeva. To, međutim, nije slučaj kod tala sa stagnirajućom površinskom vodom koju karakterizira potpovršinsko tečenje, prema francuskim stručnjacima, Concaret, 1981. (4). Razlog za to je geološki ili genetski zbijeni sloj u podoranici koji se odlikuje nestrukturnošću. U takva tla ubrajaju se pseudogleji ponajčešće i svi varijeteti i prelazni oblici prema amfigleju i semigleju, koja su prirodno malo plodna staništa pašnjaka, šikara ili povremenih oranica.

Privođenje takvih tala kulturi zahtijeva opsežne meliorativne mjere, gdje se u današnjim uvjetima intenzivne poljoprivredne proizvodnje primjenjuje podzemna cijevna drenaža kao temelj detaljne odvodnje, a potpuni efekt traži još primjenu **dodatnih, ili sekundarnih mjera**. Dijelimo ih prema načinu izvođenja u:

— **podrivanje**, gdje se s pomoću ukočenog ili vibrirajućeg radnog tijela podrivača želi razrahliti i rastresti zbijene slojeve u podoranici koja je obično praškastog ili ilovastog teksturnog sastava, i stvoriti velik broj makropora kroz koje će se moći infiltrirati suvišna oborinska voda koja inače stagnira na površini i zadržava se to duže što je reljef ravniji,

— **krtičenje**, druga je dodatna mjera, koja se izvodi pretežno na težim, glinastim, ili ilovasto-glinastim tlima, stvaranjem krtičnih rovova s pomoću zaobljene kugle koja se provlači kroz tlo na dubini od 50—70 cm i ostavlja iza sebe bescijevni prolaz, tzv. krtični rov, kroz koji se oborinska voda također može slobodno kretati i, sijekuci na svom putu zatvoreni kolektor u koji je obavezno ugrađen šljunak kao porozni filter materijal, oborinska voda se procijedi kroz šljunak do drena i drenom evakuira u prirodni recipijent ili vodotok.

Budući da je kod nas poznatija i više se upotrebljava kao dodatna mjera podrivanje, negoli krtičenje, a razlog je nedostatak odgovarajuće mehanizacije (krtični plug, ili engleski krtični plug s lebdećom daskom dužine 4 m koja služi za ublažavanje prirodnih neravnosti površine). Drugi je razlog nedovoljno iskustvo u izvođenju ove mjere i manji procenat glinenih tala općenito u pedološkom inventaru poljoprivrednih eksploatirajućih površina.

1. PODRIVANJE

Podrivanje je zapravo mjera kojom se rahli i lomi onaj sloj podoranice čija debljina je oko 30—40 cm ispod površine tla. Oruđe za ovu operaciju su različite vrste podrivača.



Slika 1. Podrivač s dva radna tijela

Duboko oranje nikada se ne smatra, niti obavlja ulogu podrivanja, jer im je funkcija različita. Podrivanje se, dakle, obavlja kod tala koja su:

— geološki zbita, tj. postojanje zbijenog sloja tla koji je nastao različitim geološkim procesima (trošenje, sedimentacija, itd.), ili

— genetski zbita, tj. uslijed pedogenetskog procesa ispiranja i premještanja glinenih i koloidnih čestica iz površinskog A-horizonta u niže slojeve podoranice. Pretežno se radi o praškasto-ilovastim, ili ilovasto-glinastim tlima. Debljina i pojava zbijenog horizonta nije ničim posebno uvjetovana, te je potrebno, od slučaja do slučaja, opažanjem utvrditi ove elemente.

Cilj ove operacije je učiniti podoranicu manje zbitom i poboljšati kretanje vode i zraka. Nakon izvedbe podrivanja opaža se dublje, obilnije i kvalitetnije zakorjenjavanje u podoranici, a što uzrokuje uspješniji rast kultura, za razliku od nepodrivanog tla, gdje je izvedena podzemna cijevna drenaža,

plitko zakorjenjavanje ostaje između drenova s »potpovršinskim stagniranjem« suvišne oborinske vode u oranici, a samo bujniji rast iznad drenskih rovova gdje je tlo rahlije i mogućnost rasta povoljnija.

Ovaj zahvat bitno je agronomskog karaktera i popraćen je promjenom hidrauličkog stanja, jer se smjer prvenstvenog tečenja vode snizio na dubinu podririvanja, te se tako povećava mogućnost stvaranja rezerve vlage u razrahljenom tlu.

Potrebno je ovdje upozoriti, ako nema prirodne drenaže ili podzemnog drenažnog sustava, da se podririvanje kao samostalna mjera ne preporuča, jer



Slika 2. Podrivač za industrijsko podririvanje (dubina 70—90 cm)

postoji opasnost gomilanja suvišne vode u podoraničnom sloju bez mogućnosti odstranjenja prirodnim ili umjetnim putem.

Strojevi koji se upotrebljavaju u tu svrhu mogu biti različitih dimenzija i jakosti: stoga se, na primjer, u francuskoj poljoprivrednoj praksi govori o »industrijskom« (dubina zahvata 70—90 cm) i »farmerskom« podrivanju (dubina 40—60 cm).

Uspjeh ovog zahvata ovisi o više faktora, a najviše treba paziti na stanje vlažnosti u času izvođenja operacije.

U sjevernim zemljama Evrope, Engleskoj, Skandinaviji i sjevernoj Njemačkoj (9), rijetko u kojoj godini tla budu podesna za podrivanje, jer im je vlažnost prilično visoka zbog humidne oceanske klime, za razliku od južnijih krajeva Evrope, pa i naše zemlje, gdje se ta mjera može uspješno obaviti, jer se tla obično toliko osuše u ljetnom periodu da se postižu optimalni uvjeti za podrivanje.

U našim krajevima može se efikasno izvoditi ta mjera u sušnim ljetnim mjesecima a ponekad i u jesen, kad je ona suha i tla isušena i ispucana površinski.

Naša dosadašnja iskustva i opažanja pokazuju da, gdje su se ona izvela stručno i u pravo vrijeme, nije izostao rezultat i drenažni sustav je funkcionirao besprijekorno. Taj termin obično je vrijeme poslije žetve žitarica ili jarina općenito, i zato je preporuka na novoosvojenim površinama, gdje su nužne dodatne mjere, u prvim godinama eksploatacije, paziti da su kulture jarine, kako bi se moglo obaviti podrivanje u optimalnim uvjetima i uspješno. Tada se može razrahliti masa tla do potrebne dubine, odnosno razbiti zbijeni sloj i stvoriti znatan prostor međusobno povezanih pukotina. Vidi sl. 3.



Slika 3. Sistem velikih pukotina nakon izvedbe podrivanja

Podrivanje se razlikuje od krtičenja rastresanjem većeg volumena tla između noževa podrivača, kao i odsutnošću pravih rovova.

Naša pseudoglejna, livadska (semiglejna) i glejna tla gotovo su uvijek zbita u podoranici, i zato se u svakom projektu melioracija takvih tala preporuča primjena dodatnih mjera, kako bi se postigao pravi efekat detaljne odvodnje takvih površina podzemnom cijevnom drenažom.

Nedostatak oruđa za izvođenje ove mjere prvenstveni je razlog što se ta mjera ne izvodi u punom intenzitetu, a s druge strane, nedovoljna praksa i iskustvo, u širokoj praksi.

Pri samoj operaciji treba uočiti nekoliko činjenica, jer uspjeh podriivanja ovisi o:

- dovoljnoj dubini operacije, kako bi se dosegao onaj sloj podoranice gdje se pokazuje mehanička zapreka prodiranju korijenja, vode i zraka,

- mehaničkoj karakteristici tog sloja tla, tako da bi upotrijebljeni stroj mogao uspješno obaviti posao rastresanja.

Saznanja o svojstvima tla postižu se otvaranjem i opažanjem profila tla, posebno njegovih fizikalnih komponenti i sastava strukture.

Što se tiče dubine podriivanja razlikujemo:

- minimalni nivo koji označuje prosječnu dubinu zakorjenjavanja,

- maksimalni nivo označuje onaj volumen tla koji želimo učiniti korisnim i prikladnim za korijenov sustav, pazeći na sposobnost i jakost stroja, te dubinu drenažnog sustava,

- za poništavanje pluznog tabana ili svoda nužno je obaviti opažanja i otvaranja profila na više točaka parcele radi ustanovljenja debljine zapreke.

Ovoj operaciji treba, dakle, prethoditi terensko opažanje tla koje se sastoji u otvaranju manjeg ili većeg broja profila, kako bi se ustanovila dubina na kojoj se pojavljuje smetnja.

Rahljenje i mehanička svojstva

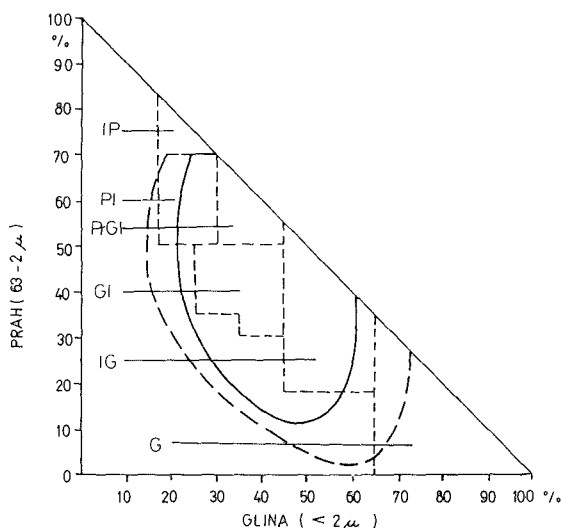
Poznato je da horizonti s »priljubljenom« arhitekturom (Concaret, 1981), tj. sa strukturnim agregatima oštih bridova, gdje strukturni elementi usko prijanjaju jedni uz druge, ne ostavljaju slobodni međuprostor i zadržavaju tijekom čitave godine veliku koheziju strukturnih elemenata. Ovo svojstvo vezano je za »sjećanje« na pritiske koje su takva tla podnijela u geološkoj prošlosti, pa smanjuju svoj potencijal bubrenja i u slučaju prostornog rasterećenja.

Tla takva sastava, odnosno horizonti, vrlo su prikladni za izvedbu podriivanja a prepoznaje ih se izravnim opažanjem: uska povezanost strukturnih elemenata i gotovo potpuna odsutnost zakorjenjavanja biljaka.

Za razliku od ovakvih slučajeva, horizonti koji pokazuju trajno određeni stupanj plasticiteta, odnosno vlažnosti, ne mogu se podrivati ni u kojem slučaju, jer bi pritisci na strukturne elemente doveli do više-manje reverzibilnih deformacija, a ne do očekivane dislokacije, i podrivanje bi u tom slučaju ličilo više na loše izvedeno krtičenje s oblikovanjem plastičnih prolaza, nesuvislo povezanih međusobno. Razumljivo, ne može se očekivati evakuacija suvišnih oborinskih voda na taj način.

Ovisnost o teksturnom sastavu

U praksi se pokazalo da je uspjeh podriivanja povezan s određenim odnosom teksturnih frakcija. Istraživanja koja su obavili stručnjaci u Bavarskoj 1976. (17) dovela su do saznanja o odnosu pojedinih frakcija, a praktički je to prikazano na grafikonu br. 1, gdje se vidi područje najpovoljnijeg djelovanja ove mjere na poboljšanje hidrauličkih svojstava takvih tala.



TEKSTURNE OZNAKE :

- IP - ilovasti prah
- PI - praškasta ilovača
- PGI - praškasto glinasta ilovača
- GI - glinovita ilovača
- IG - ilovasta glina
- G - glina

— GLAVNO PODRUČJE PODRIVANJA

- - - GRANIČNO PODRUČJE PODRIVANJA

Grafikon br. 1.

Kad se, dakle, treba odlučiti koju dodatnu mjeru primijeniti za poboljšanje hidrauličke provodljivosti dreniranog tla, nužno je poznavati njegov teksturni sastav. Jedno je sigurno: što su tla s većim sadržajem glinenih čestica i plastična, takve površine ne bi dale dobar efekt podriivanja. Na njima će se pokazati primjena krtičenja daleko uspješnijom. O tome će biti govora kasnije.

Strojevi za rahljenje tla

Najjednostavnije oruđe koje se može upotrijebiti za podrivanje jest podriivač koji se sastoji od noža koji para ili reže tlo, nadiže ga, i ostavlja iza sebe vidljivi trag — nadignutu površinu za 15—20 cm od okolnog tla, a u dubini velike makropukotine. U praksi se pokazala potreba kako bi pri ovoj operaciji tlo ostalo što jednoličnije rastreseno u čitavoj dubini zahvata radnog tijela. Razvoj i praksa doveli su u tom smislu do konstrukcije vibrirajućih radnih tijela koja stvarno vrlo temeljito rastresaju i nadižu tlo. Međutim, takvi podriivači troše mnogo više energije i brzo se troše.

Daljnji napredak je dodavanje »krila« na samo radno tijelo noža, kako bi širina zahvata bila što veća i raspucavanje se ostvarilo u obliku velikog slova V.

Novijeg su datuma saznanja kako se posebnim priključcima sprijeda, i u trokutastom rasporedu radnih tijela i različite dubine zahvata, može još više povećati efekt rahljenja, te se danas proizvode tzv. multipni podriivači, Spoor, 1978. (13), koji su, u stvari, krilni podriivači s nekoliko plitko položenih noževa naprijed, nejednake su dužine i na taj način postepeno rahle najprije površinski sloj, a zatim podoranični. Prednost tog podriivača je manja potrošnja goriva, jer se otpor prodiranju postepeno povećava sve do željene dubine.

Podrivanje kao agronomska operacija

Podrivanje kao sekundarna, ili dodatna mjera, u cilju poboljšanja vodo-propusnosti tla u sklopu s podzemnom cijevnom drenažom, obično se obavlja na razmak od 1 m a dubina zahvata maksimalno 60—70 cm (industrijsko podrivanje) i 40—60 cm (farmersko podrivanje). Drenovi su najčešće razmaka do 30 m, ili 15 do 25 m.

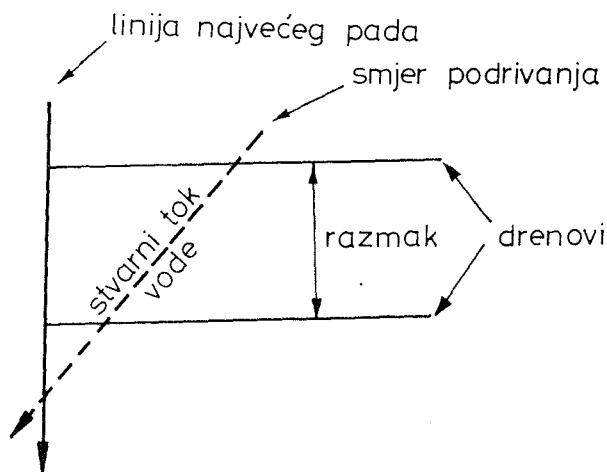
Mora se naglasiti kako je rahljenje tla putem podrivanja agronomska operacija, ali je sigurno da će poremetnja strukture imati hidrauličke posljedice na tečenje i zadržavanje vode u tlu.

Podrivanje i razmak drenova

Operacijom podrivanja, rekli smo, dolazi do poboljšanja vodopropusnosti tla. Veličina ovog poboljšanja ne može se kvantificirati prema sadašnjoj razini našeg znanja, zbog sudjelovanja mnogih faktora, a naročito u vezi sa strukturom tla, dok ostali ostaju ovisni o više ili manje kontroliranim elementima, kao što su klimatski uvjeti, obrada tla, agrotehničke mjere, zakorjenjivanje kultura itd.

Tok tečenja vode u razrahljenom tlu ovisi o smjeru podrivanja, s obzirom na pravac najvećeg pada. Prikaz pravog toka suvišnih voda u podrivanom tlu predočuje grafikon br. 2.

Operaciju podrivanja ne treba direktno povezivati s razmacima cijevne drenaže, jer nema podloge povećavati razmak drenova na račun sekundarne mjere koju se namjerava izvesti. Radi se samo o ubrzanju kretanja suvišne vode u masi tla kako bi se što prije odstranila s drenirane parcele.



Grafikon br. 2. Stvarni tok vode kod podrivanja

Rezultati pokusa s podrivanjem

Za ilustraciju navode se rezultati pokusa, Concaret, 1981. (4) kako bi se mogla ocijeniti važnost rastresanja podraničnog sloja, kad je on zbijen i uvjeti zakorjenjavanja postanu limitirajući faktor uroda kultura.

Tabela 1.

POKUSNI REZULTATI PODRIVANJA NA OBJEKTU VIREY

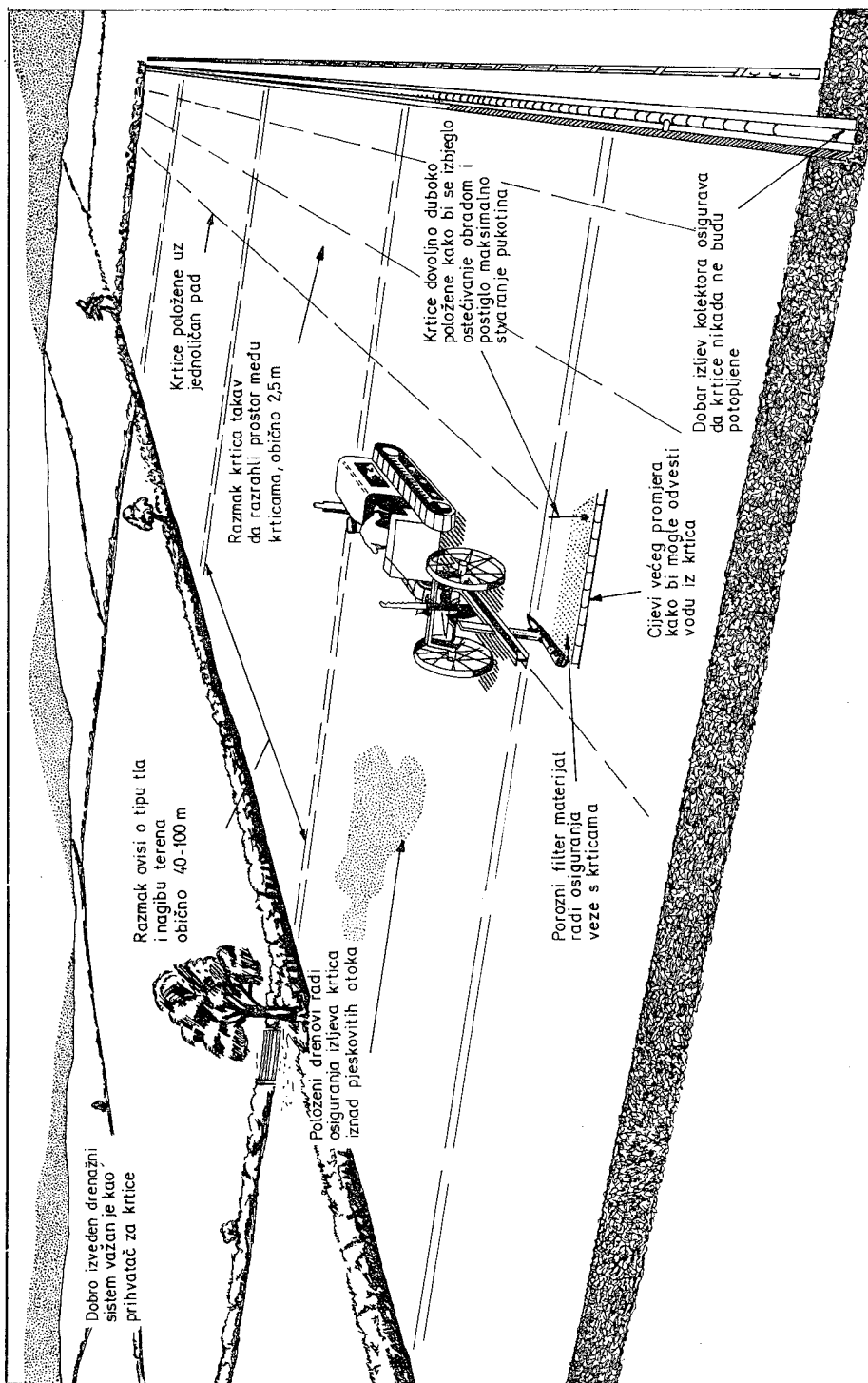
Godina	Kultura	Oborine u mm	Prosječni % 1931—1960.	Urod kultura označen indeksom*	
				Prosjek parcele nepodrivano	Prosjek parcele podrivano
1977.	pšenica	1.048	150	113	140
1978.	pšenica	672	94	103	104
1979.	ječam	621	87	108	111

* Najmanji dobiveni prirod na parceli označen je indeksom 100, a prinosi ostalih parcela s odgovarajućim vrijednostima prema toj bazi indeksa 100.

Ovi rezultati jasno pokazuju prednost podrivanih parcela, jer se odražava u povećanju uroda uzgajanih kultura.

2. KRTIČENJE

Operacija kojom se stvaraju krtačni rovovi kružnog oblika, slična rovu krtice, izvlače se na razmak 2,5—3,0 m i dubinu 50—60 cm, Thomasson, 1980. (15). Zemlja u kojoj se započelo tom mjerom i gdje se najviše izvodi i ima najviše iskustva jest Engleska.



Grafikon br. 3. Izvođenje krtičenja

Ova dodatna mjera poznata je i u ostalim zemljama, pa je tako i u našoj zemlji primijenjen taj postupak uspješno u dolini Save, Pušić—Đaković, 1971. (10), Vlahinić, 1972. cit. u (6) i Đaković, 1975. (6). Krtičenje je povoljno djelovalo na hidromorfne glinenim tlima.

Na pokusnom objektu »Jasinje« kod Slavenskog Broda, izvedeno je krtičenje u kombinaciji s podzemnom cijevnom drenažom s razmakom drenova $R = 50$ m, a krtice su izvedene u razmaku od 1 m i dubinu 0,8 m; Đaković, 1975. (6).

Ovu operaciju izveo je krtični plug s traktorom gusjeničarom. Krtice su izvedene čeličnom kuglom promjera 75 mm, tako da su okomito položene na smjer podzemne cijevne drenaže.

Način kako treba izvoditi ovu operaciju prikazuje grafikon br. 3.

Naglašava se da je ova operacija uvijek povezana s podzemnom cijevnom drenažom većeg promjera cijevi i uz obavezno punjenje drenskog rova šljunkom kao poroznim filter materijalom, kako bi se osigurao slobodni tok suvišne vode, sabrane krticama do drenske cijevi i njom u prirodni vodotok.

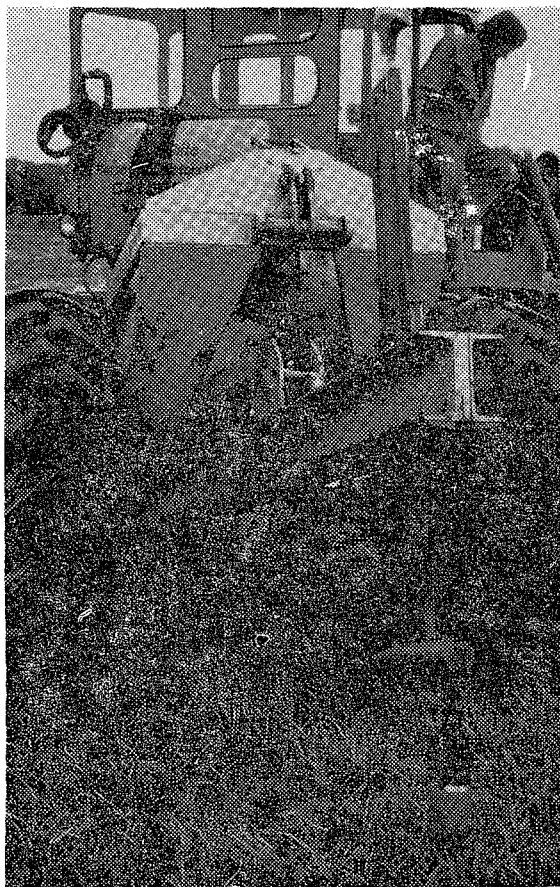
Redoslijed radova: najprije se polažu drenske cijevi promjera 80—100 mm (npr. u istočnoj Engleskoj, koristi se promjer 75 mm s razmakom $R = 30$ do 40 m). Dubina drenova je 0,9 m a drenski rov se puni šljunkom ili drugim propusnim filtarskim materijalom. Taj porozni materijal ima veliku hidrauličku propusnost, Trafford, 1975. (16) i oblikuje spoj između krtičnih rovova i cijevne drenaže. Krtice se izvlače krtičnim plugom, nakon što je drenski rov zasut. Na sličan način mogu se izvlačiti krtični rovovi i u budućnosti. Drenovi drenažnog sustava djeluju kao kolektori koji sabiru vodu iz krtičnih rovova. Čini se da na trajnost krtičnog rova utječe razmak drenova, jer što je dulji put toku vode kroz krtični rov, opasnost je ako krtični rov naiđe na svom putu na relativno nestabilan dio tla, kao što su pješčani »džepovi«, ili općenito, slojevi tla lakšeg teksturnog sastava i neplastični.

U Engleskoj postoji mnogo praktičnog iskustva s izvođenjem ove mjere, jer se odavno provodi i efikasno obavlja odvodnja poljoprivrednih površina. Specifičnost je tzv. »engleski krtični plug« s dugačkom gredom od 4 m koja klizi po tlu. Vidi sl. 4.

Krtičenje je uvijek vezano s podzemnom cijevnom drenažom i upotrebom šljunka kao poroznog filter materijala. Pokušaji izvedbe krtične drenaže bez sustava cijevne drenaže pokazali su se neefikasni i kratkog trajanja, jer brzo dolazi do urušavanja krtičnih drenova i njihova začepljenja.

Krtičenje, kao sekundarna mjera, općenito se primjenjuje gdje je sastav tla teži, i u tom smislu postoje neke granice sadržaja gline koja je mjerdavna za uspješno izvođenje ove mjere.

Stručnjaci u Bavarskoj, 1976. (17), dali su raspone sadržaja gline prema teksturnom sastavu koji određuje podesnost za krtičenje. Čini se, međutim, da pored samog sadržaja glinenih čestica, ima isto tako utjecaja na trajnost izvedenih bescijevnih krtičnih rovova i kemijski sastav gline (karbonatne gline daju bolje rezultate nego nekarbonatne), zatim plasticitet tla i bubrenje gline daju određeni karakter trajnosti te mjere.



Slika 4. Engleski krtični plug

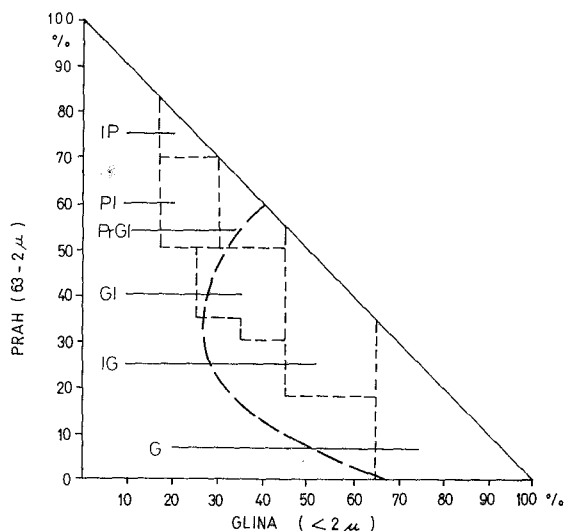
Grafikon podesnosti tla za krtičenje prema sadržaju glinenih čestica prikazuje grafikon br. 4.

Općenito se postavlja kao granični sadržaj gline za tlo koje se želi krtičiti 35 %.

Uvjeti izvođenja

Krtične rove uvijek treba izvoditi prema prirodnom padu terena, kako bi voda mogla gravitacijom teći krticom do spoja s drenskom cijevi koja će je dalje sigurno transportirati do prirodnog recipijenta. Na terenu s velikim neravnim površinama, krtičenje se neće moći lako izvoditi, a da ne dođe do suprotnog pada krtica a, na taj način, i do nefunkcionalnosti čitavog sustava.

Krtičenje, dakle, treba izvoditi u povoljnim uvjetima, a to znači u prosušenu tlu, kako bi tlo bilo dovoljno čvrsto da nosi teret traktora koji izvodi krtičenje, a opet dovoljno plastično, kako bi nastale krtice bile trajne. U Engleskoj se preporuča izvođenje ove mjere u proljeće, nakon što se površinski sloj tla osušio, a ne u jesen.



TEKSTURNE OZNAKE :

- IP- ilovasti prah
- PI- praškasta ilovača
- PGI- praškasto glinasta ilovača
- GI - glinasta ilovača
- IG- ilovasta glina
- G- glina

Grafikon br. 4. Područje podesnosti za krtičenje

Razmak krtica ima relativnu vrijednost, ako se operacija ponavlja. Obično se krtice izvedu na razmak od 2 do 3 m. Na taj način osigurava se uspješna odvodnja parcele. Ipak, s vremenom dolazi do deformacija krtica i potreba da se one ponovo izvedu. Opažanjem se to evidentira i općenito se smatra rok od 3 godine kao minimalno trajanje, a 15 godina kao maksimalno trajanje krtičenja. Na dugovječnost krtica utječu strukturalna svojstva tla, uvjeti izvedbe, klimatske okolnosti područja, kao i agrotehničke mjere koje se primjenjuju.

Budući da je dubina krtica do 0,7 m, postoji opasnost urušavanja kretanjem teških strojeva u vlažnijim danima. Funkcionalnost krtica može isto tako oštetiti invazija životinja rovilica.

Prema prvotnoj zamisli, krtičenje se smatralo u Engleskoj jeftinim načinom odvodnje, jer su se podzemne cijevi postavljale na razmak od 160 do 200 m. Kasnije se to mišljenje ispravilo i danas, krtičenje se smatra dodatnom, sekundarnom mjerom radi popravke vodopropusnosti i olakšanja funkcije temeljnog drenskog sustava. U tom smislu i mi tretiramo krtičenje kao dodatnu mjeru u sklopu s podzemnom cijevnom drenažom, odnosno kombiniranom drenažom, Đaković, 1976. (7).

LITERATURA:

1. *Bailey, A. D., Trafford, B. D.*: Drainage construction techniques in England and Wales. Tenth Congress ICID. Athens, 1980.
2. *Bullock, P., Newman, A. C. D., Thomasson, A. J.*: Porosity aspects of the regeneration of soil structure after compaction, *Soil Till. Res.*, 5 (1985), 325—341.
3. *Concaret, J.*: L'Eclatement profond du sol par sous-solage. La revue »Drainage« No. 19, 1979.
4. *Concaret, J.*: Drainage agricole. Dijon, 1981, str. 509.
5. *Damour, L., Perrey, C.*: Compte-rendu de mission en Yougoslavie, 1980. (rukopis).
6. *Đaković, B.*: Beitrag zu der Erfahrung mit der rohrlosen Dränung in Jugoslawien. *Z. Kulturtechn. Flurbew.* 16, 25—29 (1975), Hamburg.
7. *Đaković, B.*: Metoda trostepene melioracije. *Bilten Poljodobra* 13/76, Zagreb.
8. *Duthil, J.*: Elements d'Ecologie et d'Agronomie. T. II. Exploitation et amélioration du milieu. Paris, 1973.
9. *Eggelsmann, R.*: Dränanleitung. Hamburg, 1981.
10. *Pušić, B., Đaković, B.*: Pokusna stanica za odvodnju »Jasinje« i preliminarni rezultati. Str. 171—177. Zagreb, 1971.
11. *Racz, Z.*: Meliorativna pedologija I—II. Zagreb, 1981.
12. *Schulte-Karring, H.*: Die meliorative Bodenbewirtschaftung. Ahrweiler: R. Wahrlich, 1970.
13. *Spoor, G., Godwin, R. J.*: An experimental investigation into the deep loosening by rigid tines. *J. agric. Engng. Res.* 23, 243—258, 1978.
14. *Thomasson, A. J.*: Towards an objective classification of soil structure. *J. Soil Sci.* 29 (1) 38—46, 1978.
15. *Thomasson, A. A., Spoor, G.*: Drenaža u Velikoj Britaniji. *Bil. Poljodobra* 14/80.
16. *Trafford, B. D., Massey, W.*: A design philosophy for heavy soils. *Techn. Bull.* No. 75/5. Cambridge, 1975.
17. ***: Merkblatt zur kombinierten Dränung. Bearbeit. Bayr. Landstalt f. Bodenkultur u. Pflanzenbau. München, 1976.

SADRŽAJ

	Strana
PREDGOVOR	5
Prof. dr ZORKO KOS, dipl. ing. građ. i EDO KOS, dipl. ing. građ. ZDRUŽENO DIMENZIONIRANJE OSNOVNE I DETALJNE OTVORENE ODVODNE MREŽE	7
Mr KREŠIMIR ŽIC, dipl. ing. građ. HIDRAULIKA OTVORENIH KANALA — II dio	29
Mr ZLATKO SREBRENOVIĆ, dipl. ing. kult. tehn. i dipl. ing. geod. TEORIJE DOTOKA VODE U DREN	61
Dr JOSIP MARUŠIĆ, dipl. ing. građ. POTREBA I ZNAČENJE IZVEDBE SUSTAVA PODZEMNOG ODVOD- NJAVANJA	101
Dr JOSIP MARUŠIĆ, dipl. ing. građ. i NEVEN KUSPILIĆ, dipl. ing. građ. UTJECAJ PROJEKTNIH ELEMENATA NA TROŠKOVE IZVEDBE MELIORACIJSKOG SUSTAVA PODZEMNOG ODVODNJAVANJA	119
Prof. dr ZORKO KOS, dipl. ing. građ. i dr JOSIP MARUŠIĆ, dipl. ing. građ. TIPSKJE GRAĐEVINE I MATERIJALI DRENSKIH MREŽA	147
Prof. dr FRANE TOMIĆ, dipl. ing. agr. SISTEMI DETALJNE ODVODNJE ZA REGULIRANJE SUVIŠNIH VODA U TLU	169
Prof. dr FRANE TOMIĆ, dipl. ing. agr. DETALJNA ODVODNJA U OVISNOSTI O VRSTI TLA	223
Prof. dr FRANE TOMIĆ, dipl. ing. agr. MELIORACIJE SLANIH I ALKALNIH TALA	239
MIRKO ČOVIĆ, dipl. ing. geod. i ing. građ. PRIKAZ OSNOVNE I DETALJNE ODVODNJE U HIDROMELIORACIO- NOM SISTEMU ČRNEC-POLJE	255
DRAGUTIN GEREŠ, dipl. ing. građ. DRENAŽA ZASLANJENIH TALA U ARIDNIM PODRUČJIMA	279
Dr BRANKO ĐAKOVIĆ, dipl. ing. agr. DODATNE MJERE U FUNKCIJI CIJEVNE DRENAŽE	311