

## METODE PODZEMNOG NATAPANJA VOĆNJAKA

Kod navodnjavanja voćnjaka ne primjenjujemo veliki broj metoda. Praksa se ograničuje na slijedeće :

- a) navodnjavanje iz brazda,
- b) preplavlivanjem malih lokava oko voćaka,
- c) kišenje,
- d) a bojažljivo i sa sustezanjem se primjenjuje i subirigacija, tj. podzemno navodnjavanje.

Svaka od ovih metoda ima svoje prednosti i svoje mane. Metode nadzemnih irigacija (tj. brazde, preplavlivanja i kišenje) imaju znatan potrošak vode, jer se samo dio natapne vode korisno iskorišćuje za transpiraciju biljaka.

Što se tiče subirigacije pomoću podzemnih drenova, mnogi autori (npr. Israelsen) ističu samo njene negativne strane, pa čak navode da ju obično propagiraju lica koja ne poznaju ostale metode, odnosno lica koja precjenjuju korisnost subirigacije,

Ipak subirigacija ima jedno svojstvo koje bi kraj svih mana ove metode moglo postati toliko odlučno u budućnosti, da će možda trebati poduzeti sve, kako bi se istražili uvjeti i načini da se ova vrsta navodnjavanja u povoljnim okolnostima ipak primijeni.

Radi se, naime, o *štednji s natapnom vodom*.

Učinimo li vodoprivrednu analizu i pokušamo li sastaviti vodoprivrednu osnovu sa gledišta navodnjavanja, malo ima predjela, gdje se nećemo sukobiti s problemom deficita vodnih količina koje nam stoje na raspoloženju za natapanje. Obično je jednostavno rješavati zadatke irigacije dok su u pitanju samo mali dijelovi obradivih površina, ali stvar postaje gotovo nerješiva ako pokušamo naknaditi deficite i na većim dijelovima gospodarskih površina.

*Kišenje npr.* uz sve prednosti, jedva možemo ubrojiti među metode štedljivog utroška vode. Kod ove metode prirodne oborine samo prividno oponašamo, jer prirodna kiša pada čnda kada je relativna vlaga zraka 100%, dok mi kišimo onda kad je relativna vlaga malena. Dio vode nam se ishlapi još kroz štrcanje kroz zrak. Ima npr. krajeva na zemlji kod kojih opažamo da ovakav umjetni kišni mraz niti ne stigne na tlo. To naravno nije slučaj kod nas. Nadalje sva ona voda, koja se zadrži na površinskim dijelovima biljke ishlapi, jednako tako ishlapi i dio vode s površine tla, kao i dio one vode koja u tlo ne dopre dovoljno duboko, tj. do korijena. Korisni procenat iskorišćenja natapne vode veoma varira od slučaja do slučaja a obično je dosta nepovoljan.

*Brazde i preplavlivanje lokvama*, redovno imaju još slabiji stepen iskorišćenja, budući da u nepovoljnim prilikama mogu gubici biti još veći nego kod kišenja. Trebamo se dakle ozbiljnije pozabaviti problemom da razvijemo takvu metodu, kojom ćemo do krajnje moguće granice štedjeti natopnu vodu. U budućnosti nećemo vjerojatno smjeti ustuknuti ni pred znatnijim investicijama, jer su one zapravo i veoma relativne. U socijalističkoj ekonomici one se mogu rješavati i smanjivanjem troškova putem oprosta od javnih podavanja za ovakve industrije namijenjene poljoprivredi.

Ne bi se smjela zanemariti ni činjenica da jedna trećina teritorija NR Hrvatske ima, usprkos znatnih godišnjih oborina, teški deficit vode za vrijeme vegetativnog perioda. Čitavo područje našeg krša, geološki je formirano kao rešet, koje pruža male praktične mogućnosti retencionim akumulacijama za natapanje, budući da najveći dio oborina podzemno otiče u more nepoznatim nam putevima i rijetko nam je dostupan za iskorištenje.

Iz izloženog je vidljivo, da ćemo se ubrzo naći pred problemom štednje svake kapljice vode. Tada nam možda neće biti ni preskupo ni nezgodne metode subiriga-

cije, samo ako nam što bolje iskorišćuju natapnu vodu. Prema pokusima, koji su izvršeni u Francuskoj, SAD i u SSSR-u, uspjele je potrošak vode kod nekih subirigacionih metoda svesti na jednu četvrtinu do jedne petine od potroška kod metode sa brazdama, a još više u odnosu na metode kišenja.

To su indikatori koje ne bismo smjeli zaboraviti.

Stoga je Zavod za melioracije Poljoprivrednog fakulteta u Zagrebu, smatrajući to problemom budućnosti za naše prilike, počeo proučavati mogućnost primjene subirigacije kod nas.

Kako je poznato, imamo uglavnom dva načina subirigacije pomoću podzemnih drenova :

- a) pod malim pritiskom,
- b) infiltracijom bez pritiska.

Nadalje imamo sisteme, kod kojih natapnu vodu podzemnim cijevima dovodimo u blizinu korijena pojedine vočke, kao i metode u kojima se navodnjavanjem podiže razina podzemnih voda. Kod ove posljednje metode irigira se u vrijeme kad imamo obilje vode, tj. obično izvan vegetacionih perioda. Ovako uzdignute razine podzemnih voda koristimo onda u deficitarnom razdoblju za vegetaciju.

Metode pod pritiskom, za sada, baš ne obećavaju mnogo, jer one odviše vlaže tlo, koje se tada zgušćuje, razara mu se struktura i opada propustivost za vodu i zrak. Ova metoda mogla bi prema tome doći u obzir kod spomenutog načina podizanja razina podzemnih voda.

Infiltracioni sistemi predloženi su u raznim varijantama po Jenertu, Kornevu, Rossiu, Bordasu, Mathieu i drugim autorima.

Obično se uzimaju porozne betonske ili glinene cijevi, spojene na kolčak sa brtvenjem. Na početku je bilo mnogo teškoća da se izvedu dovoljno čvrste a ipak porozne tanke cijevi, no danas izvedba pjenobetonskih i pjenopečenih glinenih cijevi zahtijevanog poroziteta ne predstavlja nikakvu tehničku zapreku. Moguće je i precizno postići zadane stepene poroznosti tim više, što nam je za svrhe subirigacije dovoljno da se poroznost ovakvih cijevi mjeri u procentima povećanja težine kad ih saturiramo s vodom. Za praksu se uzima povećanje težine od 18 do 27%. U poroznim cijevima stoji voda na početku pod neznatnim tlakom od 1/100 atmosfere, koji je pretlak potreban za bolje gibanje vode. Sama voda iz cijevi difundira kroz porozne stijenke, a stepen difuzije ovisan je o potencijalu vlažnosti zemlje u okolici cijevi.

Prema Gardneru potencijal vlažnosti je (u ergima) jednak :

$$P = \frac{e}{w} + b$$

gdje su  $e$  i  $b$  konstante ovisne o tlu, a  $w$  je vlažnost u procentima težine suhoga tla.

Kod subirigacije vlažnost opada s udaljenosti od izvora vlaženja, a iz propusnih cijevi difundira samo toliko vode, koliko se troši na širenje kapilarnog vlaženja i na potrošak biljaka.

Ova metoda ima neke prednosti npr. :

- 1) isparavanje sa zemljišta je neznatno;
- 2) razvitak korova je otežan, pa je nepotrebno plijevljenje;
- 3) optimalna vlaga se može postići u težištu korijena, a razmak drenova može se podesiti tako, da u međuprostoru bude optimalna vlažnost;
- 4) ne kvari se struktura tla;
- 5) vlažnost je redovno konstantna i za korijen optimalna;
- 6) vodno-zračni režim je povoljan;
- 7) troškovi pogona su mali;
- 8) nema smetnji kod mehaničke obrade tla i
- 9) nije potrebno potpuho planiranje gospodarskih površina.

Nedostaci su ovi :

- 1) metoda se može upotrebiti samo kod plitkih propusnih slojeva, jer su inače gubici procjeđivanja u dubinu preveliki;

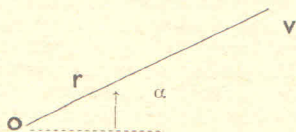
- 2) površinski sloj dobiva premalo vode, što nepovoljno djeluje na početne faze usjeva, pa se može upotrebiti samo onda ako kod početnih faza imamo dovoljnu vlagu na površini tla;
- 3) stalno istomjerno gibanje vode uzrokuje katkad zaslanjivanje gornjih slojeva;
- 4) navodnjavati se može samo s veoma čistom vodom kako ne bi nastalo prebrzo začepljivanje propusnih cijevi (katkad je čak potrebno i filtriranje vode);
- 5) načini proračunavanja dubine i razmaka drenova za subirigaciju još su nedovoljno i slabo proučeni.

Načinima proučavanja dubine i razmaka natapnih drenova bavili su se teoretski i praktički razni autori s više ili manje uspjeha. Kod nas npr. u posljednje vrijeme i dr Franković. Uspjesi ovakvih analiza bili su znatni, spoznaje su se bitno proširile, ali su se sve te izvedene formule bazirale na nekom idealiziranom tlu homogenog sastava od nezvanih okruglih čestica jednolikog promjera tzv. »prosječnog promjera«.

Ako se samo prisjetimo, koliko na kapilarne odnose utječe struktura tla, pa i kod jednakih granulometrijskih sastava, zatim koliki je utjecaj na kapilarne gibanja od inertnih voda u tlu te količine i rasporeda koloidalnih čestica, jasno je da ovakve formule ne mogu uvijek biti pouzdane.

Stoga ću izložiti pokušaj da se kapilarno gibanje u tlu prikaže kao funkcija onih veličina koje uzimaju u obzir strukturne, koloidalne i hidroskopske odnose u tlu, a koje možemo lagano i precizno odrediti poznatim pedološkim metodama.

Vodna čestica »V« u priloženoj skici giba se pod utjecajem gravitacije i pod utjecajem kapilarnih sila.



$$r = f(t)$$

$r$  duljina prodiranja kapilarne vode u smjeru  $\alpha$  za vrijeme  $t$  sek.

Prema Frankoviću diferencijalna jednačba tog gibanja je za idealno tlo:

$$\frac{d^2 r^2}{dt^2} + \frac{g}{k} \cdot \frac{dr^2}{dt} + r \cdot 2g \sin \alpha - \frac{8\beta}{\gamma \cdot D} = \phi$$

gdje znači:

$g$  = akceleracija sile teže 981 cm. sek<sup>-2</sup>

$k$  = koeficijent filtracije u cm. sek<sup>-1</sup>

$r$  = duljina prodiranja u cm

$\alpha$  = kut čestice vode u gibanju sa horizontalnom ravniinom

$\beta$  = konstanta kapilariteta u din. cm<sup>-1</sup>

$\gamma$  = gustoća vode u g. cm<sup>-3</sup>

$D$  = prosječni promjer čestica tla u cm

Za gibanje u horizontalnom smjeru je  $\alpha = \phi$  tj.

$$\frac{d^2 r^2}{dt^2} + \frac{g}{k} \cdot \frac{dr^2}{dt} - \frac{8\beta}{\gamma \cdot D} = \phi$$

Označimo li:

$$\frac{g}{k} = \phi \quad a \quad \frac{8\beta}{\gamma \cdot D} = b,$$

možemo pisati :

$$1) \quad \frac{d^2 r^2}{dt^2} + a \cdot \frac{dr^2}{dt} - b = \phi$$

$$r^2 = A + B \cdot e^{-a \cdot t} + C \cdot t$$

$$2) \quad \frac{dr^2}{dt} = -a \cdot B \cdot e^{-a \cdot t} + C$$

$$3) \quad \frac{d^2 r^2}{dt^2} = a^2 \cdot B \cdot e^{-a \cdot t}$$

Uvrstimo li 2 i 3 u 1, izlazi :

$$a^2 \cdot B \cdot e^{-a \cdot t} - a^2 \cdot B \cdot e^{-a \cdot t} + a \cdot C - b = \phi$$

$$C = \frac{b}{a}$$

Prema tome opći je integral ove diferencijalne jednačbe :

$$r^2 = A + B \cdot e^{-a \cdot t} + \frac{b}{a} \cdot t$$

Za  $t = \phi$   $r = \phi$ , pa izlazi :

$$\phi = A + B$$

$$B = -A, \quad \text{odnosno}$$

$$r^2 = A - A \cdot e^{-a \cdot t} + \frac{b}{a} \cdot t$$

$$r = \sqrt{A(1 - e^{-a \cdot t}) + \frac{b}{a} \cdot t}$$

$$\frac{dr}{dt} = \frac{A \cdot a \cdot e^{-a \cdot t} + \frac{b}{a}}{2 \sqrt{A(1 - e^{-a \cdot t}) + \frac{b}{a} \cdot t}}$$

za  $t = \phi$  tj. na početku, brzina širenja mora biti različita od nule, a to može biti samo ako je  $A \cdot a \cdot e^{-a \cdot t} + \frac{b}{a} = \phi$ , jer tada za brzinu dobijemo neodređeni oblik  $\frac{0}{0}$ , koji može imati konačnu vrijednost, tj.

$$A \cdot a + \frac{b}{a} = \phi \quad A = -\frac{b}{a^2}$$

Prema tome je konačni izraz za širenje kapilarne vode u horizontalnom smjeru :

$$r^2 = \frac{b}{a^2} (e^{-a \cdot t} - 1) + \frac{b}{a} \cdot t = \frac{b}{a^2} [e^{-a \cdot t} - 1 + a \cdot t]$$

Budući da je :

$$a = \frac{g}{k} = \frac{981}{k}$$

$$b = \frac{8 \cdot \beta}{\gamma \cdot D} = \frac{8 \cdot 74}{1 \cdot D} = \frac{592}{D}$$

Vrijednost  $a = \frac{981}{k}$  je vrlo veliki broj, pa sumandi  $(e - a \cdot t - 1)$  izčezavaju spram  $a \cdot t$  i možemo pisati :

$$r^2 = \frac{b}{a} \cdot t = \frac{592 \cdot k}{981 \cdot D} \cdot t$$

$$5) \quad r = 0,78 \sqrt{\frac{k}{D} \cdot t}$$

Po Poisseuilles-u, Navier-u, a prema obradi Frankovića, za tlo homogenog jednolikog sastava koje se sastoji od okruglih čestica promjera  $D$ , koeficijent filtracije bi iznosio :

$$k = (1725 + 58 \cdot T \cdot 0,38 \cdot T^2) \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{(p')^2}{1 - p} \cdot D^2 \text{ ccm} \cdot \text{sek}^{-1}$$

Gdje je :

$T$  temperatura u stupnjevima Celsiusa

$p$  procenat šupljinica u tlu

$p'$  procenat šupljinica umanjen za vezanu vodu.

Kod običnih temperatura kod kojih obično navodnjavamo je utjecaj  $T^2$  neznatan, pa bi za  $10^\circ \text{C}$  izraz u zagradi iznosio :

$$1725 + 58 \cdot 10 = 2305, \quad \text{odnosno}$$

$$\text{koeficijent: } \lambda = \frac{1725 + 58 T}{2305} = 0,7484 + 0,0257 T$$

Kod naravnog tla  $k$  procentu šupljinica  $p$  odgovara poljski vodeni kapacitet tla  $p_p$ , a  $k$  procentu  $p'$  odgovara poljski vodni kapacitet umanjen za internu vodu (točku venuća)  $p_v$ , pa koeficijent filtracije možemo pisati :

$$k = \frac{2305 \cdot \lambda \cdot 2 \cdot (p_p - p_v)^2}{3 \cdot (1 - p_p)} \cdot D^2$$

$$D = \frac{1}{39,2 \cdot (p_p - p_v)} \cdot \sqrt{\frac{(1 - p_p) \cdot k}{\lambda}}$$

Uvrstimo li to u jednadžbu 5) :

$$6) \quad r = 4,9 \sqrt{\frac{p_p - p_v}{1 - p_p} \cdot \sqrt{\lambda} \cdot \sqrt{k \cdot t}}$$

Gdje znači :

$p_p$  poljski vodni kapacitet u %

$p_v$  točka venuća u %

$\lambda = 0,7484 + 0,0257 \cdot T$ , gdje je T temperatura u stupnjevima Celsiusa

k = koeficijent filtracije u cm . sek<sup>-1</sup>

t = vrijeme kapilarnog širenja u sekundama

r = duljina kapilarnog širenja u horizontalnom smjeru u cm

Ovaj izraz preispitan je pokusima, pa veoma dobro zadovoljava do duljine 4—5 m kod teških tala, a 3—4 m kod propustljivijih zemljišta. Kod računa razmaka natapnih drenova trebalo bi uzeti u obzir još i intenzitet trošenja vode za transpiraciju, koji u ovom izrazu nije analiziran, i predmetom je posebne radnje koja će se publicirati.

Ovaj prilog rješavanju problema kapilarnog širenja i razmaka natapnih drenova mogao bi pridonijeti k rješenju problema subirigacije. Taj način navodnjavanja primjenjivat će se vjerojatno samo kod najintenzivnijih kultura i u povoljnim okolnostima, i to u povrtlarstvu i kod plantažnih voćnjaka. On iziskuje znatne investicije, visoko stručno projektiranje i isto takvu eksploataciju.

#### KRATKI SADRŽAJ

Veliki dio Jugoslavije, usprkos znatnih godišnjih oborina, ima velike deficite vode za vrijeme vegetativnih razdoblja. Kraški su tereni geološki formirani poput rešetke, pa oborinska voda nedohvatnim putevima nestaje u podzemlju. Stoga kod problema navodnjavanja intenzivnih kultura treba primijeniti takve metode koje do maksimuma štede vodu. Zato se pristupilo studiju metoda subirigiranja, kod kojih je utrošak vode najmanji.

U ovoj raspravi izložen je postupak izračunavanja kapilarnog širenja natapne vode iz drenova u horizontalnom smjeru, pa je izvedena formula 6), u kojoj je duljina širenja prikazana kao funkcija vremena, koeficijenta filtracije, poljskog vodnog kapaciteta i tačke venuća.

Izvršeni pokusi potvrdili su ispravnost ove formule, sve dok duljine širenja nisu prevelike, kako je prikazano u analizi.

#### DIE METHODEN DER UNTERGRUNDBEWÄSSERUNG VON OBSTGÄRTEN

Dr Vladimir Verner

Landwirtschaftliche fakultät, Zagreb

#### ZUSAMMENFASSUNG

Ein grosser Teil Jugoslawiens hat trotz bedeutender jährlicher Niederschlagsmengen einen grossen Mangel an Wasser während der Vegetationsperioden. Der Karst ist in seinem geologischen Aufbau wie ein Sieb durch das Wasser in unerreichbaren Tiefen verschwindet.

Bei intensiven Kulturen ist es darum empfehlenswert solche Bewässerungsverfahren anzuwenden, die bis zum äussersten mit dem Wasser haushalten. Man ist darum zum Studium der Verfahren bei Untergrundbewässerung übergegangen, bei denen der Wasserverbrauch am geringsten ist.

In dieser Abhandlung wurde ein Verfahren zur Berechnung von kapilärer Ausbreitung des Bewässerungswässers aus Drainröhren in horizontaler Richtung bearbeitet. In der Formel 6 (wurde die Länge der Ausbreitung als eine Funktion der Zeit, des Filtrationskoeffizienten der Feldwasserkapazität und des Verwelkungspunktes dargestellt).

Durch Versuche wurde die Gültigkeit der Formel nachgewiesen, bis zu jenen Längengrenzen die in der Analyse hervorgehoben sind.