

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

PRIRUČNIK
ZA HIDROTEHNIČKE MELIORACIJE

I KOLO
ODVODNJAVANJE

KNJIGA 2.
PODLOGE

Z A G R E B 1 9 8 4

DRUŠTVO ZA ODVODNJAVANJE I NAVODNJAVANJE HRVATSKE — ZAGREB

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

KNJIGA 2

Urednik:

Prof. dr ZORKO KOS, dipl. inž. građ.

Redakcijski odbor:

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

Glavni i odgovorni urednik:

Prof. dr FRANE TOMIĆ, dipl. inž. agr.

Izdavač:

DRUŠTVO ZA ODVODNJAVANJE I NAVODNJAVANJE HRVATSKE — ZAGREB
Proleterskih brigada 220

Izdavački savjet:

BRANKO BERGMAN, dipl. inž. (predsjednik); IVAN CIGIĆ, dipl. inž.; MLADEN
MARIĆ, dipl. inž.; MARTIN PILAR, dipl. inž.; TOMISLAV RAMLJAK, dipl. inž.;
JOSIP RECHNER, dipl. inž.; ROKO ŠKEGRO, dipl. inž.; ANTON ŠVARC, dipl. inž.;
dr JOSIP ZMAIĆ, dipl. inž.

Recenzenti:

MARTIN PILAR, dipl. inž. građ.
prof. dr FRANE TOMIĆ, dipl. inž. agr.
RUDOLF KATALINIĆ, dipl. inž. agr.

Tehnički urednik:

Prof. dr BOŽIDAR EKL

Lektor:

IVANKA GALOVIĆ, prof.

Korektor:

BISERKA VUKELIĆ

Tisak:

RO »TIPOGRAF« — Rijeka

DRUŠTVO ZA ODVODNJAVANJE I NAVODNJAVANJE HRVATSKE — ZAGREB

PRIRUČNIK

ZA HIDROTEHNIČKE MELIORACIJE

I kolo
ODVODNJAVANJE

Knjiga 2
PODLOGE

ZAGREB, 1984.

PREDGOVOR

Dovršena je i druga knjiga prvog kola Priručnika za hidrotehničke melioracije i to nepunih godinu dana nakon prve knjige. Dok je glavni problem kod pripreme prve knjige bio pronalaženje autora za pojedine planom predviđene teme, kao i dovršenje rukopisa, dotle je taj problem na drugom koraku nestao. Planiran opseg ove knjige je prekoračen za oko 50 posto, te je osnovna preokupacija urednika bila kako suziti gradivo i smanjiti obim knjige. Nema sumnje da je to jedan od ključih dokaza kako je ova akcija pravilno koncipirana i usmjerena, pa i započeta u pravi čas. Činjenica da se svi poslovi oko pripreme izdanja obavljaju dobrovoljno, daje ovoj ediciji posebnu vrijednost.

Čitalac će vjerojatno primijetiti izvjesnu neusklađenost i neujednačenost među pojedinim radovima. Naime, dok su pojedini autori građu izložili kratko i koncizno s konkretnim primjerima iz prakse, drugi su prikazali samo opća osnovna znanja iz te oblasti. Dakako nemoguće je izbjeći određenu heterogenost sadržaja, uz osobnu autorovu notu, kod izdanja u vidu zbornika kao što je ovo, gdje se u svakoj knjizi pojavljuje više autora. Međutim, uredništvo je već poduzelo mjere da se te manjkavosti otklone kod konkretne primjene pojedinih vrsta podloga za tehnička rješenja sustava za odvodnjavanje. To će u najvećoj mjeri uslijediti već u 3. i 4. knjizi.

Sasvim je sigurno da je pojava ove knjige, bez obzira na određene nedorečenosti u pojedinim poglavljima, krupan doprinos našoj stručnoj literaturi iz ove oblasti, pogotovo zbog toga što je dio građe po prvi puta objavljen u nas, te će moći korisno poslužiti svima onima, koji se ovim poslovima bave. Da bi iduće knjige bile još kvalitetnije i potpunije pozivamo na suradnju sve stručnjake i zove grane koji bi mogli pridonijeti boljoj kvaliteti, sveobuhvatnosti i nadasve praktičnoj primjenljivosti cijelog izdanja.

U Zagrebu, ožujak 1984.

Prof. dr ZORKO KOS

PEDOLOŠKE PODLOGE

Dr BRANKO ĐAKOVIĆ

1. UVOD

Pedologija ili nauka o tlu proučava razvoj i rasprostranjenost tala na zemljinoj površini. Do početka XX stoljeća postojala je neodređena koncepcija o tlu koja se temeljila na posebnoj tehnološkoj primjeni, tj. poljoprivrednoj proizvodnji.

Pravi temelj ovoj nauci položili su V. V. Dokučajev (1846—1903), K. D. Glinka (1867—1927), kao i E. W. Hilgard (1833—1916). Tlo se treba smatrati nezavisnim prirodnim tijelom — živom tvorevinom jedinstvene morfologije, a tek potom, tlo se može tretirati kao sredstvo proizvodnje.

Tlo sa svojom plodnosti predočuje jedan od najbitnijih faktora života sveukupne vegetacije. Da bi poljoprivredne kulture zadovoljile u najvećoj mjeri raznolike potrebe čovjeka, moramo znati utjecati na odgovarajući način na njihov život. Ostvarenje ovog zadatka postiže se djelovanjem na prirodne faktore, od kojih je najpoznatiji i najpristupačniji tlo.

Gledajući na tlo kao na prirodno tijelo, moguće je razlikovati određene faze, ili drugim riječima: ono nastaje, razvija se djelovanjem različitih faktora sredine, dosiže stanje zrelosti u ravnoteži s prirodnom vegetacijom, a moguća je njegova degradacija i nestanak.

Razvoj tala za razliku od ostalih živih bića, vrlo je spor. Poznato je na primjer, da podzol, kao tip tla treba za svoj puni razvoj na pjeskovitu matičnom supstratu u umjerenj klimi oko 1800 godina. Da bi tlo na polderima Nizozemske izgubilo 10% vapna ispiranjem oborinskom vodom, potrebno je oko 300 godina (prema podacima J. Boulaine, 1975).

U genezi i starosti tla, odnosno u stanju razvoja, moguće je grubo razlikovati nekoliko stupnjeva, i to:

1. tla koja nastaju — litosoli, ili skeletna tla,
2. mlada tla — juvenilna,
3. nezrela, koja nisu dosegla zreli stadij razvoja,
4. zrela tla,
5. stara tla,
6. senilna ili degradirana,
7. mrtva, ili koja su prestala s razvojem: reliktna, paleosoli i fosilna tla.

Moguće je da se mlada tla razvijaju na vrlo starim matičnim supstratima iz paleozojskog doba i da pokazuju vrlo spori tempo razvoja, za razliku od vrlo starih tala na mladim matičnim supstratima iz razdoblja kvartara.

Brzinu evolucije nije lako ocijeniti jer je varijabilna i kreće se od nekoliko godina pa do nekoliko tisuća godina. Tlo koje je došlo u stadij zrelosti, ne razvija se više i može dugo vremena opstojati u usporenom stanju života. (Prema: G. Plaisance — A. Cailleux, 1958).

Neke pedološke karakteristike mogu se brzo razviti djelovanjem čovjeka, kao npr. pojava gleja u sloju oranice, koje može nastati i iščeznuti za nekoliko tjedana, a odslanjivanje nekog slanog tla može se znatno ubrzati primjenom gipsa i drenaže.

1.1. Definicija tla

Ima ih mnogo, pa ćemo spomenuti onu koju su nedavno iznijeli G. Aubert i J. Boulaine, 1967, koja glasi:

Tlo je produkt izmjene, pretaložbe i ustrojstva gornjih slojeva zemljine kore pod utjecajem živih bića, atmosfere i energetskih promjena koje se tu očituju.

Koncepcijom pedona (grčki 'pedon' = tlo) izražava se najmanja površina koja predstavlja prirodni raspored horizonata i varijabilnost u drugim svojstvima. Možemo ga usporediti s jedinicom ćelije kristala koji ima tri dimenzije. Donja granica pedona nešto je neodređenija između 'tla' i 'ne-tla' ispod njega. Njegove bočne dimenzije, međutim, dovoljno su široke za predočavanje bilo kojih horizonata i varijabilnosti. Postoji, naime, mogućnost variranja horizonata po debljini i sastavu, a može biti isto tako nepovezan i prekinut. Površina koju zahvaća jedan pedon kreće se oko 1 do 10 m², što ovisi o varijabilnosti tla. Na taj način moguće je temeljito proučavanje profila i uočavanje njegove geneze i svojstava. Slijedeća veća prostorna jedinica jest polipedon koji zahvaća površinu od 0,4 do 4 ha i može ga se izdvojiti na pedološkoj karti.

1.2. Proučavanje tla

Proučavati profil tla nekog područja znači uočavati njegove morfološke i sistematske oznake radi rekonstrukcije etapa njegove geneze, kao i rasprostranjenosti na zemljinoj površini.

Pod profilom tla podrazumijeva se onaj sloj tla u kojem se razvija korijenov sustav biljaka i koji obično seže do dubine od 1,20 m. U profilu posebnu pažnju obraćamo oraničnom ili površinskom sloju i podoranici. Površinski sloj odgovara A-horizontu u pedološkoj terminologiji. Podoranica je u agronomskom smislu dio zone zakorjenjavanja ispod oranice.

Za specijaliste detaljne odvodnje (drenaža), važan je onaj sloj u koji se polaže drenska cijev i kolektor. Za inženjera melioratora važna su vodna svojstva i konstante tla, dok je agronom zainteresiraniji za obradivost (mogućnost obrade i agrotehničke operacije), stabilnost strukture, te stvaranje pokorice na površini tla i erodibilnost, a posebno ga zanima plodnost tla. Poljoprivredne kvalitete oraničnog sloja mogu se znatno izmijeniti obradom a klimatski faktori (visina oborinskih taloga i temperatura zraka) vrše također znatan utjecaj.

Kod otvaranja pedološkog profila na terenu bilježe se morfološka svojstva: boja tla, teksturni sastav, struktura (oblik i veličina strukturnih agre-

gata), zbijenost, stanje vlažnosti, prisutnost konkrecija itd. Osim toga, iz profila tla uzimaju se uzorci za laboratorijska istraživanja, i to:

a) F i z i k a l n a

- mehanička analiza (tekstura),
- fizikalna svojstva tla: kapacitet za vodu i zrak, specifična, prava i volumna težina, porozitet, vodopropusnost,
- plastična svojstva: granica krutosti i tečenja te indeks plasticiteta,
- stabilnost mikroagregata.

b) K e m i j s k a

- reakcija tla pH,
- sadržaj slobodnih karbonata,
- sadržaj topivih soli,
- sadržaj humusa, dušika i fiziološki aktivnih elemenata P i K, mikroelementi.

c) F i z i k a l n o - k e m i j s k a

- kapacitet kationske zamjene i zasićenost bazama.

d) M i n e r a l o š k a

- determinacija glinenih minerala i rezerva mineralne ishrane.

1.3. Odnos fizikalnih, kemijskih i bioloških svojstava na proizvodnu sposobnost tla

Na temelju ovih podataka moguće je klasificirati tla i izraditi pedološku kartu. Uglavnom, razlikujemo četiri tipa pedoloških profila koji su karakteristični za stupanj evolucije tla:

— profil (A)C, tj. tla s razvijenim humusnim horizontom koji se sastoji od ulomaka matične stijene,

— profil AC, tj. tla s dva horizonta (horizont A koji sadrži organsku materiju i nalazi se izravno na matičnoj stijeni ili horizontu C),

— profil A(B)C, tj. tla gdje je umetnut između horizonta A i C horizont (B) koji je nastao procesom transformacije matične stijene,

— profil ABC, pojavljuje se kod razvijenih tala (horizont B obogaćen je sitnim ili topivim elementima ispiranjem iz A-horizonta).

Međusobnim djelovanjem faktora evolucije tla nastaju karakteristični tipovi tla. Ovi faktori su sljedeći:

(1) f i z i č k i: sadržaj vode, temperatura, mraz, mehanički učinci (udarci i sl.)

(2) k e m i j s k i: hidratacija, hidroliza, oksidacija, redukcija itd.

(3) b i o l o š k i: vegetacija, fauna, mikroorganizmi.

Produkt njihova djelovanja izražava se ovim temeljnim svojstvima:

— tekstura tla i, posebno: sadržaj glinenih čestica,

— mineraloški sastav glinene frakcije: odnos alumosilikata i seskvioksida, vrste sekundarnog glinenog minerala sa sposobnošću bubrenja ili ne,

— fizikalno-kemijske karakteristike adsorpcijskog kompleksa: vrste i količine apsorbiranih iona,

— organska materija: sadržaj i vrsta,

— sadržaj slobodnih karbonata.

A-struktura tla koja obuhvaća:

— formiranje agregata (veličina, oblik i vrsta)

(Vidi slike: 1, 2, 3, 4)

— poroznost (ukupna poroznost i raspodjela pora po veličini)

— stabilnost strukture.

B-konzistencija tla u mokrim, vlažnim i suhim uvjetima (plasticitet)

— boja tla.

Postoji odnos između strukture, konzistencije i boje tla. Na primjer, sivo-smeđe obojena tla gube prizmatične strukture, obično je tvrdo u suhom stanju a ljepljivo u vlažnom, dok je černozemno tamno smeđe tlo, mrvičaste strukture, obično rastresito u suhom stanju i ljepljivo u vlažnom stanju.

Dalji niz svojstava koja utječu na poljoprivrednu proizvodnu sposobnost tala, proizlazi iz prethodne grupe spomenutih faktora (struktura, konzistencija boja itd.) i njih nazivamo sekundarnim svojstvima tala.

a) Svojstva u vezi s oraničnim slojem:

— otpornost zamuljivanju (uništavanje strukture),

— površinsko stvaranje pokorice,

— erodibilnost tla,

— retencijski kapacitet za vodu;

b) U vezi s podoranicom:

— stvarna dubina tla i zakorjenjivanje,

— unutarinja dreniranost.

Ove proizvodne kvalitete mogu se pratiti i mjeriti na malim parcelama ili uzorcima tla koji predstavljaju takvo stanište. Široko poznavanje svih faktora važno je, i zato se kombinira s kartografsko-klasifikacijskim radom, kako bi se dobili reprezentativni podaci karakteristična za pojedino područje istraživanja.

2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE TLA

2.1. Tekstura

Mineralni dio tla razvrstava se prema veličini osnovnih čvrstih jedinica — čestica tla. Takva raspodjela čestica po veličini naziva se tekstura. Može se odrediti kvalitativno na terenu probom među prstima i u laboratoriju mehaničkom ili granulacijskom analizom.

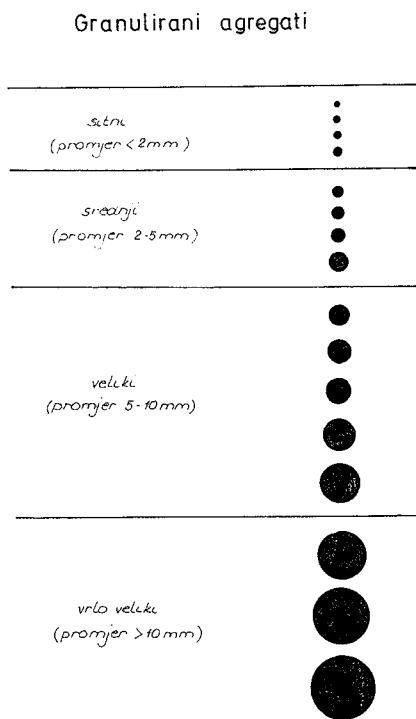
Bitan faktor rodnosti nekog tla jest njegova tekstura koja utječe na zakorjenjivanje biljaka. Rast korijenja je povoljniji što je tekstura grublja (pješkovitija).

U svijetu postoje raznolike teksturne klasifikacije, a za agronomske svrhe najpoznatija je internacionalna Atterbergova (1926). Ovdje ćemo koristiti usvojene granične vrijednosti čestica tla (vidi tablicu 1).

Tablica 1.

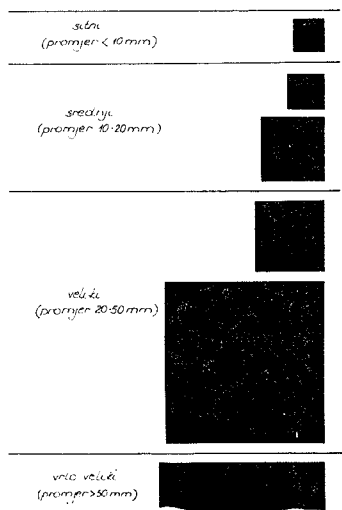
GRANICE VELIČINE ČESTICA

Tlo	Frakcija	Promjer u mm	Promjer u mikronima
PIJESAK	Krupni	2—0,2	2.000—200
	Sitni	0,2—0,02	200—20
PRAH		0,02—0,002	20—2
GLINA		manje od 0,002	manje od 2

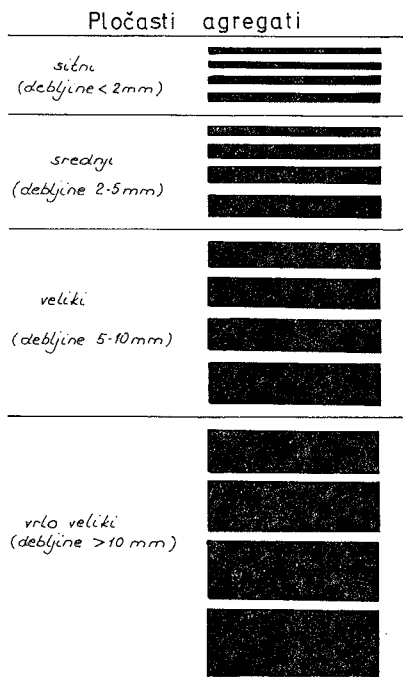


Slika 1.

Agregati kockasta oblika s 3 jednako velike osi

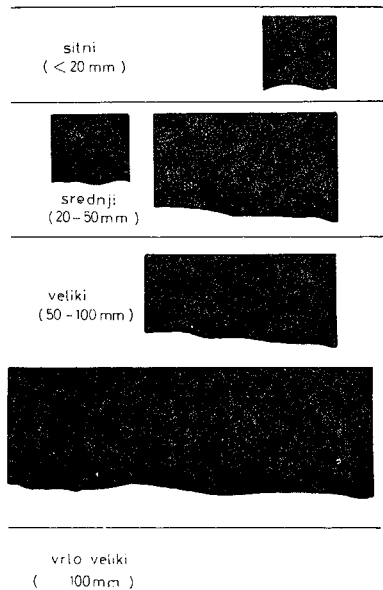


Slika 2.



Slika 3.

Prizmatični i stubasti agregati

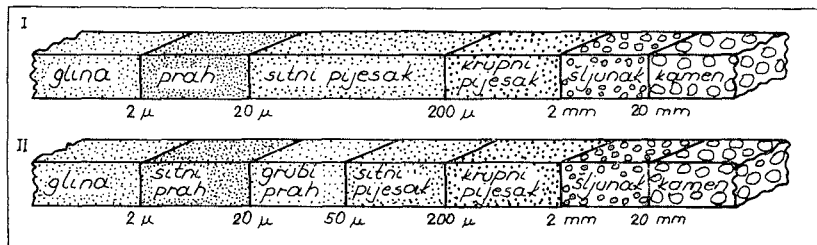


Slika 4.

Oblik agregata (prema J. M. Hodgson, Soil Survey, Field Handbook, 1976)

Sve više laboratorija izdvaja sitni pijesak u 2 razreda zbog različitih svojstava vezanih za njihov promjer:

- sitni pijesak 0,2—0,05 mm ili 200—50 mikrona,
- vrlo sitni pijesak ili grubi prah 0,05—0,02 mm ili 50—20 mikrona. (Vidi sliku 5).



Slika 5.

Kamenom se nazivaju čestice veće od 2 cm, a šljunkom čestice između 2 cm i 2 mm, dok je sitnica materijal manji od 2 mm.

Grube čestice odvajaju se sijanem kroz sita, a sitnije čestice odjeljuju se ispiranjem strujom vode.

Za praktične svrhe koriste se raznolike podjele, pa tako postoje američka, engleska, francuska, njemačka, nizozemska teksturna klasifikacija u obliku trokuta. Za naše potrebe podesili smo odnos pijesak — prah — glina u vidu trokuta. (Grafikon br. 1)

U prošlosti, vrsta tla bila je odlučujući kriterij za ocjenu i vrijednost tla (klasifikacija A. Thaera, 1811). Suvremenija njemačka klasifikacija iz 1935. također se temelji na granulometrijskom sastavu tla.

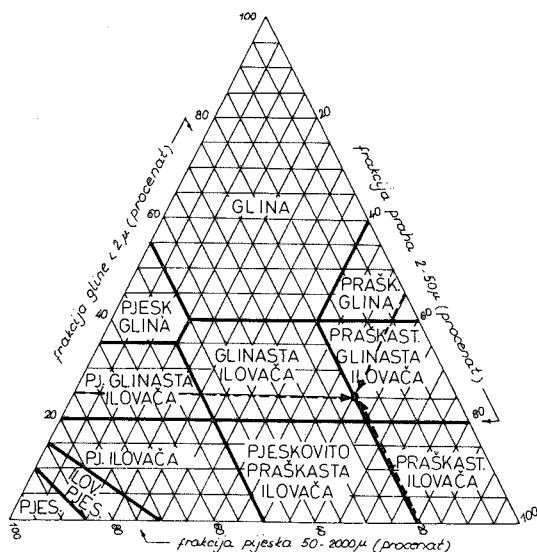
Tekstura utječe na fizikalna svojstva tla (brzina zagrijavanja, propusnost za vodu i zrak, poroznost).

Frakcija pijeska služi kao kostur slabo strukturnim tlima i kao sredstvo procjeđivanja vode. Frakcija gline sa svojom sposobnosti uskladištenja vode i zamjene kationa, zatim bubrenjem i stezanjem utječe vrlo izričito na stvaranje strukture. Frakcija praha jest interni dio tla u fizikalnom i kemijskom pogledu. Sažeto se može opisati vrste tla ovako:

- Pjeskovita (laka tla) imaju dobra fizikalna a loša kemijska svojstva;
- Glinena (teška tla) imaju loša fizikalna a dobra kemijska svojstva.

Oznaka 'laka' i 'teška' tla nastala su u praktičnom životu u vezi s mogućnošću obrade. Paralelno s tim, ona ne predstavljaju 'siromašna' ili 'bogat' tla, niti su ovi pojmovi ispravne predodžbe u modernom shvaćanju o fizikalnim svojstvima. Te oznake nisu mjerodavne i bolje ih je izbjegavati. Razboritije je uzeti u obzir kao faktor strukturu tla kod ocjenjivanja vrijednosti.

S agronomskog stanovišta teksturni sastav ovisan je i o klimatskim okolnostima: srednji sadržaj gline uvjetuje plodnost uz uvjet dovoljne količine oborina. Relativno velik sadržaj ilovastih čestica povoljno je svojstvo, ali



Primjer :
 25% gline (ispod 0,002 mm)
 55% praška (0,002 - 0,05 mm)
 20% pijeska (veće od 0,05 mm)
 100% = PRGI praškasto glinasto ilovača

Grafikon 1.

Određivanje teksturnog sastava tla pomoću trokuta

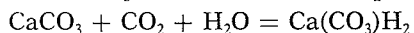
postaje štetno ako je klima suviše vlažna i neznatan vegetacijski pokrivač. Sitan pijesak općenito je povoljan kao i šljunak koji omogućuje dobru vodopropusnost, ali dolazi do neplodnosti u slučaju malog sadržaja glinenih čestica. Konačno, najbolja su ona tla koja su u ravnoteži, tj. kad se svojstva pojedinih komponenata dopunjuju. Tako 'idealno' tlo nema niti jedne frakcije u višku, ono ima dobra fizikalna, hidrička, kemijska i biološka svojstva, a ne sadrži ni šljunka ni kamena. Granulometrijski sastav takva idealnog tla bio bi ovakav: gline 20 do 30%, pijeska 50 do 70%, vapna 5 do 10%, humusa 5 do 10%.

Odnos vrste tla, vodopropusnosti i retencije vode

Postoji uska povezanost između vodopropusnosti, retencije vode i teksture. Što tlo sadrži više glinastih čestica, to je vodopropusnost slabija i veća retencija vode. Priroda glinenog minerala modificira taj odnos kao i frakcija pijeska. Kod aluvijalnih tala način taloženja također utječe na vodopropusnost. Redovitije imaju jezerske geološke formacije i tla koja su se razvila na njima, slabiju vodopropusnost nego li riječni (fluvijatilni sedimenti).

2.2. Mineraloški sastav

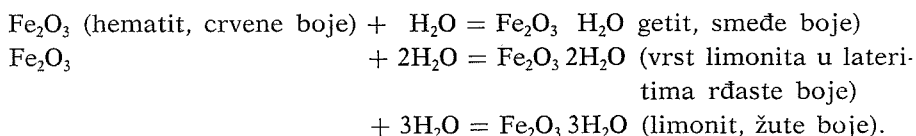
Čvrste čestice tla nastale trošenjem iz tvrdih stijena, pri čemu voda ima vrlo važnu ulogu svojom moći otapanja, a to se potencira još prisustvom CO_2 koji se nalazi u kišnici oborina ili u tlu i organskim kiselinama. Takva zakiseljena voda može otopiti do 1,8 g/litra vapnenca:



Na taj način troše se vapnene stijene, a isto tako ispiru se karbonati iz tla ako ih sadrži.

Hidratacija djeluje na izmjenu mnogih stijena, naročito onih koje sadrže željezo. Minerali koji su bogati željeznim spojevima mijenjaju se hidratacijom po obujmu, boji i svojstvima.

Primjer:



Na taj način dolazi do detritacije — trošenja i stvaranja sitnih frakcija tla o kojima je riječ. U frakcijama pijeska prevladava kremen ili silicijev dioksid. Tu će se naći još i ostataka primarnih silikata (Na, K, Ca alumosilikata). Jako rastrošena tla sadrže malo ili ništa glinenaca.

Prškasta i pjeskovita frakcija većine tala sadrže jasno obojene minerale, uglavnom: kremen i glinenci i samo malo tamno obojenih Fe^- i Mg^- minerala.

Frakcija minerala gline

Svojstva ove važne frakcije variraju znatno s obzirom na sadržaj anorganskih komponenata. U većini tala mineralne komponente gline sastoje se od sekundarnih alumosilikata.

Glavni tip građe (mreže) uslojenih alumosilikata nastaje kombinacijom dvaju tipova strukturnih jedinica ili slojeva:

— slojevi silicijskog oksida: jedan atom silicija okružen s četiri kisika (SiO_4 tetraedar)

— slojevi aluminijskog oksida i hidroksida: šest kisika ili OH grupa okruženo je većim atomom aluminijskog oksida (aluminijski oktaedar).

Kombinacijom jednog silikatnog sloja i jednog aluminijskog sloja stvara se tip glinenog minerala 1 : 1 (npr. kaolinit, haloizit itd.). Kad se doda drugi sloj Si, nastaje glineni mineral tipa 2 : 1. U tom slučaju dva Si sloja okružuju centralni Al sloj.

Tip glinenog minerala 2 : 1 klasificira se u dvije velike grupe s odgovarajućim razlikama u fizikalnim i fizikalno-kemijskim svojstvima.

— Glineni minerali koji imaju sposobnost ekspanzije kod vlaženja: grupa montmorilonita i vermikulita. Ovi silikati sadrže Mg, Ca i Fe dok voda i druge organske molekule mogu ući između jedinica sloja, što uzrokuje ekspanziju rešetke i velik pritisak. Kod oduzimanja vode dolazi ponovo do kontrakcije.

— Glineni minerali koji ne ekspandiraju. Glavne su grupe: iliti, tinjci i klorit. Čvrstoću kristalne mreže drže ioni kalija.

2.3. Fizikalno-kemijske karakteristike gline

Općenito govoreći, može se reći da se glinena frakcija podudara s mineralnom koloidnom frakcijom tla koja se sastoji od velikih molekula ili micela posebnih fizikalnih svojstava. Svojstva koja su izravno vezana za koloidnu komponentu su kontrakcija, flokulacija i disperzija, te plasticite i kohezija, što je odlika glina i humusa. U suspenziji tla čestice podliježu s jedne strane sili gravitacije koja teži k taloženju čestica, a s druge strane, k utjecajima difuzije uslijed Brownova kretanja. Jako razrijeđena suspenzija gline može dugo stajati a da se ne istaloži. Uz dodatak elektrolita, pojedine čestice pribiru se u veće pahuljice (proces flokulacije ili koagulacije).

Gline imaju naglašena fizikalno-kemijska svojstva zbog kombiniranog utjecaja dvaju faktora: velike specifične površine i električnog naboja na temeljnoj silikatnoj strukturi glinenih minerala. Ta se razlika izražava i specifičnom površinom, to jest, onom površinom koja iznosi 15 m²/g kod grubih neekspandirajućih glina do 800 m²/g kod najfinijih ekspandiranih glina. Velika specifična površina rezultira iz male veličine čestice i pločaste ili vlaknasto produžene morfologije minerala. Dominantni naboj kristalne mreže negativan je, iako se može pojaviti i pozitivan naboj, osobito na rubu kristala.

2.3.1. Kapacitet kationske zamjene

Glineno-humski kompleks ima sposobnost apsorpcije i energičnog držanja na svojoj površini nekih iona iz otopine tla. Taj kompleks posjeduje dvostruki ionski sloj: čvrsti negativni naboj glinene čestice okružen difuznim slojem pozitivno nabijenih iona (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, H⁺, Al⁺⁺⁺) u tekućoj fazi. Koncentracija ovih kationa blizu glinenih čestica mnogo je veća nego što je koncentracija u otopini tla. Ovi se kationi ne mogu tako lako izlužiti, iako ih je moguće zamijeniti drugim kationima. Vodik se drži najenergičnije među fiksiranim kationima, zatim kalcij, magnezij, kalij, natrij i mikroelementi.

Zbog toga, kapacitet zamjene kationa čestica tla djeluje kao neka vrsta skladišta za baze koje se otpuštaju iz primarnih minerala putem trošenja ili se dodaju putem mineralnih gnojiva. Pored difuznog sloja apsorbiranih kationa postoji veći broj molekula vode. Kad se glineni minerali troše i postaju inertni, smanjuje se apsorpcija kationa a povećava apsorpcija aniona (npr. fosfati posredstvom kalcijskog mosta jer je kalcijski ion pozitivno nabijen).

Kapacitet zamjene kationa tala varira ne samo po vrsti i sadržaju gline, već isto tako i sa sadržajem humusa. Ovaj kapacitet izdržava se u miliekvivalentima na 100 g tla (mekv/100 g). Taj kapacitet iznosi za humus i neke glinene minerale (tablica 2):

Organski koloidi posjeduju daleko veću moć zamjene nego anorganski. Međutim, zbog malog udjela organske materije u tlu (0,5—5%) ta sposobnost tla se znatno snizuje, te se općenito smatra da je kapacitet zamjene kationa kod pjeskovitih tala od 2 mekv/100 g tla a u glinenim tlima do 60 mekv/100 g.

Tablica 2.

KAPACITET ZAMJENE KATIONA KOD NEKIH MATERIJALA
(Grim, 1953)

Materijal	Kapacitet zamjene kationa (mekv/100 g)
Humus	200—400
Vermikulit	150
Montmorilonit	80—120
Ilit	20— 50
Kaolinit	3— 15
Kremen	ispod 0,01

2.3.2. *Udio različitih zamjenjivih kationa*

Kemijska sila kojom su držane baze u tlu smanjuje se ovim redoslijedom $Ca > Mg > K > Na$ i zato se ovi ioni nastoje akumulirati istim redom u tlu koje je izloženo ispiranju. Kod većine tala Ca^{++} čini oko 80% ukupno zamjenjivih baza. U primorskim područjima može dominirati Mg^{++} . U krajevima izloženim zaslanjivanju postoji velika količina zamjenjivog Na^+ . Ako takva tla sadrže malu količinu topivih soli, natrijski će ion uzrokovati disperziju gline i tla će postati zamuljena i vrlo slabo propusna za vodu. Kalcijevi ioni, s druge strane, uzrokuju flokulaciju gline i zato posješu stvaranje strukture i vodopropusnosti.

Reakcija tla (pH) pokazuje također relativni sadržaj H^+ i OH^- iona u otopini i na taj način održava stupanj zasićenosti bazama. Ako je stupanj zasićenosti 90 ili 100, pH vrijednost tla bit će negdje oko 7 i više ako tlo još sadrži karbonate.

2.4. **Organska materija**

Kad se unosi svježja organska materija u tlo, jedan njen dio brzo se rastvori biološkim i kemijskim procesima — djelovanjem mikroorganizama. Ostatak koji se sporo razlaže, naziva se humus koji se sastoji od mješavine smeđe ili tamne amorfne ili koloidne supstance. Pojam mikroorganizmi, ili mikrobi, upotrebljava se za oznaku mikroflore (bakterije i gljive) i mikroskopski sitne životinje (protozoe i nematode). Humus je temelj plodnosti tla zbog svojih fizikalno-kemijskih svojstava i zato je vrlo važan sastojak tla. Uslijed nedostatka definicije humusa koja bi zadovoljila istovremeno kemičare, agronome i praktičare, riječ 'humus' pomalo je neodređena.

Općenito možemo reći: pojmom humus označavamo raznoliku organsku supstancu, smeđe ili crnkaste boje, kemijskog sastava koji nije osobito određen a nastao je rastvorbom organske materije isključivo biljnog porijekla (stajnjak, slama, zelena gnojidba, ostaci od žetve), djelovanjem mikroorganizama i crvi u tlu.

Mineralizacijom humusa oslobađaju se pomalo potrebni hranjivi elementi za biljke. Humus, osim toga, sadrži kao podloga velikom broju organskih produkata koji se oslobađaju tijekom rastvorbe organske materije u tlu ili ih sintetiziraju mikrobi: antibiotici, hormonske supstance i katalizatori, čija

je važnost u biološkoj aktivnosti tla sigurna, iako nije sasvim točno definirana.

Ukupna organska materija tla dobiva se ekstrakcijom iz tla pomoću alkalnog reagensa (0,5 N natrijeve otopine). Ona sadrži dvije vrste produkata s obzirom na molekularnu težinu, a koje se označava zajedničkim pojmom 'humus'.

1. 'Sirovi', 'labilni' ili 'slobodni' humus jest više ili manje svježja organska materija koja je na putu humifikacije ili mineralizacije, a naziva se tako zato što još nije pomiješan s tlom i nije fiksiran ili vezan na čestice tla. Tu se nalaze biljni ostaci s visokim odnosom ugljik/dušik (C/N) koji je veći od 15, a porijeklo mu je: ostaci iza žetve (korijenje, stabljike, slama, lišće), ili su to organska gnojiva (stajski gnoj, zeleno gnojivo). Tijekom evolucije ova organska materija oslobađa prelazne produkte koji imaju posebnu vrijednost za strukturnu stabilnost i biološku aktivnost tla. Ovaj sirovi humus sjedište je intenzivne aktivnosti mikroba, i zato se može smatrati temeljnim elementom plodnosti tla. On brzo evoluiru i za nekoliko godina prelazi u stabilni humus.

2. Stabilni humus jest organska materija vezana tlom, tj. ona je čvrsto fiksirana na agregate, tamne je boje, a podvrgnuta usporenoj aktivnosti mikroba koji će izazvati mineralizaciju ovog humusa u količini od 1 do 2% godišnje. U prošlosti se precjenjivala njegova vrijednost i sada postoji tendencija da se da prednost sirovom humusu.

Njegov sastav je vrlo kompleksan (humin, huminske kiseline i fulvo kiseline) a odnos C/N relativno je konstantan i kreće se oko 9—10.

Odnos sirovog i stabilnog humusa u tlu je vrlo promjenljiv, prema prirodi tla i sustavu kultura. Prosječno se može računati da na mladi ili sirovi humus otpada 20 do 25% koji brzo evoluiru, te 75 do 80% stabilnog humusa koji sporo evoluiru. Neko tlo, loše kultivirano, može imati znatnu količinu stabilnog humusa a malo mladog humusa. Nasuprot tome, neko ilovasto tlo može imati malu količinu stabilnog humusa i relativno visoki postotak mladog humusa, što ovom tlu daje veću plodnost. Razlog je taj što se tu koristi u velikoj mjeri godišnje obnavljanje organske materije.

Općenito se u našim tlima računa s 1,5 do 2,5% sadržaja organske materije.

Po elementarnom sastavu, humusne tvari odražavaju raznolik udio alifatskih, alicikličkih i aromatskih spojeva. Fulvo kiseline uvijek sadrže više kisika nego huminske kiseline, koje, pored toga, sadrže malo ugljika. Važno je istaknuti biološki karakter formiranja humusa, što se naročito uočava u prvoj fazi, kad je vezan istovremeno za prirodu labilnih materija i uvjete sredine, dok u drugoj fazi ponašanje je više fizikalnokemijsko, te na taj način osigurava polikondenzaciju i vezanje s mineralnim elementima.

2.4.1. Utjecaj organske materije na fizikalna svojstva tla

1. Kod teških tala, ona 'granulira' njihovu strukturu. Mrvičasta struktura povoljna je za razvoj korijenja i obradu tla. Smatra se da je postanak ove strukture vezan za aktivnost faune tla kao i korijenje trava, i, zato se preporučuje uvođenje trava u plodorede kao važna mjera za poboljšanje i plodnost tla, jer:

— trava svojim korijenjem usitnjava velike grude i uvlači se u sitnije pukotine, koje potom ispunjava humusom koji stvara svake godine,

— trave agregiraju pjeskovite elemente tla koje je pojedinačne strukture i stvara mrvičastu strukturu.

Ukratko možemo sažeti ovakvo djelovanje različitih agenasa na stvaranje mrvičaste strukture:

— prodiranje korijenja, posebno trava,

— brzo umnažanje mikroorganizama i njihovih izlučina koje presvlače zemljane čestice pravim filmom mikroskopskih vlakana,

— povezivanje gline i humusa u kompleks koji je mnogo manje ljepljiv nego sama glina.

Normalno je dakle: unošenje organske materije u tlo čini ga rahlijim.

2. Organska materija stabilizira strukturu. Unošenje organskih materija (stajski gnoj, zelena gnojidba i ostaci žetve kao korijenje, stabljika, slama žitarica, različite zelene kulture, organski ostaci: nadzemni i podzemni svih vrsta) treba kompenzirati gubitke humusa koji se zbivaju tijekom godine u tlu.

Prije se smatralo da nije moguće održavati količinu humusa bez unošenja stajskog gnoja (6 do 10 tona stajnjaka znači unošenje 500 do 900 kg humusa godišnje na hektar) i znatno se potcjenjivalo vraćanje tlu biljnih ostataka. U stočnim gospodarstvima gdje dolazi jedno grlo stoke na hektar, održavanje organske mase na relativno visokom nivou moguće je zbog raspoloživog stajnjaka i biljnih ostataka. Danas, gospodarstva bez stoke i stajnjaka mogu osigurati održavanje organske materije na svojim površinama, uz uvjet zaoravanja ostataka iza žetve. Ekstenzivno korištenje pogrešno je rješenje jer omogućuje usporavanje ritma mineralizacije humusa zato što ograničava vraćanje tlu organskih ostataka.

Količina humusa koju tlo gubi na hektar i godišnje iznosi između 700 i 1.000 kg. Količina humusa koja se može dobiti ostacima iza žetve iznosi 600 do 800 kg/ha godišnje. Žitarice (pšenica i kukuruz posebno) unose znatne količine humusa (žitna slama zaorana iza dobre žetve uz dodatak dušika daje 1.200 kg/ha humusa. Ta količina može kompenzirati godišnje gubitke. Uljana repica koja se zaore iza žetve daje oko 1.500 kg/ha humusa. Umjetne i privremene livade daju vrlo varijabilno obogaćivanje humusom. Privremena livada od 3 godine daje tlu oko 2.700 kg/ha za tri godine. Prirodne livade uslijed prirodnog zbijanja i reducirane aeracije koja rezultira iz ovog zbijanja usporava rastvaranje humusa koji se možda gomilao godinama.

2.5. Biološko djelovanje

Ima više vrsta djelovanja od kojih su neka manje vidljiva a druga se očito pripisuju organskoj materiji.

a) **F a u n a t l a** predstavlja 500 do 1.000 kg žive materije po hektaru. Dio ove mase može biti sasvim nepoželjan (parazitizam). Međutim, u ukupnom smislu ova živa masa povećava propusnost i porozitet tla i na taj način osigurava povoljnu strukturu. Njihovo bujanje ovisi o uvjetima sredine, pH, kalcijском karbonatu i, osobito, o svježoj organskoj materiji. Mrvljenje ovih svježih biljnih ostataka, njihovo prožimanje mikroorganiz-

mima i miješanje s mineralnom materijom događa se nakon prolaza kroz probavni ustroj faune tla, koja je pravi agens stvaranja strukture.

b) **Unošenje organske materije** (korijenje kultiviranih biljaka i posebno trava) izravno utječe na stvaranje povoljne strukture. Za vrijeme rastvaranja organska materija oslobađa s jedne strane vodu, ugljični dioksid kao plin i mineralne elemente (mineralizacija) i s druge strane, humusne spojeve (humifikacija). Dio organske materije tako transformiran u humus ocjenjuje se izohumusnim koeficijentom, čija vrijednost varira od 0 (bez humifikacije) do 1 (ukupna humifikacija). Izohumusni koeficijent iznosi 0,5 za stajski gnoj, 0,1 za slamu, 0 za klaoničke otpatke. Stabilan humus mineralizira se polagano. Humifikacija je, dakle, zaobilazni put mineralizacije organske materije; iz nekih prelaznih produkata rastvaranja organske materije, molekule, umjesto da se usitnjavaju, počinju se polimerizirati tako da nastaju nove supstance velikih molekula (humusni spojevi).

Humifikacija je produkt trostruke aktivnosti: biološke, fizikalne i kemijske. Crvi u zemlji stvaraju u svom probavnom traktu organsko-glinene veze i na taj način pospješuju humifikaciju, jer se humus oblikuje i stabilizira bolje u prisutnosti gline. Fiksacija dušika i kisika omogućuje polimerizaciju molekula koje čine humus. Izmjena suhih i vlažnih razdoblja pospješuje humifikaciju. Topivi spojevi oblikuju se u vlažnom periodu a polimeriziraju u suhom.

Humus se ponaša kao slaba kiselina, ali ne zakiseljuje tlo. Ova niska kiselost omogućuje mu atakiranje nekih netopivih soli, kao što su fosfati, i svojim djelovanjem učiniti ih asimilativnima za biljke. Humus je mnogo hidrofiličniji nego glina, te može držati do petnaestorostruke vlastite težine vode, ali dio ove vode drži energično i nije na raspolaganju biljci. Humus se suši i vlaži sporije od gline a to svojstvo čuva njegovu strukturu.

Humus je elektropozitivan koloid: može flokulirati i dispergirati. Flokulacija se usporava debelim slojem vode oko micle humusa. Monovalentni ioni K^+ (kalij) i Na^+ (natrij) ne djeluju flokulirajuće na humus, dok to čine dvovalentni ioni Ca^{++} i Mg^{++} .

c) **Mikroflora tla** ovisi o unošenju svježije organske materije. Populacija mikroba sposobna je da se umnaža strelovitom brzinom, ovisno o prisutnosti ili odsutnosti neophodnih hranjivih metabolita. Unošenje fermentirajućih materijala odgovara sumarno regeneraciji mikrobiološke populacije. Ovo svojstvo koristi se kod uređenja kiselih tala koja su inače malo prikladna za bakterijsku aktivnost nakon unošenja vapnenih gnojiva i, osobito, nakon unošenja zelene gnojidbe.

d) **Humus** ima, prema nekim autorima, stimulirajući efekt na vegetaciju. Taj učinak nije još dobro definiran i zato je predmet diskusije. On se pokazuje istovremeno na nivou geneze korijenja, ali isto tako i osobito kod aspiracije iona korijenjem, a ovisi o dijelu koji je manje polimeriziran i pripisuje se zato kinon-fenolima koji stvaraju redoks sustave i pokazuju se u procesima oksidoredukcije (Duthil, III, 1973).

3. FIZIKALNA SVOJSTVA MINERALNIH TALA

Fizikalna svojstva tla vezana su za dva osnovna pojma: tekstura ili elementarni sastav, te struktura ili način kako se elementi povezuju u agregate. O ovim dvama faktorima ovisi stanje vode i zraka u tlu čije su praktične posljedice posebno važne.

3.1. Poroznost tla

Pod tim pojmom razumijeva se makroporozitet i mikroporozitet. Za mjerenje ukupnog poroziteta služe uzorci tla uzeti u prirodnom stanju s pomoću cilindra određenog volumena. Sušenjem u laboratoriju dobiva se prividna volumna specifična težina. Zasićenjem tla vodom dobiva se volumen šupljina. Porozitet se povećava stvaranjem hodnika glista i koreijenja. U obrađenom tlu srednja vrijednost poroziteta se kreće od 55 do 65%, kod pjeskovitih tala do 47% a kod ilovastih do 50%. Donja granica poroziteta je 45%. Sva tla s nižim vrijednostima poroznosti idu u red zbijenih tala gdje je potrebno rahljenje tla.

Kad je tlo zasićeno vodom, sve njegove šupljine, ili njegov ukupni porozitet ispunjen je vodom. Ta voda kreće se utjecajem gravitacije i postepeno prazni veće šupljine ili pore, koji se pune zrakom. Kad tlo prestane odkapati, sve makropukotine ispunjene su zrakom, i taj se dio naziva makroporozitetom. Sitnije pore i kapilare ispunjene su vodom: taj volumen predočuje mikroporozitet.

3.1.1. Izračunavanje poroznosti

Uzorak tla uzet u cilindar u neporušenu stanju suši se kod 105°C. Razlika između vlažnog i suhog tla izražava prividnu ili volumnu težinu tla D' , za razliku od prave specifične težine D koja je relativno konstantna i kreće se oko 2,6. U tablici 3 dati su podaci o pravim specifičnim težinama različitih tala kao funkcije njihova sastava.

Tablica 3.

PRAVE SPECIFIČNE TEŽINE RAZLIČITIH TALA
(prema Demolonu)

Kvarc i alkalijski glinenci	2,6 do 2,7
Tinjac	2,8 do 3,2
Kredni vapnenac	2,25 do 2,35
Pijesci	2,6 do 3
Glina	2,52
Organska materija tla	1,5 do 1,6
Tla srednjeg sastava	2,6
Vapnena tla	2,45
Humusna tla	1,8 do 2,45

3.1.2. Vrijednost poroznosti i njegova interpretacija

Poroznost može varirati od 30 do 35% kod tala s vrlo sitnim česticama i koja su zbijena, pa do 70% kod černozeza, tala koja su bogata kalcijem i humusom s uravnoteženom teksturom, a kod treseta vrijednosti idu do 80%.

Porozitet, međutim, može varirati i u istom tlu, što je vezano za njegov glineno-humusni kompleks (bogatstvo ili siromaštvo organskom materijom i kalcijem). Općenito se može reći:

— mikroporozitet ili retencijska sposobnost tla za primanje vode manje ovisi o strukturi a više o teksturi, a naročito o bogatstvu humusom koji ima sposobnost upijanja vode,

— makroporozitet, ili šupljine ispunjene zrakom, ovisi osobito o strukturi.

3.2. Struktura tla

Pojam struktura tla odnosi se na prostorni raspored čvrste faze tla (pijesak, prah i glina) i sekundarnih čestica tla (mikroagregati) koji oblikuju neki strukturni vid. Agregati teksturnih elemenata drže se zajedno s pomoću koloida (mineralni ili organski) a međusobno se odvajaju pukotinama i velikim porama.

Struktura je važna morfološka karakteristika tla. Ona sama nije faktor biljnog rasta, ali utječe na gotovo sve faktore rasta, kao što su: retencija vode, kretanje vode, prozračivanje tla, prodiranje korijenova sustava, mikrobiološka aktivnost tla. U strukturnom tlu oblik i veličina agregata djeluje na prostorni raspored pukotina i makropora. Kretanje vode vrši se prvenstveno kroz velike pukotine i široke pore. Voda koja je pristupačna biljkama usklađena je u makroporama između agregata i u njemu. To su također prostori koje biljno korijenje najintenzivnije koristi za vodu i hranjiva. Postoji nekoliko vidova strukture tla:

— vidljiva makrostruktura, koja se temelji na terenskom istraživanju i opisuje se pojmovima koji govore o obliku, veličini agregata i stupnju izraženosti strukture;

— prostori između i unutar makro i mikroagregata koji obuhvaća ukupni porozni prostor;

— stabilnost strukture, posebno površinskog sloja ili oranice;

— strukturni profil, gdje se profil tla tretira u vezi s vrstom, debljinom i slijedom različitih strukturnih horizonata.

Makrostrukturu možemo podijeliti na:

— koherentnu ili nekoherentnu, tj. u kojoj postoji prirodna povezanost ili je nema;

— pojedinačnu, što je karakteristično za pijeske i prašine s malo organske tvari;

— masivnu koja se pojavljuje u pjeskovitim ilovačama, ilovastim pijescima, praškastim ilovačama, itd.

Prirodni agregati nazivaju se u pedološkoj terminologiji 'pedi' a umjetni agregati koji mogu biti krupnozrnasti 'clods' ili, poput manjih odlomaka tla, 'fragmenti'.

Postoje četiri tipa strukture tla koji se temelje na relativnu odnosu horizontalne i vertikalne osi i izgledu rubova:

— pločasta; horizontalne dimenzije veće su od vertikalnih; dominira horizontalna ravnina (rasponi 2—10 mm);

— prizmatična; vertikalno izduženi agregati u obliku prizmi; ovi oblici mogu biti zaobljeni na vrhu (veličina 20—55 mm);

— kockasta; horizontalna i vertikalna dimenzija podjednake su (veličina 10—20 mm);

— granularna; više ili manje zaobljene granule ili mrvice jednoličnog oblika i veličine; pojam 'mrvičast' ukazuje na granularnu agregaciju koja je poroznija i nepravilnija po obliku i veličini (veličina 2—5 mm). (Vidi slike 1—4 str. 11).

U agronomskoj terminologiji razlikuju se 'slabo strukturna tla', 'dobro strukturna tla' i 'loše strukturna tla'. Na taj način označuje se stanje razvoja strukture a isto se tako pokazuje da li su agregati izraziti, zadržavaju li svoj oblik i raspored nakon mehaničkih zahvata u tlu. Postojanje dobre strukture znači prisutnost stabilnih agregata koji povoljno djeluju na kretanje vode u tlu, zatim njezino uskladištenje i aeraciju. Slabo izražena, oštrobridna struktura ukazuje na strukturu koja se lako i brzo kvari obradom. Prizmatična struktura u poljoprivrednom smislu također je loša. Dobro izražena mrvičasta struktura povoljna je za sve vrste kultura.

Oblik strukturnih elemenata omogućuje također klasifikaciju tipova strukture u tri grupe:

— pojedinačnu, ili elementarnu strukturu u kojoj su pojedini sastojci naslagani jedni na druge bez ikakve povezanosti zbog nedostatka koloida; ovdje upravo ne postoji struktura;

— kompaktnu strukturu, gdje su elementi uronjeni u dispergiranu glineni masu i tako stvaraju jedinstveni blok;

— fragmentarnu strukturu, gdje su sastojci skupljeni u agregate i grupirani u strukturne elemente različita oblika: produžnog, zaobljenog, više ili manje sferičnog, što pruža veću ili manju mogućnost kretanja vode i zraka.

Izgled rubova strukturnih elemenata pruža također korisne podatke o načinu formiranja:

— oštri rubovi nagovještaju učinak nedostatka koloida, što dovodi do raskida kompaktnih masa;

— zaobljeni rubovi nagovještavaju osobito učinak granulacije uslijed različitih djelovanja: promjene izazvane izmjenom sušenja i vlaženja, a osobito biološko djelovanje flore i faune tla koja izlučuje vezivne supstance.

Struktura tla ima značajnu važnost za rast biljaka. S jedne strane ona olakšava prodiranje korijena u masu tla i ono se razvija u pukotinama između agregata. S druge strane, ona smanjuje premještanje vode i hranjivih elemenata mase tla prema korijenu, osobito ako su agregati sitnih oblika. Najbolje prilagođena struktura za rast biljaka je mrvičasta ili poliedrična gdje je veličina agregata samo nekoliko milimetara. Morfologija korijenja može biti znatno izmijenjena nepovoljnom strukturom, a to posebno važi za mlado korijenje.

Plodnost tla možemo sažeti ovako:

— dobra fizikalna svojstva (aeracija, vlaga, jednostavnost obrade);

— dobra kemijska svojstva (dobro funkcioniranje mehanizma fiksacije i izmjene hranjivih supstanci između tla i biljke);

— dobra biološka svojstva (intenzivan mikrobiološki život koji aktivno sudjeluje kod ishrane biljaka).

3.2.1. *Pojedinačna struktura*

Ona djeluje nepovoljno zbog nedostatka koloida:

— ako su pjeskoviti elementi grubi, tlo ne može držati ni vodu ni topive mineralne elemente;

— ako dominiraju fini elementi, oni pokazuju tendenciju zbijanja i gomilanja jedni na druge čineći tako tlo nepropusnim.

3.2.2. *Kompakna struktura*

Ona je štetna:

- zbog nedostataka propusnosti za zrak i vodu; tlo je inertno i nema mogućnosti za biološko djelovanje faune, mikroba i vegetacije;
- zbog velikog otpora prodiranju korijenova sustava;
- zbog teškoća kod obrade, bilo u vlažnom ili u suhom razdoblju.

3.2.3. *Mrvičasta struktura*

Ona je jedino povoljna zato što:

- sjedinjuje pjeskovite elemente u agregate u glineno-humusnom kompleksu koji je u flokuliranom stanju a obradom se stvaraju male mrvice sitnog oblika i zaobljenih rubova. Ovo stanje strukture ima ove prednosti:
 - omogućuje vodi lako kretanje, tako da višak može slobodno otjecati;
 - uslijed toga, omogućava dobro prazračivanje korijenja, kao i opskrbu mikroba zrakom;
 - osigurava prodiranje oruđa za obradu i povoljnu pripremu za sjetvu;
 - omogućuje dobro nicanje, duboko i lako prodiranje korijenja i maksimalno korištenje rezervi hranjiva u tlu.

3.3. **Konzistencija tla**

Konzistencija tla odnosi se na fizikalne sile kohezije i adhezije kod različitog sadržaja vlage (suho, vlažno, mokro) i njihovo ponašanje prema mehaničkom pritisku ili sili teže. Konzistencija tla jest faktor trajanja povoljnog momenta za obradu i potrebnu vučnu silu, kao i to da li se lako ili teško može pripremiti za sjetvu.

Indirektno, konzistencija pruža podatke o teksturi tla, strukturi i propusnosti. Pojave konzistencije su rahlost, plasticitet i ljepljivost, kao i otpor na pritisak (podatak važan kod temeljenja objekata) i posmak. Ove dvije pojave idu u područje mehanike tla, i zato se neće o njima ovdje opširnije govoriti.

Rahlost karakterizira sposobnost vlažnog tla da stvara mrvičastu strukturu. Opisni pojmovi su: rastresita, čvrsta, vrlo čvrsta. Konzistencija suhog tla nosi naziv: rahla, tvrda i vrlo tvrda.

Plasticitet, odnosi se na vlažno tlo unutar raspona sadržaja vlage i njegove sposobnosti da mijenja svoj oblik i zadrži ga kad je podvrgnuto vanjskim silama. Tla koja sadrže manje od 15—20% gline općenito su neplastična. Inženjerska klasifikacija temelji se na teksturi (grubozrnasta i fino-zrnasta) i plasticitetu. Za tu klasifikaciju važe dvije granice konzistencije (Atterbergovi limiti):

- granica tečenja i
- granica krutosti.

Granica tečenja odnosi se na minimum vode kod kojeg se smjesa tlo — voda mijenja iz viskozno tekućeg u plastično čvrsto. Granica tečenja određuje se tako da se uzorak tla stavi u Casagrandeov aparat i potom od-

govarajućim priborom raspolovi. Ako se nastala pukotina sklopi nakon 25 udaraca, smjesa se nalazi u granici tečenja.

Granica krutosti jest donja granica sadržaja vode u području plastičnosti. Ona se definira u laboratoriju kao najmanji sadržaj vode kad se tlo izvaljano na debljinu od 3 mm promjera ne raspadne.

Indeks plasticiteta definira raspon sadržaja vlage kod koje tlo ima svojstvo plastične čvrstoće.

Kad je sadržaj vode veći od granice krutosti, tlo će se raspuziti. Obrada tla zato se uvijek vrši ispod granice krutosti.

Ljepljivost se odnosi na stupanj adhezije vlažnog zemljanog materijala.

Konzistencija i struktura usko su povezane. Dok je struktura tla rezultat sila u čvrstoj fazi, konzistencija je indirektna mjera ovih sila.

3.4. Boja tla

To je najobičnija i najlakše vidljiva karakteristika tla. Kad se boja tla razmatra zajedno s drugim faktorima — teksturom, strukturom i konzistencijom, može se mnogo toga zaključiti o fizikalnim i kemijskim svojstvima.

Boja ovisi o prirodi matičnog materijala iz kojeg je tlo nastalo, zatim o prirodnoj dreniranosti i temperaturi tla. Boja nastaje prvenstveno iz prevlake na mineralnim česticama. U tlima dobro prozračenim boje su tamno smeđe ili crne ako dominiraju čestice humusa. Ona je žuta ako su prevlake sastavljene od hidratiziranih željeznih sastojaka. Kod zamočvarenih tala prevladavaju sivo-maslinaste boje uslijed redukcije ferri iona u fero spojeve. To se obično naziva 'glej'. Površinski horizont može biti jednoličan ili s mrljama (mramoriran). To onda označava pojavu mrlja žute, crvenkaste i smeđe boje, uslijed oksidacije nakon razdoblja redukcije i u vrijeme kolebanja nivoa vode — privremeno zamočvareno stanje.

Drugi važan dijagnostički faktor koji može nagovijestiti stanje zamočvarenosti jest boja u blizini korijenja. Ako su kanalići živih korijena karakterizirani svijetlijim bojama nego ostala masa tla, a kanali obamrlog korijenja su rdasto žute i smeđe boje, to može vrijediti kao kriterij slabe aeracije. Izrazite crvene i žute boje općenito su vezane za humidna tropska ili suptropska tla, dok u aridnim prilikama prevladavaju sivo-žučkaste što je znak sporog kemijskog trošenja i niskog sadržaja organske materije.

Boje se opisuju u pedološkim izvještajima s pomoću Munsell colour chart. To je sustav označavanja boje gdje se specificira stupanj boje u trima jednostavnim vrajablama: tonu, intenzitetu i nijansi. Ton boje jest kvaliteta razlikovanja jedne boje od druge. Glavne su boje tla: žuta (yellow), crvena (red) i zelena (green). Glavni tonovi boje nalaze se u rasponu između crvenog i žutog: 10 R, 2,5 YR, 7,5 YR, 10 YR, 2,5 Y i 5Y.

Intenzitet je mjerilo jasnoće ili tamne boje, tako da 1 označava vrlo tamno, a 8 vrlo svijetlo.

Nijansa je mjerilo jakosti ili izraženosti boje, tako da je 8 vrlo izražena a 1 vrlo malo izražena.

Munsellove šifre boje treba uvijek pratiti opisni tekst, npr. 10 YR 6/4 znači: svijetlo-žučkasto-smeđa.

4. VODA U TLU

Voda ima važnu ulogu kod oblikovanja i razvoja tala, u ishrani biljaka kao i u izgrađivanju podzemnih voda. Tlo sa svojom poroznom sredinom pruža znatnu dodirnu površinu za čvrstu, tekuću i plinovitu fazu. Ova velika dodirna površina čini tlo sredinom koja lako ulazi u reakcije s vodom.

Odnos između tla i vode razmatrat ćemo kao

- tlo kao rezervoar vode,
- kretanje vode u tlu.

4.1. Tlo kao rezervoar vode

Ako stavimo 100 g vlažnog tla (težina T) u električnu peć kod 105°C i ostavimo da se tlo osuši, ono će nakon određenog vremena izgubiti na težini (T' — 80 g), tj. upravo toliko koliko je bila zalih vode u tlu. Prema tome možemo izračunati vlagu tla (V) u postocima suhog tla:

$$V = \frac{T - T'}{T'} \cdot 100 \text{ ili } V = \frac{100 - 80}{80} = 25\%$$

Ova gravimetrijska metoda je vrlo jednostavna ali točna. Ona nije najbrža, jer postoje druge metode uz primjenu električne energije, kojima se može mjeriti vlažnost na mjestu.

4.2. Stanja vode u tlu

— Gravitacijska voda jest ona voda koja nakon zasićenja tla otječe najprije brzo, zatim sve sporije, napuštajući prostore najvećih šupljina koje se pune zrakom. Ona se nalazila u makroporama tla a nakon što je voda prestala otkapavati, navlažena zemlja postigla je svoj poljski kapacitet za vodu.

— Biljci pristupačna voda jest ona voda koju sadrži tlo, tj. voda koja nije u kapilarama i nalazi se u obliku čvrstih svežnjeva oko čestice tla. Biljke je koriste tako dugo dok ne iscrpe tu zalihu, a potom pokazuju znakove venuća: postignuta je točka venuća.

— Mrtva vlaga tla jest voda nepristupačna biljkama. Ona se stvorila oko čvrstih elemenata u obliku finih filmova a tlo je drži takvom silom koja je veća od energije sisanja korijenja, tj. 16 atmosfera.

4.3. Sile koje djeluju na vodu u tlu

Tri sile djeluju na vodu u tlu: sila teža, sisanje korijenja i sisanje zemlje. Voda koja oblikuje film oko čvrstih čestica tla različite debljine držana je silom koju vrši kruta tvar na molekulu vode, to jače što je molekula bliže krutoj čestici.

— U nekoj određenoj udaljenosti od čestice tla sila postaje slabija od sile teže i voda se kreće pod utjecajem gravitacije.

— Kad se ove dvije sile izjednače, postiže se točka poljskog kapaciteta. Biljka može koristiti ovu vodu silom sisanja korijenja, ali mora biti veća nego što je vrši samo tlo.

— Kad sila sisanja tla postane veća od sile sisanja korijenja, uslijed znatnog suženja ovoja vode, dolazi do točke venuća.

4.4. Kapilarni potencijal ili pF

Na česticu vode u tlu djeluju različite sile, i to:

— Kinetska energija, koja nastaje uslijed kretanja tekućine u porama. Ona je zanemarljiva u tlu zbog malog oblika pora.

— Potencijalna energija, koja potječe iz gravitacijskog polja, a isto tako može nastati uslijed efekta vezivanja oko krutih čestica i učinaka kapilariteta u porama. Radi se tada o kapilarnom pritisku koji predočuje razliku pritiska između zraka i vode. Kapilarni potencijal ima negativan predznak i zato se radije koristi njegova apsolutna vrijednost ili sisanje koje je veće od 0. Buckingham (1907) označio je kao kapilarni potencijal ili visinu na koju se može podići 1 gram vode nasuprot sile teže uz upotrebu oslobođene energije nastale fiksacijom tog grama vode. Razlikujemo tako 'vezanu vodu' od 'slobodne vode'. Kapilarni potencijal vode tla u točki venuća iznosi 15 atm/cm².

Usporedbom visine uspona kao funkcije promjera kapilara, pokazuje se koliko je širok taj raspon. Radi olakšanja predočavanja tih rezultata Schofield (1935) predložio je upotrebu oznake pF koja je decimalni logaritam kapilarnog potencijala što se označuje grčkim slovom ψ (psi). Tako možemo predočiti oznakom pF različite visine sisanja, npr.:

za visinu sisanja od 100 cm pF = 2

za visinu sisanja od 10.000 cm pF = 4

za visinu sisanja od 16.000 cm pF = 4,2

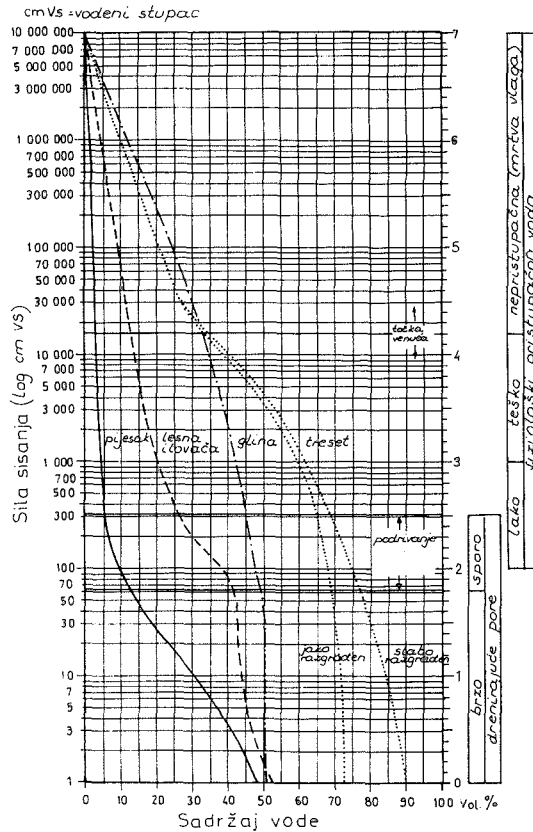
Definicija kapilarnog potencijala podudara se dobro s koncepcijom pokretnosti ili nepokretnosti vode. Općenito se može reći: postoji izravan odnos između pF ili kapilarnog potencijala i količine vlažnosti. Površinska napetost bitno uzrokuje ove pojave, bez obzira na teksturni sastav tla.

U slijedećoj tabeli prikazan je odnos pritiska izražen u cm vode, mm žive, milibarima i atmosferama, prema pF i vodnim konstantama (vidi grafikon 2) (Prema: J. Duthil, I, 1971):

Statički pritisak				pF	Vodne konstante
cm vode	mm živinog stupca	milibara	atmosfera		
1	0,735	0,98		0	
10	7,35	9,807		1	
500				2,7	} poljski kapacitet točka venuća
1.000	735	980,67	1	3	
16.000				4,2	
1,000.000				6	

Za određivanje različitih tlakova koriste se u laboratoriju ove tehnike:

- sisanje od 0 do 900 cm vode
- centrifugiranje od 500 do 5.000 cm vode
- tlak od 100 do 16.000 cm vode
- točka leđenja od 8.000 do 50.000 cm vode



Grafikon 2.

4.5. »Poljski kapacitet« i »točka venuća« kao vodene konstante za pojedina tla

Vlažnost tla koja odgovara poljskom kapacitetu kreće se za sva tla od pF 2,7 do 3. Obično se mjeri na terenu nakon što je tlo bilo zasićeno vodom, i ono stanje vlage nakon 48 sati iza prestanka zasićenja odgovara vrijednosti poljskog kapaciteta. Kod tala koja su vrlo slabo propusna ta vrijednost se često može postići tek nakon nekoliko dana.

Nekoliko primjera reda veličina za poljski kapacitet:

- 5 do 10% u grubim pijescima,
- 15 do 35% u ilovačama ili glinastim ilovačama,
- 30 do 40% u glinama.

U laboratoriju se određuje »ekvivalentna vlažnost« koja odgovara zapravo vrijednosti poljskog kapaciteta. Ta veličina odgovara vrijednosti pF 3 ili stupcu vode od 1.000 cm.

Vlažnost kod točke venuća odgovara kod svih tala vrijednosti od pF 4,2 ili 16.000 cm visine stupca vode. Moguće je odrediti je biološkim putem, tako da se mjeri vlaga nakon toga što je biljka koja je rasla na tom tlu počela venuti, u laboratoriju se određuje centrifugiranjem ili s pomoću tlačne membrane.

4.6. Kretanje vode u tlu

Voda koja dolazi u tlo kišom ili navodnjavanjem ili podizanjem nivoa podzemne vode kreće se u tlu različitim utjecajima i smjerovima:

— kretanje infiltracijom vrši se uslijed djelovanja sile teže: procjeđivanje i drenaža. Radi se o descendentnom ili bočnom kretanju;

— kretanje kapilarnom difuzijom, koja nije vezana za silu teže, već za razliku u vlažnosti. Ova kretanja mogu se vršiti u svim pravcima.

a) Procjeđivanje ili descendentno kretanje silom teže

Ako napunimo staklene cilindre različitim vrstama tla: jedne glinom, druge ilovačom, a treće pijeskom i potom održavamo nivo u svim cilindrima na istoj visini a na dnu vršimo mjerenje isteka iz svakog cilindra zasebno.

U različitim, dosta suhim tlima vršimo proces infiltracije vode i promatramo brzinu upijanja. Opazit ćemo razlike u propusnosti kod pojedinih tala, što je važan podatak za projektiranje drenažnog sustava.

Propusnost ili brzina procjeđivanja ovisno o teksturi i strukturi

Propusnost tla veća je što tlo raspoláže nekapilarnim porama ili makroporama. Tlo posjeduje makropore ako su njegovi agregati zaobljeni i jednake veličine. Kad su ovi osnovni elementi različite veličine i jedni elementi nalježu na druge, tada se radi o manje propusnom tlu. Prema tome:

Tla su propusna:

— ako imaju grubu teksturu s dominacijom čestica pijeska i šljunka i slabom presvlakom koloida. To su dobro propusna tla;

— ako su tla fine teksture, ali fragmentarne strukture, osobito mrvičaste. Ova struktura nastaje uslijed dovoljnog sadržaja gline koja mora biti stabilizirana organskom materijom (humusom) i kalcijem, jer u protivnom dolazi nakon brze infiltracije iza prvih kiša, do disperzije koloida koji tada koče procjeđivanje;

— bilo da su humozna. Nakon suhog razdoblja, humus se polagano navlažuje i zadržava vrlo dobru propusnost, a kad je navlažen, dolazi do bubrenja i nesposobnosti upijanja vode.

Tla su nepropusna:

— bilo da imaju teksturu vrlo bogatu ilovastim česticama a siromašnu glinom i humusom. Uslijed nedostatka koloida sitni elementi se zbijaju i tlo postaje nepropusno, osobito na površini pod utjecajem kiše. Do iste pojave dolazi ako se radi o pijescima različite veličine zrna;

— bilo da su tla gdje dominiraju čestice gline, osobito u odsutnosti kalcija i humusa. Nepropusnost ovih tala moći će se, međutim, poboljšati unošenjem kalcija i organske materije i dodatnim mjerama obrade tla;

— bilo da se radi o tlima s nepropusnim supstratima. Drenaža se može boriti protiv ovog tipa nepropusnosti.

Radi važnosti ovog faktora kod projektiranja drenaže, vrše se terenska mjerenja vodopropusnosti metodom bušotine (Auger hole). Dobivene vrijednosti služe kao mjerilo za izučavanje razmaka drenskih cijevi kod detaljne odvodnje.

Hidraulička provodljivost poroznog medija podvrgava se zakonu Darcyja:

$$Q = K \cdot S \cdot i$$

gdje je Q = volumna veličina toka, S = površina poprečnog presjeka, i = razlika hidrauličkog tlaka.

Razredi hidrauličke provodljivosti prikazani su u tablici 4.

Tablica 4.
RAZREDI HIDRAULIČKE PROVODLJIVOSTI
(m/dan)

Vrlo sporo	manje od 0,01
Sporo	0,01— 0,1
Umjereno sporo	0,1 — 0,3
Umjereno brzo	0,3 — 1,0
Brzo	1,0 —10
Vrlo brzo	više od 10

Ovisnost razmaka drenažnih cijevi u sustavu odvodnje prikazana je u tablici 5. gdje su prikazane minimalne vrijednosti hidrauličke provodljivosti, kako bi se spriječio podizanje vodne razine unutar 50 cm od površine tla (za više od 24 sata), uz oborine od 10 mm/dan i različitom dubinom do nepropusnog sloja.

Tablica 5.
HIDRAULIČKA PROVODLJIVOST (K) I RAZMAK DRENOVA

Razmak m	$h = 0$	$h = 0,5 K \text{ m/dan}$	$h = 1,0$	$h = \infty$
10	1,0	0,34	0,27	0,22
15	2,3	0,75	0,55	0,39
20	4,0	1,34	0,94	0,54
25	6,3	3,1	1,42	0,78
30	9,0	3,0	2,0	0,92
40	16,0	5,3	3,5	1,33

b) Kapilarna difuzija ili premještanje retencijske vode

Tlo izloženo ispravanju suši se od površine prema dolje. Njegov pF se povećava i stvara se potražnja za vodom koja se nalazi u nižim slojevima: tako nastaje ascendentno kretanje. Po istom principu voda se može kretati bočno, prema tome kako se vrši apsorpcija vode biljnim korijenjem.

Kad se tlo opskubljuje vodom iz razine koja nije jako duboka vrijedi ovaj princip: voda se kreće od razine prema površini i u stanju je stalno navlažavati zone koje su isušene korijenjem ili evaporacijom. Na golom tlu, međutim, visina uspona je ograničena i ovisi o teksturi: kod pijesaka ona seže do 40 cm i do blizu metra u glinastoj ilovači.

5. ZRAK U TLU

Biljno korijenje i mikroorganizmi koriste kisik (O_2) iz zraka i otpuštaju procesom disanja ugljični dioksid (CO_2). Za normalno disanje potrebna je stalna zaliha kisika. Ako je zaliha nedovoljna, biljni se rast ograničava, naro-

čito u srednje do fino teksturnim tlima i humidnoj klimi. Poboljšati prozračivanje jedan je od najvažnijih ciljeva drenaže.

5.1. Sastav zraka tla

Pore tla su tijekom godine ispunjene vodom ili zrakom — prema godišnjem dobu. Smanjivanje sadržaja vode znači ujedno povećanje sadržaja zraka. Ova izmjena je neposredno ispod površine tla u zoni zakorjenjivanja. Zahvati u vodni režim tla, kao što je odvodnja ili navodnjavanje utječu također na zračni režim. Za život mikroflora i rast višeg bilja treba postojati:

- zadovoljavajući volumen zraka (kapacitet za zrak Kz)
- nespriječena izmjena plinova (propusnost za zrak i difuzija).

Kulturne biljke imaju različite zahtjeve za zrakom. Prema Kopeckom te potrebe iznose:

— trave	6 do 10% vol. kapacitet za zrak
— pšenica, zob	10 do 15% vol. kapacitet za zrak
— šećerna repa, ječam	15 do 20% vol. kapacitet za zrak

Zrak mogu provoditi samo pore veće od 50 μ . Kod jačeg osušenja srednje i fine pore također se pune zrakom. Kod pjeskovitih tala kapacitet za zrak iznosi 30 do 40%, praškasta i ilovasta tla imaju 10 do 25% a glinena 0 do 15%.

Kapacitet za zrak ovisan je, u prvom redu, o teksturi, tako da se s rastućim sadržajem gline smanjuje njegova vrijednost, ali, isto tako, ovisan je i o strukturi. Dobro agregirana glinena tla mogu imati sasvim zadovoljavajući kapacitet. Naročito sadržaj humusa povoljno djeluje na kapacitet za zrak kod tala siromašnim glinom. Moguće je klasificirati tla s obzirom na kapacitet za zrak, kao što pokazuje tablica 6.

Tablica 6.
KAPACITET ZA ZRAK RAZLIČITIH TIPOVA TALA

Kz u vol. %	Razred	Tip tla
manje od 5	I	Pelosol (livadska tla), amfiglej
5 do 10	II	Pseudoglej, teška aluvijalna glinena tla
10 do 15	III	Smeđa tla
15 do 20	IV	Černozemi, rendzine
preko 20	V	Podzoli, mlada nerazvijena tla

Atmosferski zrak i zrak u tlu razlikuju se po svom sastavu, kao što je pokazano u tablici 7.

Tablica 7.
SREDNJI SASTAV ZRAKA U ATMOSFERI I TLU
(vol. %)

	O ₂	CO ₂	N ₂
Atmosfera	21,0	0,03	78,9
Zrak u tlu	20,6	0,30	79,1

Zbog biološkog procesa u tlu sadržaj C_2 i CO_2 različit je uslijed disanja mikroba i korijenja. Povećani sadržaj CO_2 uvjetuje smanjenje sadržaja O_2 . Ako poraste sadržaj CO_2 na više od 1 vol. %, to će štetno djelovati na rast kultura. S povećanim sadržajem CO_2 povećava se topivost $CaCO_3$ i na taj način opasnost od zakiseljavanja. Što je viši sadržaj O_2 , to je bolje izražen proces nitrifikacije.

Uslijed različita parcijalnog tlaka u atmosferi i u tlu mogu se izmijeniti plinovi koji se nalaze u tlu i ostvariti obnavljanje zraka u tlu. Čim dolazi do veće koncentracije CO_2 , on se nastoji probiti do atmosfere difuzijom. Godišnja proizvodnja CO_2 može iznositi do 15.000 kg/ha pri čemu otpada 2/3 na mikro-biološku aktivnosti a 1/3 na djelatnost biljnog korijenja. Procesom disanja tla omogućuje se asimilacija CO_2 biljkama.

5.2. Zahtjevi biljaka za zrakom

Za rast biljaka traži se obilna zaliha kisika u zoni korijena. Znatne su varijacije u zahtjevu aeracije biljaka, kao i njihove tolerancije na loše zračne prilike. Ne postoje točno definirane potrebe za aeracijom, međutim, praktično iskustvo ukazuje na relativnu potrebu prozračivanja. Biljke koje imaju veliku potrebu za kisikom su rajčica, krumpir, šećerna repa, grašak i ječam.

Nedovoljna aeracija sprečava uzimanje vode biljkama (fiziološka suša) i hranjiva i tako se ometa rast korijenovog sustava.

5.3. Stanje aeracije i procesi u tlu

Prozračivanje također indirektno utječe na biljni rast, i to utjecajem na biološke procese i kemijska svojstva.

Fiksacija dušika putem mikroba od velike je važnosti za tlo, a ovisi o aeraciji. Nedostatak dovoljne količine zraka sprečava oksidaciju dušika i sumpora u oblike koje biljke mogu asimilirati. Količine topiva željeza i mangana također ovise o koncentraciji kisika u zraku tla, kao i pH vrijednostima. Kad nastanu aerobni uvjeti i periodično zamijene aerobne reakcije, željezo i mangan mogu se akumulirati u tlu u vidu konkrecija. U anaerobnim uvjetima mogu se razviti anorganske i organske toksične supstance. Općenito, visoki sadržaj CO_2 povećava topivost forsfornog i kalcijskog karbonata.

5.4. Aeracija i drenaža

Glavni cilj podzemne drenaže jest postići povoljne odnose kompleksa tlo-voda-zrak i u tome treba razlikovati između kompleksa biljka-drenaža i tlo-drenaža.

Svrha je postići aeriranu zonu korijenja za vrijeme vegetacije neke kulture. U vrijeme kad nema kulture težište se svodi na dvije komponente:

- održavati strukturu tla, temperaturu i zalihi hranjiva u povoljnom odnosu za buduću kulturu, i
- održavati sposobnost kretanja po terenu i mogućnost vršenja agrotehničkih zahvata kao što su oranje, priprema tla za sjetvu itd.

6. TEMPERATURA TLA

Paralelno s vodom i zrakom, drugi važan faktor rasta jest temperatura tla. Mikrobiološka aktivnost, klijanje sjemena i rast korijenja u znatnoj mjeri ovise o temperaturi tla.

6.1. Temperatura tla i rast biljaka

Temperatura utječe na sve stadije razvoja biljke. Zrnaste kulture na primjer, ne mogu klijati, ako je temperatura ispod ništice (pšenica, ječam, zob, uljana repica, krmne trave itd.) a za biljke tropskog porijekla ona je nešto viša (za šećernu repu iznosi 5°C, 6°C za kukuruz, 10°C za grah, sirak i rižu).

Temperature podoranice naročito su važne za rast korijenja u rano proljeće. Tla s dobro dreniranom podoranicom zagrijavaju se brže i do veće dubine nego tla s visokim sadržajem vode.

Temperatura djeluje također na početak cvatnje. To su obično više temperature, dok neke vrste traže ciklus jarovizacije, kao npr. šećerna repa neće cvasti, ako nije bila na temperaturi od 7°C kroz tri do deset dana. Proljetne žitarice i kukuruz, te lucerna cvatu a da nisu prije prošle jarovizaciju.

Postoje također optimalne temperature za razvoj kultura: za žitarice 18°C, za šećernu repu 20°C i 20 do 25°C za kukuruz.

Temperatura ima povoljan utjecaj na rast kultura, ali ekstremi nisu poželjni: ni velika hladnoća, ni velika vrućina, jer izazivaju ozbiljna oštećenja na biljci.

6.2. Utjecaj temperature na štetnike i parazite

Početak aktivnosti i prodor parazitskih gljiva u biljke često je uvjetovan temperaturom. Plasmopara viticola ne može se razvijati na temperaturi nižoj od 11°C a optimalna je temperatura oko 20°C i kišovito vrijeme.

Kupusna mušica (*Hylemyi brassicae*) ne može preći iz stanja ličinke u odraslog insekta, ako je temperatura niža od 22°C. Osim toga, niske temperature ograničavaju razvoj mediteranskih insekata koji su osjetljivi na zimu.

6.3. Temperatura tla i drenaža

Vlažna tla imaju veći kapacitet za toplinu nego suha tla. Specifična toplota definira se kao broj kalorija topline potrebne za podizanje temperature neke supstance za 1°C. Voda ima specifičnu toplotu od 1,00 kal/g. Specifična toplota suhog mineralnog tla iznosi oko 0,20 kag/g. Za usporedbu toplinskog kapaciteta suhog i vlažnog tla bolje je uzeti volumetrijski toplinski kapacitet (kal/cm³). Jedan cm³ suhog tla s poroznosti od 50% ima toplinski kapacitet od $0,5 \cdot 2,65 \cdot 0,2 = 0,26$ kal/cm³. Takvo tlo, kad su sve njegove pore ispunjene vodom, imat će toplinski kapacitet od $0,26 + (0,5 \cdot 1,0 = 0,76$ kal/cm³. Ako je samo polovica pora ispunjena vodom, toplinski kapacitet iznositi će $0,26 + (0,25 \cdot 1,0) = 0,51$ kal/cm³. Nadalje, ako se višak vode ne infiltrira, on će se odstraniti evaporacijom uz pojavu efekta hlađenja.

Temperatura loše dreniranih tala niža je za 4 do 8°C od onih koja su dobro drenirana.

7. PLODNOST TLA I PROIZVODNOST

Jedna od definicija plodnosti kaže: to je sposobnost tla osigurati redovno i ponovljeno rast kultura i polučiti urod. Plodnost je rezultanta različitih faktora (kemijskih, fizikalnih i bioloških) koji sudjeluju u opskrbi biljke

vodom i hranjivima, kao i stvaranjem i održavanjem povoljnih uvjeta za razvoj korijenja.

Drugi pojam koji se može upotrijebiti u tom smislu jest: kapital plodnosti tla. Ovaj kapital plodnosti sastoji se od rezervi u tlu, to jest, svih hranjivih elemenata koji su uskladišteni u tlu i mogu se mobilizirati za ishranu kultura. Mehanizam uskladištenja i mobilizacije ovih rezervi varira prema odnosnim elementima:

— dušik i sumpor magazinirani su u organskom obliku i njihova mobilizacija je biološke naravi, tj. vezana je za mikrobiološku aktivnost;

— fosforna kiselina energično je vezana tlom i njena mobilizacija je spora i ovisna o fizikalno-kemijskim mehanizmima;

— kalij i svi metalni elementi (Ca, Mg i mikroelementi) fiksirani su na glineno-humusnom kompleksu i oslobađaju se procesom zamjene.

Urodi kultura ne ovise samo o uvjetima tla, već isto tako i o pretežnim klimatskim uvjetima, o načinu gospodarenja s obzirom na tlo, vodu i kulture (upotreba gnojiva, suzbijanje erozije, štetnika, korova, drenaža, navodnjavanje, upotrebljene sorte). Svi ovi faktori sadržani su u pojmu »produktivni kapacitet« tla, koji se odnosi na urode kultura koje su adaptirane određenom tlu i klimi uz određeni način gospodarenja. U nekim uvjetima tlo može imati visok produktivni kapacitet, a ipak nisku produktivnost. U krajnjoj liniji, vrijedi samo produktivnost tla. Ona se mjeri urodima u odnosu na faktore (voda; gnojiva, pesticidi, insekticidi, strojevi itd.).

7.1. Zaliha hranjiva

Glavni elementi koje biljka apsorbira svojim korijenjem iz tla su dušik (N), fosfor (P), kalij (K), kalcij (Ca), magnezij (Mg) i neki mikroelementi, tj. oni koji su potrebni u vrlo malim količinama, kao što su željezo (Fe), mangan (Mn), bakar (Cu), cink (Zn), molibden (Mb), kobalt (Co) itd.

Ovi elementi nalaze se u tlu u tri vida:

— u mineralima (privremeno nepristupačni);

— u zamjenjivu obliku i

— u otopinama.

Dušik (N) fiksira se iz atmosfere bakterijskom aktivnosti (fiksacija dušika), ili se oslobađa iz organskih spojeva u tlu nakon rastvorbe (nitrifikacija).

Fosfor (P) dobiva se iz rastvorbe organske materije i trošenjem nekih minerala. Drugi elementi primarno se opskrbljuju trošenjem anorganske čvrste faze.

N, P i K obično se dobivljaju kao komercijalna gnojiva s različitim postotkom svake pojedine komponente, npr. 13—13—0. Osim toga unose se određene količine tih elemenata i stajskim gnojem i drugim vrstama gnoja.

8. KLASIFIKACIJA TALA

Kod klasifikacije tala u poljoprivredne svrhe vodi se računa prvenstveno o mehaničkom sastavu tla (tekstura) tako da postoji raspodjela na pjeskovita, ilovasta, glinasta, vapnena, humusna tla.

U pedološkoj klasifikaciji uzima se u obzir čitav pedološki profil. Prvu takvu klasifikaciju načinio je V. V. Dokučajev, koji je stavio naglasak na klimatski faktor podijelivši tla u tri velike grupe:

- zonalna tla koja ovise prvenstveno o klimi i vegetaciji;
- intrazonalna tla vezana su za posebne lokalne uvjete (vlažnost, prisutnost vapna, itd.);

— azonalna tla, koja su slabo razvijena ili erodirana.

Pedolozi su kasnije stavili akcenat na pedogenetske procese nastajanja i evolucije tla (podzolizacija, posmeđivanje, feralitizacija).

Najnovije klasifikacije vode računa o fizikalno-kemijskim, biološkim i klimatskim kriterijima. One se temelje na unutarnjim svojstvima tala. Među najpoznatijim klasifikacijama danas je Kubienina klasifikacija tala Evrope, srednjo-evropska klasifikacija koja dijeli tla u:

1. terestrička, tj. tla s A—C profilom: surova tla, ranker, rendzina, step-ska tla (černozemi), smeđa tla, podzoli, tera fuska, pseudoglej, pelosol;
2. semiterestrička, tj. tla s podzemnom vodom i poplavna tla: glejevi, livadska tla (recentna, aluvijalna, teška starija aluvijalna tla);
3. subhidrička, tj. tla pod vodom: bogata kisikom, gyttja i siromašna kisikom: sapropel;
4. tresetna tla.

8.1. Nova američka klasifikacija iz 1967.

1. **Entisoli**: vrlo malo ili slabo razvijena bez jasno vidljivih horizontata: npr. surova tla, ranker, slabo razvijeni glejevi;

2. **Vertisoli**: zbijena tamna tla s visokim sadržajem gline koja bubri, npr. grumusol, regur, tirs, smonica;

3. **Inseptisoli**: slabo razvijena tla s izraženim horizontima, slabo trošenje i bez premještanja gline: smeđa tla profila A(B)C, glejevi, pseudoglejevi s profilom A(B)g;

4. **Aridisoli**: tla sa znacima suhe klime, slanim horizontima i pokoricom, npr. pustinjska i polupustinjska tla;

5. **Molisoli**: tla s moćnim, tamnim humusnim A₁ horizontom, npr. černozemni, kestenjasta tla, step-ska i sva druga bogata humusom;

b. **Spodosoli**: tla s A_e (ispranim) horizontom i podzoli s B horizontom, npr. podzoli;

7. **Alfisoli**: tla s horizontom B obogaćenim glinom i umjerenim trošenjem silikata, dijele se u Boralf (lesivirana), Udalf (humidna lesivirana), Ustalf (lesivirana toplih klimata), crvenice, tera fusca, mediteranska tla, Xeralf (slična Ustalfu, ali sušnija);

8. **Ultisoli**: tla s B horizontom akumulirane gline i jasnim obogaćivanjem željeznim i aluminijskim oksidom, npr. Ultisoli humidnih klimata;

9. **Oksisoli**: tla koja se sastoje pretežno od horizontata Fe i Al oksida, npr. latosoli, lateriti;

10. **Histosoli**: hidromorfna organska tla — treseti.

Kod nas koristimo klasifikaciju koju su izradili Škorić, Filipovski i Ćirić (1973) s podjelom na Automorfna s 5 klasa, od nerazvijenih (A)—C tala do P—C antropogenih automorfnih tala.

Budući da nas ovdje zanima problem odvodnje tala to ćemo koristiti detaljan prikaz Hidromorfnih tala prema: Tabelarnom pregledu klasifikacije tala Jugoslavije iz 1973. godine. (Izostavljena su automorfna i halomorfna tla.)

8.2. Hidromorfna tla

Klasa	Tip	Podtip	Varijetet	Forma
I. (A)G ili (A)—C NERAZVIJENA	1. ALUVIJALNA ILI FLUVIJALNA (FLUVISOL)	1.1. Karbonatna	1. (1) 1. Plitka	Za sve jedinice po mehaničkom sustavu: 1. Skeletna 2. Pjeskovita 3. Ilovasta 4. Glinasta
		1.2. Karbonatna oglejena	2. Srednje duboka	
		1.3. Karbonatna zaslanjena i alkalizirana	3. Duboka	
		1.4. Karbonatna glejna i zaslanjena	4. Vrlo duboka	
		1.5. Nekarbonatna	5. Dvoslojna s fosilnim tlom	
		1.6. Nekarbonatna oglejena		
II. A—Eg—Bg—C	1. PSEUDOGLEJ	1.1. Ravničarski (na zaravni)	1. (1—2)1. Plitki	1. Distrični 2. Eutrični
		1.2. Obronačni	2. Srednje duboki 3. Duboki	
(SEMIGLEJNA)	1. LIVADSKO (SEMIGLEJ)	1.1. Černozemno livadski	1. (1—2)1. Karbonatno	Prema stupnju zaslanjenosti i alkalizacije
		1.2. Aluvijalno livadski	2. Nekarbonatno	
		1.3. Posmeđeno livadski		
III. A—C—G	1. PSEUDOGLEJ-GLEJ			Za sve: 1. Na pretaložnom lesu 2. Na aluvijalnom nanosu 3. Na pijesku
		2. RITSKA CRNICA (HUMOGLEJ)	Prema stupnju zaslanjenosti i alkalizacije	

3. MOČVARNO GLEJNO (EUGLEJ)	3.1. Hipoglejno 3.2. Epiglejno 3.3. Amfiglejno	3.(1—3)1. Mineralno 2. Humozno ” ”	3.1.(1—2)1. Karbonatno 2. Nekarbonatno 3. Zaslanjeno i alkalizirano 3.2.(1—2)1. Karbonatno 2. Karbonatno vertično 3. Nekarbonatno 4. Nekarbonatno vetrično 3.3.(1—2)1. Karbonatno 2. Karbonatno vetrično 3. Nekarbonatno 4. Nekarbonatno vetrično
IV. A—G (GLEJNA)			
4. TRESETNO GLEJNO	4.1. Slabo humificirano 4.2. Srednje humificirano 4.3. Jako humificirano	4.(1—3)1. Eutrični 2. Distrični	
1. IZDIGNUTI TRESET	1.1. Plitko 1.2. Srednje duboko 1.3. Duboko	1.(1—3)1. Slabo humificirano 2. Srednje humificirano 3. Jako humificirano	
2. PRELAZNI TRESET	1.1. Plitko 1.2. Srednje duboko 1.3. Duboko	1.(1—3)1. Slabo humificirano 2. Srednje humificirano 3. Jako humificirano	Za sve jedinice 1. Oligotrofno 2. Mezotropno
3. NISKI TRESET	1.1. Plitko 1.2. Srednje duboko 1.3. Duboko	1.(1—3)1. Slabo humificirano 2. Srednje humificirano 3. Jako humificirano	Za sve jedinice 1. Oligotrofno 2. Mezotrofno 3. Eutrofno
V. T—G			

LITERATURA

1. *Boulaine, J.*: Pédologie appliquée, Paris 1979.
2. *Bonneau, M., Souchier, B.*: Constituans et Propriétés du Sol, Paris 1979.
3. *Callot, G., Chamayou, H. et al.*: »Les interactions sol-racine«, Paris 1982.
4. *Concaret, J., Perrey, c. et al.*: »Drainage agricole«, Dijon 1981.
5. *Concaret, J., Đaković, B.*: Structure des sols et drainage. Revue Drainage, no. 18, 1978.
6. *Duchaufour, P.*: »Précis de pédologie«, Paris 1970.
7. *Duhtil, J.*: »Eléments d'écologie et d'agronomie«, I—III, Paris 1973.
8. *Eggelsmann, R.*: Dränanleitung, Hamburg 1979.
9. *Fitzpatrick, E. A.*: »Soil Science«.
10. *Hénin, S.*: »Cours du physique du sol«, Paris 1976.
11. *Hodgson, J. M.*: »Soil Survey Field Handbook«, Techn. Monog., No. 5, Harpenden 1976.
12. *Kohnke, H.*: »Soil physics«, New York 1968.
13. *Kuntze, H.*: »Bodenkunde«, Stuttgart 1969.
14. *Plaisance, G., Callioux, A.*: »Dictionnaire des sols«, Paris 1958.
15. *Poirée, M., Ollier, Ch.*: »Assainissement agricole«, Paris 1978.
16. *Racz, Z.*: »Meliorativna pedologija« I i II, Zagreb 1981.
17. *Rode, A. A.*: Počvovedenie, Moskva 1955.
18. *Thomasson, A. J.*: »Soil and Field Drainage«, Rothamstead 1975.
19. *Vlahinić, M., Resulović, H. et al.*: »Rezultati optimalnog načina odvodnje u teškim tlima«, Polj. fak. Sarajevo, Sarajevo 1976.
20. *Škorić, A., Filipovski, G., Čirić, M.*: Klasifikacija tala Jugoslavije, Zagreb 1973.
21. *Wesseling, J.*: »Proceeding of the international drainage workshop. Publ. 25 ILRI, Wageningen 1979.

METEOROLOŠKE I HIDROLOŠKE PODLOGE

Dr OGNJEN BONACCI, sveuč. prof.

1. UVOD

Naslov rada je vrlo širok i baš zbog toga traži određena objašnjenja već na samom početku izlaganja. Pretenciozno bi bilo obećati da će svi elementi meteoroloških i hidroloških podloga vezanih uz probleme odvodnjavanja ovdje biti sadržani na nivou koji će zadovoljiti sve stručnjake i korisnike. Bit će uloženi trud da se ispuni ovaj zadatak, s razumljivim autorovim vlastitim stavom u odnosu na veliku opsežnost problematike, i na shvatljivu ograničenost prostora u knjizi koji je stavljen na raspolaganje gornjoj temi.

Naglasak će biti stavljen na sakupljanje i obradu osnovnih hidrometeoroloških podloga neophodnih za shvaćanje, projektiranje i konkretno unapređivanje poljoprivredne odvodnje. Tretirat će se pretežno karakteristike zraka, potom vode, a tek periferno tla, budući da se ove posljednje uglavnom direktno sakupljaju, koriste i obrađuju od strane poljoprivrednih stručnjaka. Hidrološki procesi transformacije brutto u netto kiše, a potom u otjecanje neće ovdje biti jako detaljno analizirani.

Naglašava se značenje sakupljanja hidrometeoroloških podloga i informacija, a odmah potom i potreba njihove pravilne obrade s ciljem da se izvuku neophodni i svrsishodni elementi, korisni za praćenje i projektiranje analiziranog procesa. Vrlo smo često svjedoci da su hidrometeorološke obrade same sebi svrhom. Takve situacije treba izbjegavati, a to je najefikasnije moguće obaviti interdisciplinarnom suradnjom stručnjaka raznih profila, a prije svega onih koji pružaju informaciju s onima koji je koriste u praksi. Zelja ovog rada sastoji se upravo u tome da pridonese ispunjavanju navedenog cilja.

2. METEOROLOŠKE PODLOGE

Prije no što se krene na izlaganje konkretne problematike, bit će potrebno definirati nekoliko pojmova važnih za razumijevanje daljnjeg teksta. Kao prvo, osvrnut ćemo se na pojmove vremena i klime. Vrijeme predstavlja stvarno stanje meteoroloških elemenata i pojava u određenom trenutku i na određenom mjestu. Radi se, dakle, o u cijelosti definiranom pojmu karakteriziranom broječanim veličinama meteoroloških elemenata. Vrijeme je promjenjivo i u toku vremena i u prostoru. Osnovni meteorološki elementi koji formiraju i karakteriziraju vrijeme su: Sunčevo zračenje i Zemljino izračivanje, pritisak zraka, temperatura zraka, vlažnost zraka, te pravac i brzina vjetrova. Meteorološke pojave koje sudjeluju u formiranju vremena su: oblaci, magla, kiša, snijeg (padavine općenito), te optičke i električne pojave u atmo-

sferi. Navedeni meteorološki elementi i pojave rezultiraju iz različitih fizičkih procesa koji se zbivaju na površini zemlje i u plitkom sloju tla, te u atmosferi. Činioni koji naj snažnije utječu na formiranje vremena su intenzitet Sunčeva zračenja, cirkulacija zraka u atmosferi i karakter podloge.

Klima ili podneblje je skup vremenskih pojava kojima je definirano srednje fizičko stanje atmosfere iznad nekog prostora, koji može biti malen (npr. mala poljoprivredna površina) ili velik (npr. cijeli kontinent). Razumljivo je da se i vrijeme i klima mogu precizno definirati samo na bazi opažanja meteoroloških elemenata i pojava. Što su ona dugotrajnija, izvedena preciznijim instrumentima, te što su brojnija (misli se na prostornu raspodjelu mjernih lokacija), saznanja o vremenu i klimi su cjelovitija. Matematička statistika obilno pomaže kako u sistematiziranju i sređivanju brojnih podataka tako i u donošenju zaključaka o promjenjivosti vremena i klime u prostoru i u vremenskom tijeku.

2.1. Sunčevo zračenje

Bez osobite greške može se navesti da je Sunčevo zračenje najvažniji meteorološki element. On je osnovica svake akcije planetarnog izučavanja opće cirkulacije u atmosferi Zemlje, a u suštini je ono izvor energije i atmosfere i naše Zemlje. Sunčeva energija emitira se u svemir u obliku elektromagnetskih valova. Najveći je dio u obliku kratkovalnog zračenja, i to pretežno u valnim dužinama vidljive svjetlosti. Energija Sunca gotovo u cijelosti pada u valne dužine od 0,3 do 3 mikrona ($0,3-3 \cdot 10^{-4}$ cm). S druge strane, tlo i atmosfera naše Zemlje reflektiraju dio od Sunca primljene energije u obliku dugovalnog zračenja nazvanog još i terestričkim. Ono praktično u cijelosti pripada valnim dužinama od 30 do 50 mikrona, što odgovara infracrvenom dijelu spektra. Svjetlost je dio spektra koji se može vidjeti ljudskim okom, a leži u granicama od 0,36 do 0,76 mikrona. Razlog što Sunce zrači kratkovalne, a Zemlja dugovalne elektromagnetske valove leži u činjenici definiranoj Wienovim zakonom koji je utvrdio da svako tijelo emitira maksimum energije na jednoj valnoj dužini koja je funkcija njegove temperature. Ovaj zakon ujedno precizira da, što je valna dužina zračenja tijela različitija od valne dužine maksimuma, time je i udio energije koji se na njoj zrači manji. Na osnovi prethodno iznesenog postaje potpuno razumljiva razlika u dužini elektromagnetskih valova koju emitira Sunce s temperaturom od oko 6000°K od onih koje emitira tlo i atmosfera Zemlje s temperaturom od cca $250-300^{\circ}\text{K}$.

Bilanca kratkovalnog zračenja Q_{KV} može se izraziti jednadžbom (1):

$$Q_{KV} = S + D - R \quad (1)$$

u kojoj je S — direktno Sunčevo zračenje, D — difuzno nebesko zračenje, a R — reflektirano kratkovalno zračenje s površine Zemlje. Pošto se zbrojena $S + D$ komponenta naziva još i globalno zračenje G moguće je uvođenje G u izraz (1) definirati albedo a kao dio reflektiranog globalnog zračenja, što se može prikazati daljnjim razvojem izraza (1), a što je izvedeno u izrazu (2):

$$Q_{KV} = G - R = G - aG = G(1 - a) \quad (2)$$

Bilanca dugovalnog zračenja Q_{DV} može se prikazati izrazom (3):

$$Q_{DV} = A - E - rA \quad (3)$$

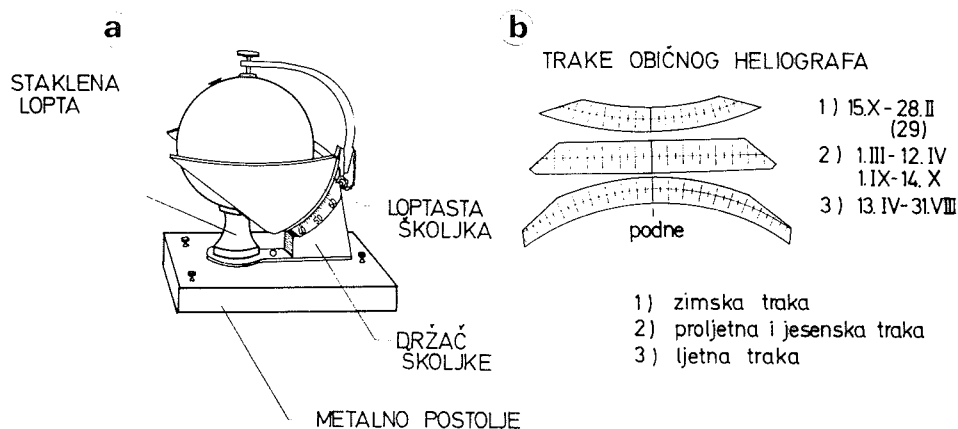
u kojem je A — protivzračenje atmosfere usmjereno prema Zemlji, E — izračivanje Zemlje, rA — reflektirani dio protivzračenja atmosfere ($r < 1$).

Jednadžba ukupne bilance može se definirati zbrajanjem izraza (2) i (3).

Energetska bilanca na neku površinu (dakle suma zračenja i reflektiranja — izračivanja) ovise o oblačnosti i nadmorskoj visini, o orografiji (zaklonjenosti ili ekspoziciji), te o stanju površine zemlje. Pravci i upadni kutevi difuznog zračenja različiti su i dolaze sa svih strana atmosfere, dok su zrake kod direktnog zračenja usmjerene od Sunca prema nekoj površini pod kutem koji je funkcija položaja Zemlje prema Suncu. Ukupna je bilanca pozitivna, s tim da je ona to veća što je oblačnost atmosfere manja.

Mjerenje nekih karakteristika sijanja Sunca vrši se već vrlo dugi niz vremena. Tu se primarno misli na vremensko trajanje sijanja Sunca. Na slici

KEMBEL-STOKSOV OBIČNI HELIOGRAF



Slika 1

Ia dat je Kembel-Stoksov heliograf. Radi se o staklenoj kugli radiusa 10 cm na čijem se metalnom postolju stavljaju trake prikazane na slici 1b. Na trakama koje su crne boje označeno je vrijeme. Sunčeve zrake u periodu sijanja Sunca fokusiraju se kroz staklenu kuglu i spaljuju crni papir, na bazi čega se definira vrijeme trajanja sijanja Sunca. U tablici I dat je minimalni, maksimalni i srednji broj sati sijanja Sunca opažen na meteorološkoj stanici Split-Marijan u razdoblju 1945—1976.

Tablica I

MINIMALNI, MAKSIMALNI I SREDNJI BROJ SATI SIJANJA SUNCA
PO MJESECI I U GODINI NA METEOROLOŠKOJ STANICI SPLIT-MARJAN
U RAZDOBLJU 1945—1976.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
min.	36	47	125	156	205	242	296	253	208	108	81	62	2.164
max.	193	217	296	293	332	373	384	376	319	272	201	161	2.826
sr.	122	136	184	220	269	308	351	324	247	198	123	108	2.591
SREDNJA VRIJEDNOST SATI SIJANJA SUNCA NA DAN													
	4,0	4,8	5,9	7,4	8,7	10,3	11,3	10,5	8,2	6,4	4,1	3,5	7,1

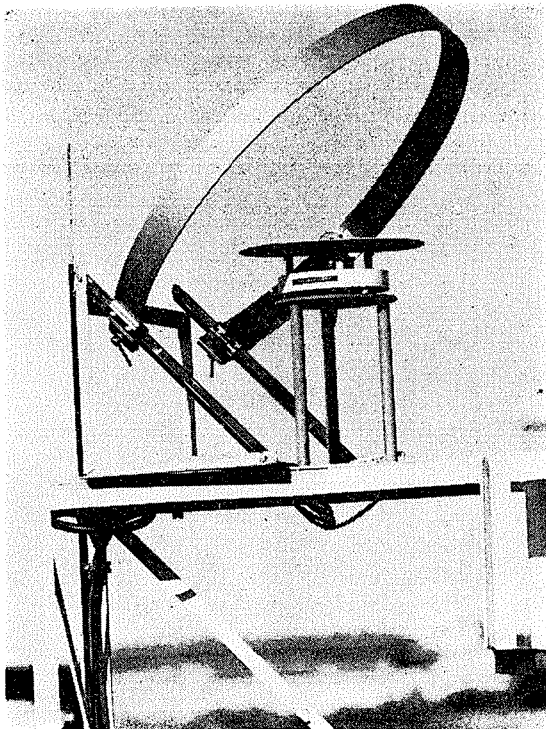
Za mjerenje energije pojedinih komponenti zračenja i izračivanja postoje brojni instrumenti pod slijedećim nazivima: piranometar, pirradiometar, pirheliometar, bilancmetar, aktinograf, itd. U svojoj suštini svi oni mjere razliku temperatura između apsorpcionih pločica izloženih nekoj komponenti zračenja i pasivnih elemenata koji uglavnom imaju temperaturu sličnu temperaturi zraka. Da bi se još ojačao kontrast, apsorpcione pločice su crne boje, a pasivne pločice smještene su u zaklonjeni unutrašnji dio instrumenta ili su premazane bojom koja reflektira zračenje ako su mu izložene. Na slici 2 data je fotografija piranometra Moll-Gorczyńskog koji je opremljen sjenilom za mjerenje samo komponente difuznog zračenja, a smješten je na Meteorološkoj stanici Zagreb-Maksimir. Da bi se mjerile pojedine komponente zračenja, senzori se usmjeravaju ili prema zemlji ili prema nebu, a da bi se mjerilo samo kratkovalno zračenje postavlja se iznad apsorpcionih pločica staklena kupola, budući da staklo ne propušta valne dužine veće od 3 mikrona.

Potrebno je naglasiti da podaci o sijanju Sunca kako oni o vremenu, tako i o energiji postaju sve značajniji elementi kod projektiranja u poljoprivredi, te im je ovdje zato posvećena dužna pažnja.

2.2. Tlak zraka

Zrak je smjesa plinova koji ispunjavaju prostor Zemljine atmosfere do velike visine. Gustoća zraka 773 puta je manja od gustoće vode u čemu i leži razlog njegove nevidljivosti. Zračni ili atmosferski pritisak definira se kao pritisak stupca zraka na horizontalnu površinu dimenzija 1 cm². Visina tog stupca ide od površine Zemlje do gornje granice atmosfere. Već je iz same definicije jasno da tlak zraka opada s nadmorskom visinom. U vezi s tim definiran je i pojam baričke stope koja predstavlja visinsku udaljenost za koju se treba dignuti ili spustiti, a da bi se veličina atmosferskog pritiska promijenila za jedinicu.

Jedinica za mjerenje pritiska je Pascal. Za mjerenje tlaka zraka uobičajeno je da se kao jedinice koriste bari i milibari čiji je međuodnos s Pascalima dat izrazom (4):



Slika 2

Piranometar opskrbljen sjenilom za mjerenje isključivo komponente difuznog kratkovalnog zračenja. Instrument se nalazi na Meteorološko-aerološkom opservatoriju u Zagrebu, Maksimir, a snimio ga je prof. B. Kirigin

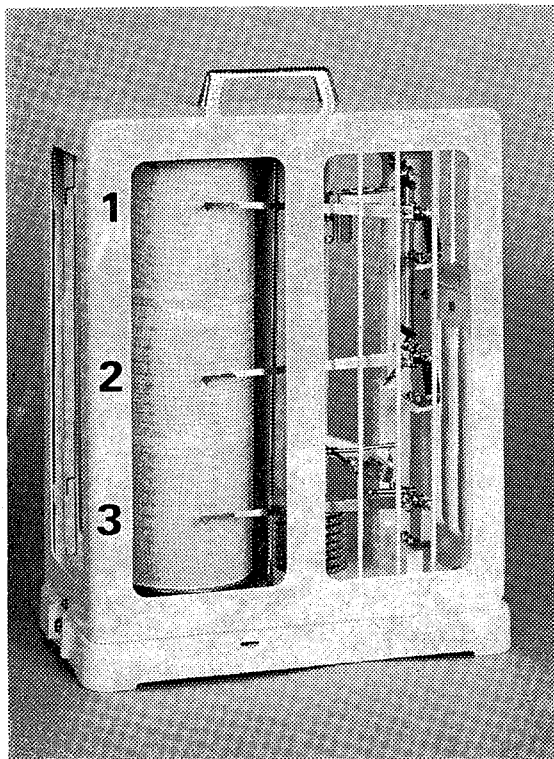
$$1 \text{ bar} = 1000 \text{ mb} = 10^6 \text{ Pascala} = 10^3 \text{ kPa} \quad (4)$$

Do donošenja Zakona o mjernim jedinicama i mjerilima za mjerenje tlaka zraka najčešće se koristila jedinica mm stupca žive ili mmHg. Danas je ona napuštena, ali je još uvijek ostala u svijesti ljudi, a ponegdje i u upotrebi, te se zbog toga daje odnos između ove jedinice i milibara izrazom (5):

$$1 \text{ mmHg} = 1.333 \text{ mb}; 1 \text{ mb} = 0,7501 \text{ mmHg}; 760 \text{ mmHg} = 1,013 \text{ mb} \quad (5)$$

Tlak zraka mjeri se živinim barometrima i aneroidima (slika 3-3). Živini barometri rade na principu određivanja dužine stupca koji drži u ravnoteži stupac zraka istog poprečnog presjeka s visinom do gornje granice atmosfere. Aneroidi su instrumenti čiji glavni dio (senzor) predstavljaju zatvorene, plosnate kutije od valovitog lima iz kojih je potpuno ili djelomično izvučen zrak. U njima (katkada postoje i nešto drugačija rješenja) se nalazi snažan

sustav opruga koje se odupiru sili tlaka zraka, te time spriječava da se kutije spljošte. Barograf je naziv za instrumente koji kontinuirano bilježe stanje i promjene zračnog pritiska, a mjere tlak na principu aneroida. Bilježenja su uglavnom tjedna, s početkom (promjenom trake) svakog ponedjeljka u 7 sati ujutro.



Slika 3

Prenosni tjedni termograf (1), hidrograf (2) za mjerenje relativne vlage i barograf na principu aneroida (3)

Već prethodno je naglašeno da je zrak mehanička smjesa plinova, te je na njega u cijelosti primjenjiv Daltonov zakon koji govori da je tlak smjesa plinova jednak sumi parcijalnih tlakova plinova koji čine tu smjesu. Za naše daljnje praktično korištenje najviše nas zanima parcijalni tlak vodene pare koji se označava »e«. O ovom pojmu bit će detaljnije govora u poglavlju 2.4. Vlažnost zraka.

Zanimljivo je napomenuti da je najniži tlak zraka u Jugoslaviji (posebno na području SR Hrvatske) zabilježen 2. XII 1976. u razdoblju od 19 do 23 sata, te da je npr. u Zadru 968 mb (normalni tlak zraka tu iznosi 1020 mb), a u gradu Zagrebu 950 mb (normalni iznosi cca 995 mb).

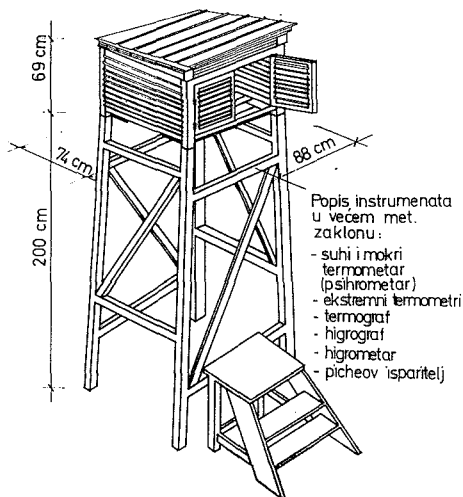
2.3. Temperatura

Toplina je vrsta energije koja nastaje od unutrašnjeg kretanja molekula. Pretežni dio topline koja se nalazi u atmosferskim procesima stiže tamo sa Zemljine površine. Samo manji dio dolazi od apsorpcije u atmosferi kratkovalne Sunčeve radijacije. Proizlazi da se atmosfera (misli se primarna na zrak kao njen osnovni sastavni dio) zagrijava odozdo od strane Zemljine podloge. Temperatura tijela predstavlja njegovo toplotno stanje i ima kvantitativnu vrijednost izraženu u stupnjevima, u praksi najčešće stupnjevima Celzusa — °C. Temperatura je funkcija prostora i vremena i podložna je vrlo snažnim pulsacijama u kratkim vremenskim razmacima. Zbog toga je kod njena mjerenja potrebno voditi o tome računa. Termometri, kojima se mjeri temperatura, ne smiju biti sa suviše malom inercijom, ali za preciznija mjerenja nikako ne odgovaraju inertni termometri. Temperatura se mjeri instrumenata s točnošću do jedne desetine stupnja.

U mreži stanica u našoj zemlji koriste se slijedeći termometri za mjerenje temperature zraka: obični živini termometri (suhi i mokri), maksimalni živin i minimalni alkoholni termometar, Assmannov psihrometar i termograf. Prikazi nekih termometara dati su na slikama 3, 7 i 8. Suhi i mokri termometri, Augustov, kao i Assmannov psihrometar služe za određivanje vlage zraka, preciznije pritiska vodene pare e. Temperatura zraka mjeri se termometrom u tri vremenska termina u 7, 14 i 21 sat, dnevni srednjak \bar{t} se određuje izrazom (6):

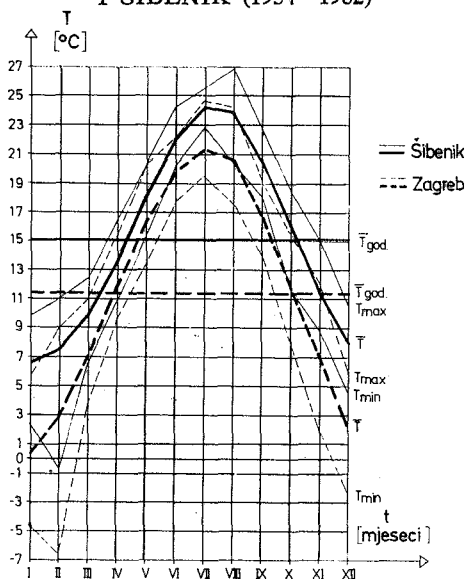
$$\bar{t} = \frac{1}{4} (t_7 + t_{14} + 2 t_{21}) \quad (6)$$

METEOROLOŠKI ZAKLON
Dimenzije su date za veći tip



Slika 4

KARAKTERISTIČNE MJESEČNE
I GODIŠNJE TEMPERATURE
NA METEOROLOŠKIM STANICAMA
ZAGREB (1951—1980)
I ŠIBENIK (1954—1982)



Slika 5

Termograf je instrument koji kontinuirano bilježi promjene temperature zraka u vremenu. Traka se obično mijenja jedanput dnevno.

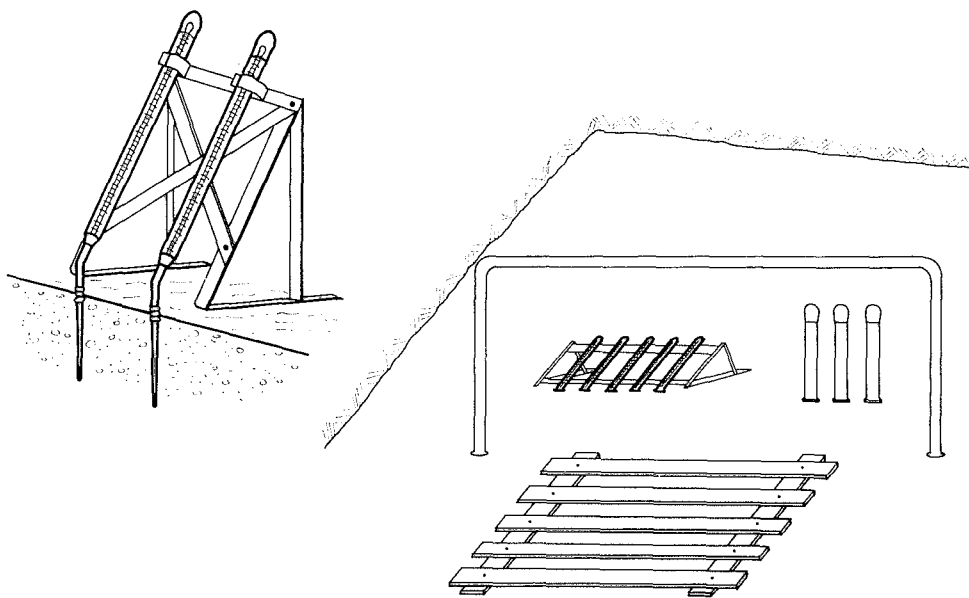
Mjerenje temperature zraka vrši se u meteorološkim zaklonima (slika 4) koji se nalaze na visini od 2 m iznad površine Zemlje. Meteorološki zaklon štiti sve instrumente koji se u njemu nalaze od neposrednog utjecaja zračenja, vjetrova i padavina, a izrađen je tako da osigura stalnu cirkulaciju sa zrakom izvan zaklona, kako bi se omogućilo mjerenje realnih karakteristika zraka. Provjetravanje, a time i cirkulacija, omogućeni su rebrastim zidovima kroz koje zrak slobodno struji. Zaklon je premazan bijelim lakom da bi što više odbijao sunčeve zrake i da bi se time što manje zagrijavao.

Na slici 5 grafički je prikazan hod srednjih mjesečnih temperatura na meteorološkim stanicama Zagreb-Grič i Šibenik.

Temperatura zemljišta važan je element toplotne bilance zemljišta i prizemnog sloja zraka, a za nju je posebno zainteresirana, osim meteorologije, i poljoprivreda. Temperatura tla mjeri se geotermometrima (slika 6) na stan-

KOLJENASTI GEOTERMOMETAR

GEOTERMOMETARSKO POLJE



Slika 6

dardnim dubinama od 2, 5, 10, 20, 30, 50 i 100 cm. Kolebanje temperature smanjuje se po amplitudi s dubinom slojeva tla, a ovisi i o tome da li je tlo prekriveno vegetacijom. Zemljište s vegetacijom manje se zagrijava, ali se utjecaj vegetacije na temperaturu tla osjeća samo do dubine od cca 50 cm.

Temperatura vode mjeri se najčešće običnim termometrom čija se donja granica mjerenja kreće od 0°C do -5°C. Termometri se ugrađuju u posebni oklop od metalne cijevi koja ih štiti od oštećenja. Pri dnu nalazi se čašica

čiji su gornji krajevi izbušeni, kako bi voda mogla ući u nju. Mjerenje temperature vrši se u jednom terminu na dan. Mjerenje se vrši u sredini riječnog toka, a termometar treba držati cca 3 do 5 min u vodi.

2.4. Vlažnost zraka

Atmosfera uvijek u sebi sadrži neku količinu vodene pare, koja predstavlja bezbojan plin bez ukusa i mirisa. Ovisno o temperaturi okoline, vodena para može preći iz plinovitog u tekuće ili kruto stanje. Prelaskom iz višeg agregatnog stanja (npr. krutog u tekuće, itd.) troši se iz okoline određena toplina, dok se pri obratnom procesu ona oslobađa u okolinu. Zahvaljujući prisustvu vodene pare, kao i njenim svojstvima u atmosferi se stvaraju oblaci, te sve vrste horizontalnih i vertikalnih padavina. Uloga vodene pare u atmosferi od ogromnog je značenja za život na Zemlji, i to ne samo zbog činjenice što je ona osnovni uvjet za formiranje padavina, nego, mnogo više, i zbog toga što ona apsorbira velik dio dugovalne radijacije Zemlje (dijelom i kratkovalnog sunčevog zračenja), pa time regulira intenzitet gubitka topline sa Zemljine kugle. Samim tim vodena para u atmosferi je velik akumulator latentne topline. Ona predstavlja značajan regulator isparavanja, a posebno isparavanja znoja iz ljudskog tijela, te time izravno utječe na biološki mehanizam, osjetila i zdravlje.

Vlažnost zraka uobičajeno je izraziti putem slijedećih pet pojmova: apsolutna vlažnost, relativna vlažnost, deficit zasićenosti ili deficit vlažnosti, pritisak vodene pare i točka rose ili rosište.

Prije no što se krene na objašnjavanje spomenutih pojmova, neophodno je naglasiti da potencijalni sadržaj vlage u zraku izravno ovisi o temperaturi zraka. Što je temperatura viša, zrak može primiti i veću količinu vodene pare.

Apsolutna vlažnost predstavlja težinu vodene pare u jednom metru kubičnom zraka. Do ove veličine dolazi se vrlo teško i isključivo u laboratorijskim uvjetima, tako da se pojam apsolutne vlažnosti ne koristi u praktične svrhe.

Relativna vlažnost R označava stupanj zasićenosti zraka vodenom parom. Izražava se najčešće u postocima, a praktično se definira odnosom pritiska vodene pare u zraku e i pritiska vodene pare zasićenog zraka E_t pri stvarnoj temperaturi t , putem izraza (7):

$$R = (e/E_t) 100 \quad (7)$$

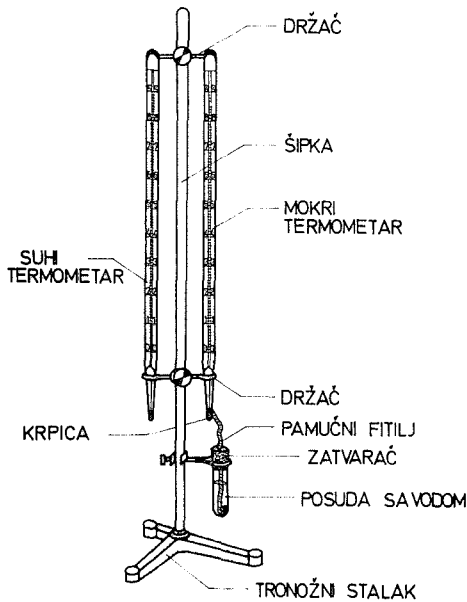
U tablici II date su vrijednosti tlakom vodene pare zasićenog zraka E_t kod raznih temperatura t . Vidljivo je da porast temperature zraka od 40°C (od -10 do $+30$) omogućava zraku da sadrži čak 14,8 puta više vodene pare. Na slikama 7 i 8 nalaze se Augustov psihrometar i psihrometar s usisivačem.

Tablica II

TLAKOVI VODENE PARE ZASIĆENOG ZRAKA — E_t
U FUNKCIJI TEMPERATURE ZRAKA IZRAŽENI U mb

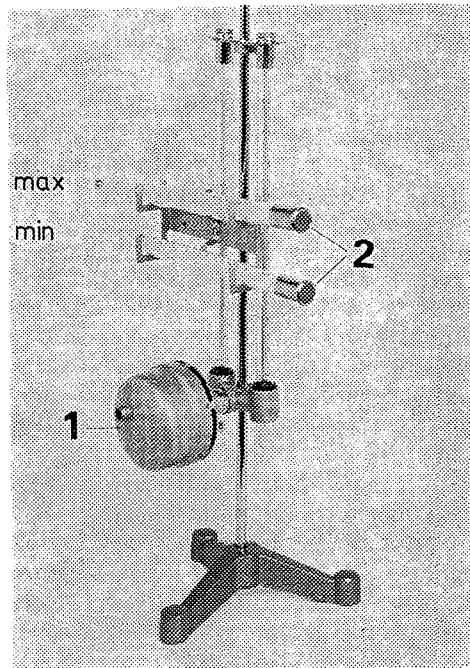
t [$^\circ\text{C}$]	-10	-5	0	2	4	6	8	10	15	20	25	30
E_t [mb]	2,87	4,21	6,10	7,05	8,13	9,34	10,7	12,3	17,0	23,4	31,7	42,4

AUGUSTOV PSIHROMETAR



Slika 7

ASPIRACIONI PSIHROMETAR (1) I MINIMALNI I MAKSIMALNI TERMOMETRI (2) NA STALKU, PRIPREMLJENI ZA SMJEŠTANJE U METEOROLOŠKI ZAKLON



Slika 8

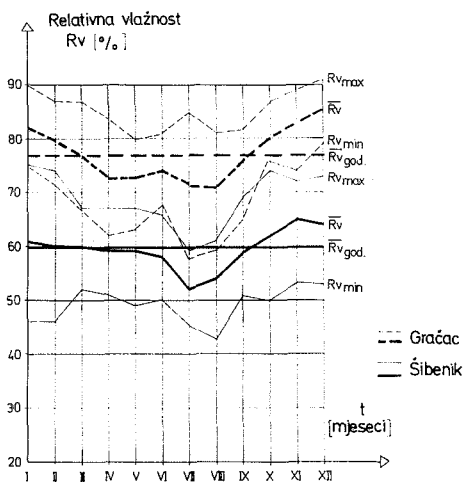
Radi se o mjernim instrumentima s pomoću kojih se psihometarskom metodom određuje vlažnost zraka, precizniji pritisak vodene pare u zraku. Suština metode mjerenja sastoji se u očitovanju razlike temperatura na suhu i vlažnu termometru. Vlažni je termometar povezan s posudom u kojoj se nalazi voda koja isparava i koja pri tome troši određenu toplinsku energiju, što se registrira na skali mokrog termometri. Suhu termometar mjeri stvarnu temperaturu zraka. Osnovni oblik psihometrijske formule glasi (izraz 8):

$$e = E - A(t - t_1)H \quad (8)$$

pri čemu je e — tlak vodene pare, E — pritisak zasićene vodene pare, t — temperatura zraka koju pokazuje suhi termometar, t_1 — temperatura vlažnog termometra, H — pritisak zraka, A — koeficijent. U nas se u praksi mnogo češće koristi psihrometar s usisivačem. Budući da točnost mjerenja vlažnosti zraka ovisi o uvjetima provjetravanja termometara, to je ovdje postavljen poseban usisavač (mehanički ili električni) koji stvara umjetno strujanje zraka i time poboljšava preciznost mjerenja.

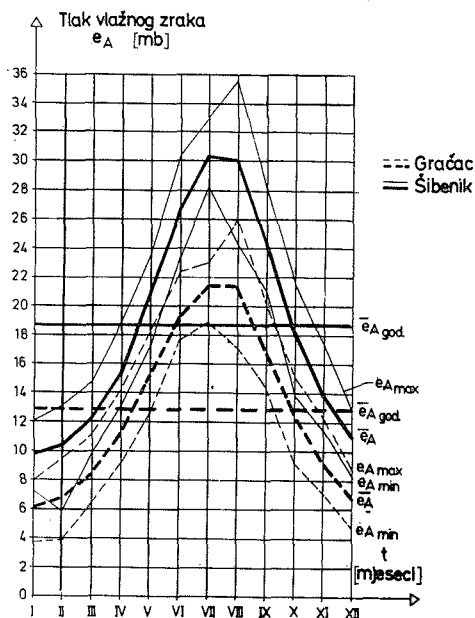
Na slici 9 dat je hod relativne vlage R u godini na meteorološkim stanicama Gračac i Šibenik po mjesecima. Uočava se da ona opada u toplijem

KARAKTERISTIČNE MJESEČNE
I GODIŠNJE RELATIVNE VLAŽNOSTI
NA METEOROLOŠKIM STANICAMA
ŠIBENIK I GRAČAC (1954—1982)



Slika 9

KARAKTERISTIČNI MJESEČNI
I GODIŠNJI
TLAKOVI VLAŽNOG ZRAKA
NA METEOROLOŠKIM STANICAMA
GRAČAC I ŠIBENIK (1954—1982)



Slika 10

dijelu godine, te da je bitno veća (za cca 15—20%) na hladnijoj lokaciji Gračaca, nego u toplom području Šibenika.

Pritisak vodene pare definiran je već prethodno, a objašnjen je i način njegova određivanja. Neophodno je naglasiti da se radi o izrazito često korištenoj veličini, čija je praktična primjena posebno važna pri definiranju procesa evaporacije. Hod pritiska vodene pare po mjesecima na meteorološkim stanicama Gračac i Šibenik prikazan je na slici 10. Uočava se da je on točno suprotan od godišnjeg hoda relativne vlažnosti, dakle u toplijim mjesecima ima više vlage (veći je pritisak vodene pare), iako je relativna vlaga manja. Deficit vlažnosti ili deficit zasićenosti, prema tome, veći je u toplom razdoblju godine, iako vlage u zraku tada ima više, gledajući u apsolutnom iznosu. Deficit vlažnosti D predstavlja manjak vodene pare u zraku od potpunog zasićenja. Izražava se ili u postocima ili u milibarima, a može se definirati izrazima (9A) i (9B):

$$D = 100 - R \quad [\%] \quad (9A)$$

$$D = E_t - e \quad [\text{mb}] \quad (9B)$$

Povećanjem deficita vlažnosti raste mogućnost isparavanja, a samim tim i deficita otjecanja.

Točka rose ili rosište definira se kao temperatura pri kojoj je tlak vodene pare u zraku u stanju zasićenosti, tj. radi se o situaciji kada je $e = E_s$. U slučaju postizanja ove jednakosti i nastavljanja hlađenja zraka dolazi do kondenzacije vodene pare i pojave rose.

Vlažnost zraka mjeri se još nekim instrumentima, kao npr. higrometrima s kosom. Princip mjerenja je baziran na praćenju promjene dužine vlasi kose pri promjeni vlažnosti zraka. On služi za mjerenja pri niskim temperaturama, u situaciji kada mjerenja psihometrom nisu pouzdana. Na slici 3-2 prikazan je jedan hidrograf s »harfom« (više paralelnih vlasi kose). On kontinuirano bilježi promjenu relativne vlažnosti u vremenu.

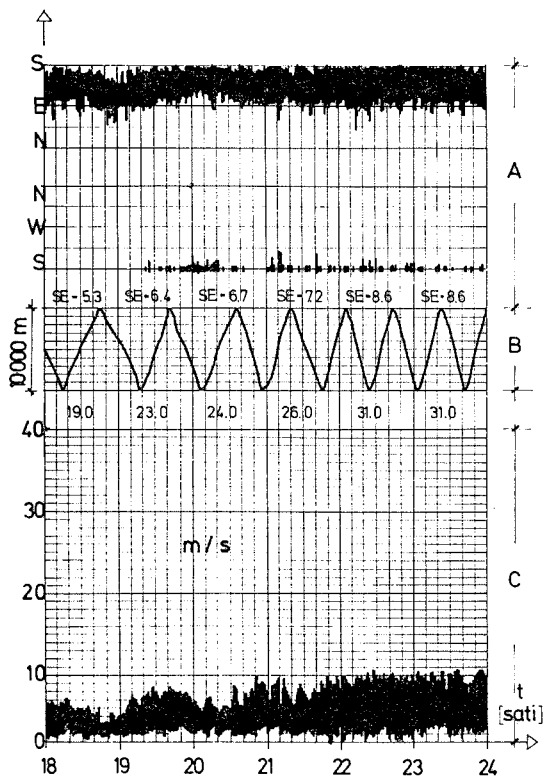
2.5. Vjetar

Vjetar je klimatski element od primarnog značenja, pa se smatra faktorom koji uvelike utječe na klimu. On donosi sa sobom sve karakteristike klime iz prostora odakle puše, a njegovo se djelovanje odražava na izmjenu temperatura, vlage, oblačnosti, padavina, itd. u prostorima do kojih dopire. Pojam vjetra može se definirati kao horizontalno strujanje u atmosferi koje je posljedica primarno razlika tlakova, ali i nekih drugih sila. Karakteriziran je smjerom i brzinom. Smjer vjetra se određuje nazivom one strane svijeta odakle dolazi. Osim razlike atmosferskih pritisaka između područja odakle i prema kojima vjetar puše (sile gradijenta tlaka), na njegovo formiranje utječu još sila teža, devijacijska sila rotacije Zemlje (Coriolisova sila), i trenje s podlogom. Razlike u tlakovima na pojedinim prostorima uvjetovane su izravno razlikama u njihovu zagrijavanju. Formiranje vjetra maestrala koji puše u ljetnom razdoblju odličan je primjer za prethodno navedene postavke. S aspekta hidrometeorologije najbitnija uloga vjetra sastoji se u tome da on donosi vlagu i oborine na kontinentalna područja. Obilne oborine donesenu su isključivo zračnim masama formiranim iznad oceanskih prostora. Važno je napomenuti da zračne mase u gibanju imaju i određenu vertikalnu komponentu koja se, zbog toga što je znatno manja od one horizontalne, zanemaruje. To se odražava i kod mjerenja karakteristika vjetra, kada se na anemometrima mjeri isključivo horizontalno gibanje zraka, paralelno s površinom zemlje. Vjetar se prikazuje vektorom na kojem se određuje smjer i jačina.

Za kontinuirano bilježenje karakteristika vjetra kod nas se najčešće koriste Fuessov anemograf čija je traka (dio trake od 18 do 24 sata) prikazana na slici 11. Bilježenje se sastoji od tri dijela označena na slici s A, B i C. Na prvom dijelu A označavaju se smjerovi puhanja vjetra koji se mjere vjetrokazom. U srednjem dijelu B bilježi se prevaljeni put, s tim da jedan cjelokupni interval iznosi 10.000 m (10 km). Pero bilježi kose linije naizmjenično prema gore i prema dolje, a svaki ispunjeni interval predstavlja put vjetra od 10 km. Vjetar puše na mahove, pulsira to jače što mu je srednja brzina veća. Pulsacijske brzine vjetra bilježe se na najdonjem dijelu trake anemografa označene oznakom C. Vidljivo je da je moguće bilježenje brzine do 40 m/s, a poznato je da jaki sjeverni vjetrovi pušu u nas na udare brzinom i do 60 m/s.

Brzina vjetra izražava se prema Beaufortovoj skali od 0 do 17 bofora. Nula bofora naziva se još tišinom, a puše brzinom od 0 do 0,2 m/s. Vjetar od 17 bofora ubraja se u uraganske vjetrove i puše brzinom od oko 60 m/s. Uobičajena mjera za brzinu vjetra su i čvorovi. U tablici III dati su nazivi

DIO TRAKE FUESSOVOG ANEMOGRAFA
 Podaci opaženi na Meteorološkoj stanici Split-Marjan, dana 1. X 1977.



Slika 11

vjetrova te njihove brzine u boforima, čvorovima i m/s. Na slici 12 prikazan je prijamni dio jednog anemografa.

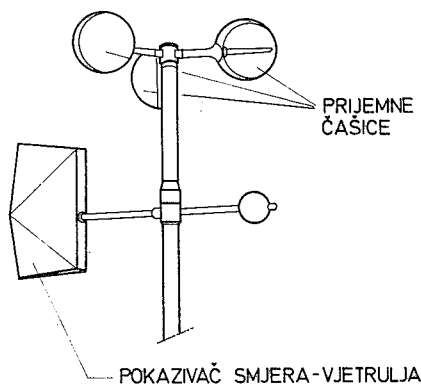
Strujanje vjetra turbulentno je i odražava se kako je već prethodno spomenuto u pulsiranju svake pojedine čestice zraka po veličini brzine i po smjeru. Uzrok turbulencije, a time i pulzacija, leži, prije svega, u hrapavosti podloge, ali i u svojstvima zraka. Kinetička energija vjetra E_k može se definirati izrazom (10):

$$E_k = \frac{1}{2} \rho \bar{v}^2 \quad (10)$$

kod čega je ρ — gustoća zraka, a \bar{v} — srednja brzina vjetra. Ovaj izraz vrlo jasno ukazuje na ogromnu energiju vjetra koja raste s kvadratom njegove brzine. Eolska erozija posljedica je djelovanja vjetra, a može biti potencirana neadekvatnim agrotehničkim mjerama, s posebno snažnom pojavnosti u sušnom razdoblju kada površinski sloj tla nije zaštićen vegetacijom, te je ujedno

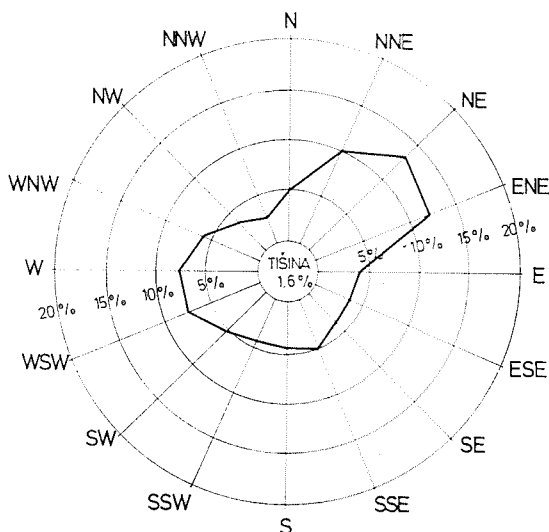
suh i raspucan. Za građevinske objekte neobično su značajni udari vjetra koji izravno utječu na njihovu stabilnost. Zbog toga je potrebno biti vrlo oprezan, te raspolagati kvalitetnim podacima o brzini vjetra i njegovoj vertikalnoj raspodjeli, pri dimenzioniranju visokih objekata (posebno mostova i visokih zgrada). Danas u dinamici i statici postoje detaljno razrađene inže-

FUESOV
UNIVERZALNI ANEMOGRAF
(Prijemni dio)



Slika 12

GODIŠNJA RUŽA
UČESTALOSTI PUHANJA VJETRA
ZA OPSERVATORIJ ZAGREB-GRIC
(1956—1975)



Slika 13

Tablica III
PODJELA VJETROVA

Redni broj	Naziv vjetra	Jačina u boforima	Srednja brzina u	
			čvorovima	m/s
1.	Tišina	0	1	0 — 0,2
2.	Lagani povjetarac	1	1— 3	0,3— 1,5
3.	Povjetarac	2	4— 6	1,6— 3,3
4.	Slabi vjetar	3	7—10	3,4— 5,4
5.	Umjereni vjetar	4	11—16	5,5— 7,9
6.	Umjereni jak vjetar	5	17—21	8,0—10,7
7.	Jak vjetar	6	22—27	10,8—13,8
8.	Vrlo jak vjetar	7	28—33	13,9—17,1
9.	Olujni vjetar	8	34—40	17,2—20,7
10.	Oluja	9	41—47	20,8—24,4
11.	Žestoka oluja	10	48—55	24,5—28,4
12.	Orkanska oluja	11	56—63	28,5—32,6
13.	Orkan	12	64—71	32,7—36,9
14.	Uraganski vjetrovi	13—17	71	37,0—61,2

njerske metode dimenzioniranja takvih objekata na utjecaj vjetra. Osnovni problem leži u raspolaganju kvalitetnim, dugotrajnim i adekvatnim mjerama. Pri tome se zahtijeva da u računu uzete karakteristike vjetra odgovaraju lokaciji na kojoj se objekat izvodi.

Za inženjersku praksu uobičajeno je prikazivanje vjetrova u obliku ruže vjetrova. Načelno postoje dva tipa ruža vjetrova — ruža učestalosti puhanja vjetrova po smjerovima i ruža brzina puhanja vjetrova, također po smjerovima. Na slici 13 data je ruža učestalosti puhanja vjetrova za opservatorij Zagreb-Grič za godinu kao vremensku jedinicu. Uočava se podjela na 16 smjerova, s tim da je ova ruža vjetrova dobivena na bazi perioda mjerenja od 20 godina (1956—1975). Nije ni potrebno posebno naglašavati da se ruže učestalosti puhanja vjetrova mogu definirati za različite vremenske jedinice kao npr. za svaku pojedinu sezonu i mjesec. Ovo je posebno značajno u pomorstvu zbog toga što se neki vjetrovi pojavljuju samo u određenom godišnjem dobu. Ruže vjetrova po učestalosti nose značajnu informaciju o smjerovima s kojih vjetrovi pušu, pa se stoga mogu i trebaju koristiti kao kriterij kod izbora lokacije velikih industrijskih postrojenja, termoelektrana, luka, skladišta, toplana, palionica smeća, itd. Greške u njihovu postavljanju nerijetko su izazvale teške ekološke posljedice. Ruža vjetrova po brzini može se dati u vrijednostima srednjih brzina ili ekstremnih brzina, što je posebno zanimljivo za dimenzioniranje građevinskih objekata.

U tablici IV date su karakteristike mjesečnih i godišnjih srednjih brzina vjetra u m/s opaženih na meteorološkoj stanici Šibenik u razdoblju 1954—1982. Pri dnu tablice izračunate su i različite statističke karakteristike uzorka. Za inženjersku praksu vrlo su značajne informacije o vjerojatnosti istodobnog pojavljivanja određenih brzina, jačina i smjerova vjetra na nekoj lokaciji. U tablici V dati su takvi padaci za opservatorij Zagreb-Grič.

Tablica VI

KARAKTERISTIKE MJESEČNIH I GODIŠNJIH SREDNJIH BRZINA VJETRA
U m/s OPAŽENIH NA METEOROLOŠKOJ STANICI ŠIBENIK

Godina	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
1954.	3,8	5,1	3,1	3,5	2,0	1,2	2,0	2,0	1,5	2,0	3,8	2,7	2,7
1955.	2,3	3,5	3,8	2,5	2,3	2,2	2,0	2,0	1,9	3,1	2,9	2,2	2,6
1956.	2,7	7,2	3,5	3,8	3,3	2,2	1,7	2,2	1,9	2,5	6,0	3,3	3,3
1957.	4,9	2,5	2,5	3,6	2,9	3,1	2,0	2,7	2,0	3,5	4,6	5,3	3,3
1958.	4,2	4,4	4,0	4,6	1,7	2,7	2,0	2,5	3,1	4,9	6,0	5,1	3,8
1959.	7,2	6,7	5,1	5,8	3,1	3,6	4,6	3,6	4,0	4,9	7,5	7,0	5,3
1960.	7,5	5,6	6,5	4,0	5,6	2,7	4,2	2,9	5,8	5,3	6,0	6,5	5,2
1961.	6,0	4,2	2,5	3,3	4,0	2,2	3,6	2,5	2,3	4,4	4,9	6,5	3,9
1962.	6,0	6,2	7,8	3,5	2,5	3,8	3,5	2,3	3,6	4,2	7,5	8,6	5,0
1963.	9,4	6,2	5,1	4,6	3,3	1,5	2,9	2,2	2,9	5,3	5,8	6,2	4,6
1964.	5,6	4,2	6,0	3,1	2,5	2,5	3,1	2,9	4,0	4,9	2,7	2,7	3,7
1965.	4,9	6,0	4,2	3,1	4,4	2,0	2,2	3,1	4,4	2,5	4,9	4,0	3,8
1966.	6,0	4,0	5,1	3,1	1,9	2,5	2,3	2,7	2,9	3,5	3,8	6,0	3,6
1967.	3,5	3,8	4,2	6,2	3,8	2,0	2,7	2,2	2,0	2,0	4,4	6,7	3,6
1968.	6,2	5,8	3,5	3,5	3,5	1,7	2,9	2,9	3,5	2,5	5,6	5,3	3,9
1969.	4,6	5,3	3,8	4,2	2,9	2,2	2,3	3,6	1,4	2,2	4,6	8,1	3,8

Godina	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
1970.	4,2	5,1	5,1	3,8	4,9	2,0	3,8	2,2	2,7	3,6	2,9	4,0	3,7
1971.	6,2	6,5	7,0	3,6	2,2	2,0	4,0	3,1	4,6	4,0	6,0	1,9	4,3
1972.	1,2	4,2	4,0	3,8	1,7	2,7	2,3	2,9	1,1	2,0	3,8	2,5	2,7
1973.	5,6	4,9	3,3	3,8	2,0	2,9	3,3	1,7	2,5	3,6	3,5	4,0	3,4
1974.	1,9	4,6	3,3	5,8	2,5	2,7	2,2	1,7	2,5	3,6	4,0	1,7	3,0
1975.	1,2	4,2	4,0	3,8	1,7	2,7	2,3	2,9	1,1	2,0	3,8	2,5	2,7
1976.	2,7	4,0	4,0	2,2	1,5	1,9	1,2	1,7	2,5	2,5	2,3	3,3	2,5
1977.	4,0	3,6	2,7	3,6	3,3	2,0	2,7	1,9	2,7	1,9	3,1	4,9	3,0
1978.	4,9	5,8	3,5	3,3	2,7	1,9	2,3	2,2	2,3	3,8	2,3	3,3	3,2
1979.	4,9	4,4	2,5	2,3	2,3	1,4	2,7	2,9	2,5	4,9	5,1	3,3	3,3
1980.	5,3	3,3	2,5	2,9	2,9	2,0	2,3	2,2	1,9	4,4	3,6	4,2	3,1
1981.	6,0	2,3	1,9	2,3	2,5	2,3	2,9	2,0	2,5	2,7	3,3	4,9	3,0
1982.	3,1	3,1	4,4	3,5	2,5	1,9	1,9	2,0	1,5	3,1	3,8	5,8	3,0
V _{max}	9,4	7,2	7,8	6,2	5,6	3,8	4,6	3,6	5,8	5,3	7,5	8,6	5,3
V _{min}	1,2	2,3	1,9	2,2	1,5	1,2	1,2	1,7	1,1	1,9	2,3	1,7	2,5
V _{SR}	4,7	4,7	4,1	3,7	2,8	2,3	2,7	2,5	2,7	3,4	4,6	4,6	3,5
σ _{TD}	1,9	1,3	1,4	1,0	1,0	0,6	0,8	0,5	1,1	1,1	1,4	1,9	0,7
C _v	0,41	0,27	0,35	0,27	0,34	0,26	0,30	0,22	0,42	0,32	0,32	0,41	0,21
C _s	0,1	0,1	0,8	0,9	1,0	0,7	0,6	0,5	0,8	0,2	0,5	0,3	0,8

Tablica V

VJEROJATNOST ISTODOBNOG POJAVLJIVANJA
ODREĐENIH BRZINA, JAČINA I SMJEROVA VJETRA ‰
(Prema anemografskim registracijama 01—24 sata)
ZAGREB-GRIC (1956—1975)

BRZINA VJETRA (m/s)	JAČINA VJETRA (bofor)	smjer u ‰																UKUPNO		
		SIŠINA	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW		NNW	
0-0,2	sišina	16,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,1
0,3-1,5	1 bof.	-	25,9	41,0	46,4	55,5	22,7	16,1	19,8	24,5	22,0	19,1	20,0	25,9	30,1	24,1	18,8	16,1	428,0	
1,6-3,3	2 bof.	-	17,6	42,9	59,9	57,5	16,8	19,5	18,4	24,5	19,9	19,1	19,9	33,0	33,6	24,7	13,8	7,0	428,1	
3,4-5,4	3 bof.	-	4,7	13,9	22,9	8,5	1,3	0,9	0,8	0,5	1,4	4,2	8,6	10,9	9,2	7,7	4,7	1,7	101,9	
5,5-7,9	4 bof.	-	1,2	4,9	3,3	0,3	-	-	-	-	0,3	0,9	3,6	4,8	1,3	1,5	1,0	0,3	23,4	
8,0-10,7	5 bof.	-	0,2	0,5	0,1	-	-	-	-	-	0,1	0,1	0,4	0,7	0,1	0,1	0,1	-	2,4	
10,8-13,8	6 bof.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	-	-	-	-	-	0,1	
13,9-17,1	7 bof.																			
>17,2	8 bof.																			
UKUPNO		16,1	49,6	103,2	132,6	121,8	40,8	36,5	39,0	49,5	43,7	43,4	52,5	75,3	74,3	58,2	38,4	25,1	1000,0	

2.6. Isparavanje

Pod pojmom isparavanja vode razumijeva se prijelaz vode u atmosferu u obliku vodene pare sa slobodne vodene površine, tla i iz biljnog pokrivača. Osnovni faktori koji djeluju na intenzitet isparavanja su: temperatura zraka,

temperatura vode, deficit vlažnosti zraka, vjetar, intenzitet Sunčeva sijanja, nadmorska visina ili atmosferski pritisak, te kemijske osobine vode. Osim navedenih faktora, odlučnu ulogu kod isparavanja imaju i osobine površina s kojih se vrši isparavanje. Granične površine s kojih voda isparava mogu biti slijedeće: slobodna vodena površina (jezera, mora, itd.), gola zemljišta s različitim modifikacijama zasjenčenosti ili pokrivenosti, tj. s različitom morfologijom, te zemljišta obrasla vegetacijom. Evaporacija je transfer vode u atmosferu sa slobodne vodene površine, golog zemljišta i vode koja se nalazi sadržana na vegetaciji ili drugim predmetima. Transpiracija je isparavanje kroz otvore (pore) na vanjskom sloju stanica lišća, dakle, kroz vegetaciju. Treba napomenuti da su pore noću zatvorene. Evapotranspiracija predstavlja uzajamno događanje evaporacije i transpiracije. Prema Thorntwaitu potencijalna evapotranspiracija predstavlja gubitke vode do kojih će doći ako niti u jednom trenutku nema nedostataka vode u tlu neophodne za potrebe optimalnog razvoja vegetacije. Ovaj je pojam relativno teško kvantitativno definirati, pa mnogi istraživači pretpostavljaju da je potencijalna evapotranspiracija jednaka isparavanju s vodene površine, određena s pomoću isparitelja klase A. To ni teoretski, a još manje praktično, nije korektno, jer je albedo površine pod vegetacijom 40 do 50% od albeda sa slobodne vodene površine, pa, prema tome, potencijalna je evapotranspiracija znatno manja od evaporacije sa slobodne vodene površine. Realna ili aktualna evapotranspiracija je gubitak vode u prirodnim uvjetima opskrbe bilja vodom (prirodne i umjetne — navodnjavanja). U tablici VI data je zanimljiva usporedba ponašanja odnosa oborina, evaporacije, potencijalne i realne evapotranspiracije u dvama tipovima klimata: aridnom (Irak) i umjerenom (Nizozemska). Pregledom rezultata datih u tablici mogu se uočiti ogromne potrebe za navodnjavanjem kultura u slučaju aridne klime.

Tablica VI

Red- ni broj	Srednja višegodišnja vrijednost u mm	Aridna klima Irak	Umjerena klima Nizozemska
1.	Oborine	150	750
2.	Evaporacija sa slobodne vodene površine	2.250	650
3.	Potencijalna evapotranspiracija	1.850	525
4.	Stvarna evapotranspiracija	100	450
5.	Otjecanje [1]—[4]	50	300

Postoji velik broj metoda i pristupa za određivanje evapotranspiracije ili pojedinih njenih komponenata, s tim da je neophodno naglasiti da nijedna od njih nije prihvatljiva pod svim uvjetima.

Moguće je izdvojiti tri glavna pristupa kako slijedi:

1. Teoretski pristupi bazirani na fizici procesa;
2. Analitički pristupi zasnovani na bilanci energije ili vode;
3. Empirijski pristupi.

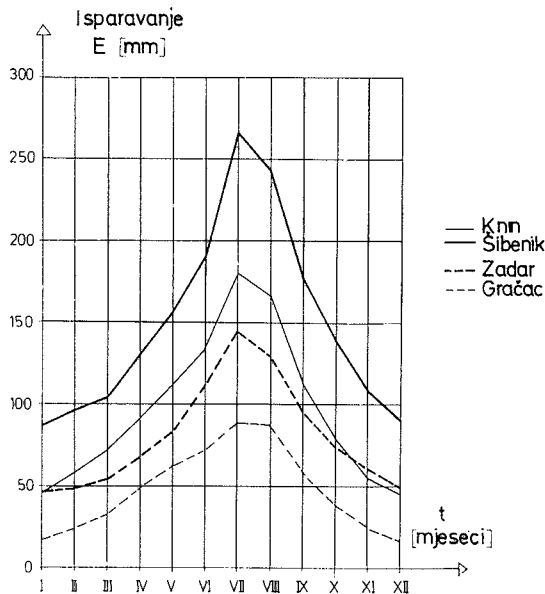
Mogućnosti primjene jednadžbi bilance funkcija su moguće točnosti određivanja pojedinih članova. Da bi uopće moglo doći do isparavanja, treba da nužno budu ispunjena dva fizička zakona. Primarno na raspolaganju mora

stajati energija (latentna toplina isparavanja). Odmah zatim, isparena voda mora biti otklonjena s kontaktne površine u atmosferu, kako bi se proces isparavanja kontinuirano nastavio. Za to je neophodno potreban mehanizam turbulentne izmjene vlažnosti u slojevima zraka iznad kontaktne površine. Povezano s ovim dvama neophodnim fizičkim uvjetima određena su i dva različita pristupa, od kojih se prvi naziva pristup bilance energije, a drugi turbulentni transfer ili transfer masa. Ako se mjeri dio Sunčeva sijanja koji utječe na isparavanje, te, ako na raspolaganju postoji dovoljna količina vode, isparavanje se može računati putem bilance energije. U situacijama kada je moguće odrediti turbulentnu izmjenu vlažnosti, tada se za vertikalni tok pare s površine u atmosferu mogu primijeniti drugi navedeni pristupi. Metoda bilance energije korištene su u empirijskim formulama Thorntwaita, Blaney i Criddle i Penmana, dok je pristup transfera masa korišten u izrazima Turca, Langbeina, Wundta i drugih. Nastavno će biti iznesen samo jedan izraz, i to onaj Meyera za računanje mjesečne količine isparavanja E sa slobodne površine u mm stupca vode (izraz 11):

$$E = 11,25 E_t (1 - R) (1 + 0,225 v) \quad (11)$$

kod čega je E_t — pritisak vodene pare kod zasićenog zraka na temperaturi vode t izražen u mb (Tablica II), R — relativna vlaga u dijelovima jedinice, v — srednja brzina vjetra u m/s na 2 m od površine vode. Budući da se isparavanje računa za mjesec kao vremensku jedinicu, sve veličine koje

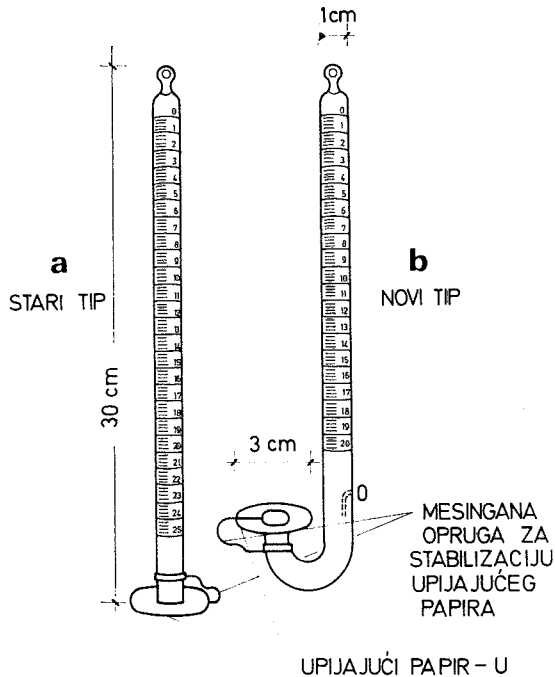
**SREDNJE MJESEČNO ISPARAVANJE U mm
SA SLOBODNE VODENE POVRŠINE
ODREĐENO IZRAZOM MEYERA
(Period obrade 1954—1982)**



Slika 14

ulaze u izraz (11) predstavljene su srednjim mjesečnim vrijednostima. Na slici 14 date su srednje višegodišnje vrijednosti (po mjesecima) isparavanja sa slobodne vodene površine izračunate formulom Meyera za četiri grada: Gračac, Knin, Šibenik i Zadar. Iznenađuje velika razlika u količinama Zadra i Šibenika, nastala primarno zbog veće srednje brzine vjetra, nešto veće temperature i nešto niže relativne vlažnosti zraka. Upravo ovaj primjer poučan je s aspekta analize moguće točnosti proračuna isparavanja nekim od empirijskih izraza, koji se uglavnom u praksi i najlakše koriste. Lokacija meteorološke stanice i lokacija za koju se treba odrediti isparavanje trebale bi biti primjerene, tj. sličnih klimatskih karakteristika, jer, u suprotnom, može doći do vrlo neadekvatnih rezultata.

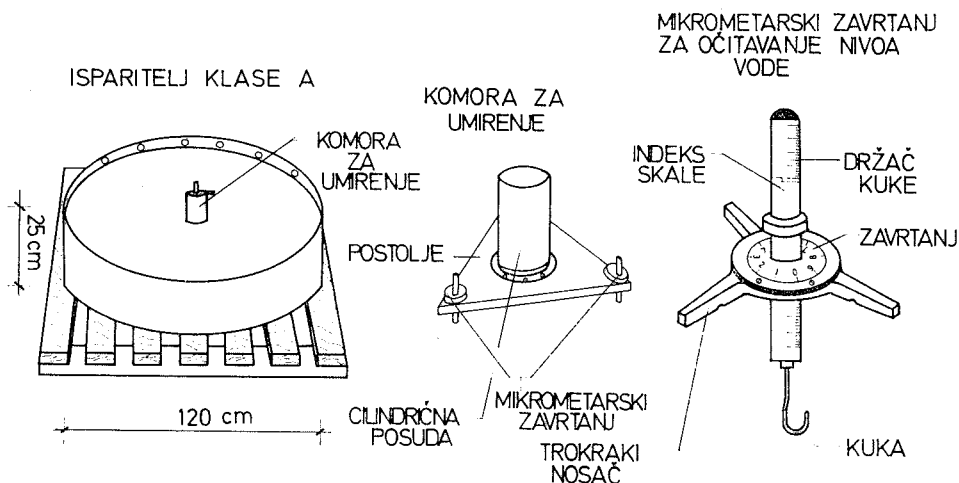
PICHEOV ISPARITELJ



Slika 15

Isparavanje se mjeri raznim tipovima isparitelja, od kojih su najčešće u upotrebi Picheov isparitelj, te isparitelj klase A. Mjerenja isparavanja na njima vrše se u dvama terminima, u 7,00 sati i 19,00 sati, a dnevne se količine obračunavaju od 7,00 sati jednog dana do 7,00 sati drugog dana i pripisuju se ovom posljednjem. Picheov isparitelj novijeg tipa instalira (vješa) se u većim meteorološkim zaklonima, a prikazan je na slici 15, zajedno sa starijim tipom. Ima savijenu cijev s uskim prolazom za zrak 0. Kroz ovaj otvor zrak ulazi postupno, mjhurić po mjhurić, te ispunjava prazninu koja

ISPARITELJ KLASE A S DIJELOVIMA



Slika 16

nastaje na vrhu cijevi uslijed isparavanja vode koja se u njoj nalazi. Isparavanje se vrši s papira koji upija vodu (U), a isparena voda se stalno naknađuje vodom iz cijevi. Količina isparavanja mjeri se u mm ili cm^3 , budući da svaki zarez na skali odgovara vrijednosti od 0,1 mm ili $0,1 \text{ cm}^3$.

Isparitelj klase A prikazan je detaljno na slici 16. U njemu se redovno mjeri razina vode u posudi, dok se pala oborina mjeri pomoću kišomjera. Za potrebe detaljnog izučavanja uvjeta isparavanja, uz isparitelj klase A na kojem se mjeri isparavanje sa slobodne vodene površine, locirana je manja meteorološka stanica na kojoj se mjere temperatura i vlažnost zraka, brzina vjetrova, te eventualno trajanje sijanja Sunca i globalno zračenje. Obavezno je i mjerenje temperature površinskog sloja vode u isparitelju. Instrument mora biti postavljen na ravno i otvoreno mjesto na koje nikakve prepreke ne smiju baciti sjenku, ni u koje doba godine. Površinu vode treba održavati u čistom stanju i paziti da joj životinje (ptice naročito) ne mogu slobodno pristupiti.

Za mjerenje evapotranspiracije služe lizimetri. Radi se o velikim sanducima punim zemlje u kojima se uzgaja raznolika vegetacija. Svi dotoci, kao i istjecanja iz lizimetra precizno se kontroliraju, pa se bilancom jednadžbe vodnih količina definira jedina nepoznata vrijednost, a to je evapotranspiracija. U našoj zemlji lizimetrom raspolaže Republički hidrometeorološki zavod SR Makedonije u Skopju.

Na kraju se daje izraz Turca za procjenu realne evapotranspiracije u jednoj točki koja glasi

$$D = P / (0,9 + P^2/L^2)^{-0,5} \quad (12)$$

pri čemu je D — deficit otjecanja vode u mm, P — oborine u mm, t — temperatura zraka u $^{\circ}\text{C}$, $L = 300 + 25t + 0,05t^3$. Kao vremenska baza preporučuje se koristiti razdoblje od godinu dana. Za manje vremenske jedinice izraz (12) se ne preporuča. Već prema definiciji same veličine D kao deficita otjecanja vidljivo je da se ovim relativno jednostavnim i praktičnim izrazom izjednačuju dva ne u cijelosti odgovarajuća pojma, pojam realne evapotranspiracije i pojam deficita otjecanja vode. Potrebno je ipak naglasiti da se izraz Turca preporuča za praktičnu primjenu, uz neophodnu dozu opreza i kritičnosti.

2.7. Padavine ili oborine

Padavine ili oborine su svi oblici kondenzirane i sublimirane vodene pare koji se na površini zemlje pojave u tekućem ili čvrstom stanju. Mogu se obrazovati neposredno na površini zemlje (predmetima na njoj) te se stoga nazivaju horizontalnim padavinama. Ako se obrazuju u oblacima, te iz njih padnu na zemlju, nazivaju se vertikalnim padavinama. Prvoj grupi pripadaju rosa, slana, inje i poledica; dok se u drugu grupu ubrajaju kiša, snijeg, krupa i sugradica, te grad ili tuča. Za inženjersku praksu od interesa su samo kiša i snijeg, a tek donekle, i to u sušnim krajevima, i rosa. Zbog toga će se u daljnjem tekstu analizirati samo ove tri vrste padavina.

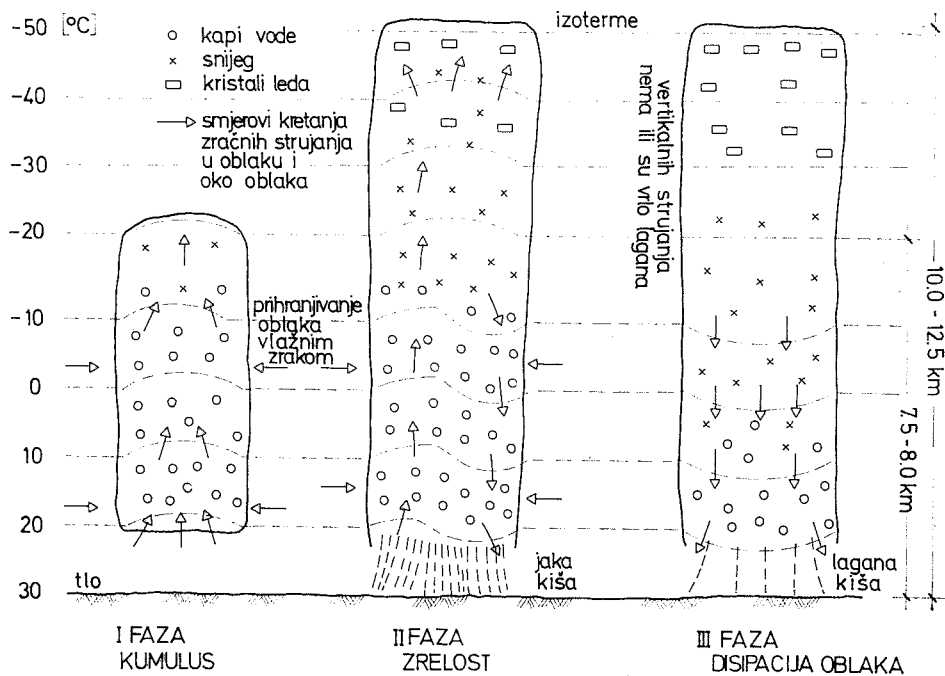
Rosa nastaje kondenzacijom vodene pare na predmetima i na površini tla, ako se oni toliko rashlade da im temperatura postane niža od temperature rosišta okolnog zraka. Najintenzivnije orošavanje nastaje na predmetima koji jako zrače toplinu, a proces orošavanja obično se dešava na kraju noći, kada je radijacijsko hlađenje najjače. Rosa je vrlo značajna oborina u aridnim krajevima gdje pokatkad predstavlja glavni izvor vode, a godišnja količina joj se kreće od 10 do 150 mm. Rosa se formira na temperaturi zraka većoj od 0°C , dok se na nižoj temperaturi stvara inje, tj. vodena para sublimira i izlučuje se na predmetima ili tlu u obliku kristala leda.

Za formiranje padavina neophodno je postojanje atmosferske vlage, ali to nije i dovoljan uvjet. Kontinentalne zračne mase vrlo su suhe pa se glavnina oborina izlučuje iz vlažnih zračnih masa čije je porijeklo iznad oceana. Evapotranspiracija s kontinenta nije glavni uzrok formiranja padavina. Za formiranje padavina neophodno je da dođe do procesa kondenzacije (prelaska vodene pare u tekuće stanje), međutim, sama kondenzacija nije dovoljna da bi došlo do padavina. Zbog toga se odvojeno razmatraju proces kondenzacije i proces formiranja oborina. Kondenzacija nastaje kao rezultat jednog ili više združenih procesa na slijedeći način: dinamičkim ili adiabat-skim hlađenjem, miješanjem zračnih masa s različitim temperaturama, kontaktnim hlađenjem i hlađenjem izračivanjem. Gotovo sve vertikalne padavine formiraju se dinamičkim hlađenjem, dok se horizontalne padavine uglavnom formiraju kontaktnim hlađenjem i hlađenjem izračivanjem. Kondenzacija vodene pare formira se na kondenzacionim jezgrama, a najčešće su to čestice oceanske soli kao i produkti izgaranja kojih ima iznad naseljenih područja. Dimenzije jezgri su od 1 do 5 μ . Broj jezgri u cm^3 zraka je od 10 do 1000, dok jezgri od produkata izgaranja ima u zavisnosti o regionalnim industrijama. Proces prirodnog srastanja kišnih kapi ekstremno je spor i može producirati vrlo male kapi i njih vrlo malo. Njime se ne mogu formirati značajnije padavine.

Oborine se formiraju putem dvaju procesa sposobnih da omoguće kišnoj kapi, da naraste toliko da može svladati otpor zraka, te da može pasti na površinu tla kao oborina. Oni se nazivaju: proces kristalizacije leda (ice crystal process) i proces srastanja (coalescence process). Srastanjem mala kondenzirana kap vode naraste uslijed kontakta s ostalim kapima putem sraza. Brzina padanja kod ravnotežnog stanja proporcionalna je kvadratu radiusa kišne kapi. Rezultat toga je da su manje kapi prestignute od većih i pretočene u njih. Najveća moguća kišna kap ima dimenziju od cca 7 mm, te se potom raspršuje i ponovno spaja. Ovaj proces dominantan je u tropskim regijama i toplim oblacima. Za umjerena i hladnija područja značajniju ulogu kod srastanja igra drugi proces. On se pojavljuje ako u oblaku uz kapi vode (obično prehladene) postoje i kristali snijega i leda na temperaturi od oko -40°C . U ovakvim uvjetima neke čestice minerala gline, oceanske soli i organske tvari služe kao jezgre smrzavanja oko kojih se formiraju kristali leda. Pritisak vodene pare u ovakvim je uvjetima viši oko kapi prehladene vode nego oko kristala leda, pa ovi drugi brže rastu, razvijaju se u neujednačenim dimenzijama i srastaju s ostalim česticama.

Prije je naglašeno da je dinamička hlađenje glavni uzrok padavina, pa je prema tome za njihovu pojavu neophodan vertikalni transport zračnih masa. Na bazi toga kiše mogu biti klasificirane u skladu s uvjetima za vertikalno kretanje zračnih masa na slijedeća tri glavna tipa: konvektivne, orografske i ciklonske.

Konvektivne padavine tipične su za tropske krajeve, a uvjetovane su naglim zagrijavanjem zraka u kontaktu s tlom. On se širi, smanjujući svoju težinu. Povećana količina vodene pare penje se prema gore gdje se dina-



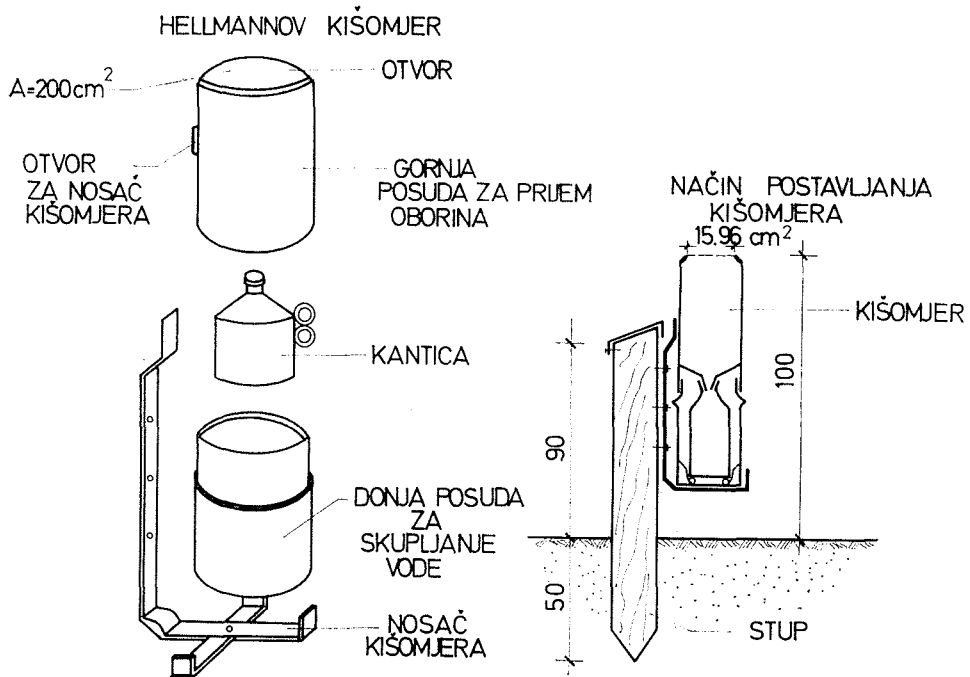
Slika 17

mički hladi, postaje nestabilna, kondenzira se, srasta i pada na tlo u obliku slabih kiša ili jakih pljuskova.

Orografske padavine rezultat su prisilnog mehaničkog dizanja vlažnih horizontalnih zračnih struja, do kojeg je došlo uslijed isprečavanja planinskih lanaca ili drugih prirodnih barijera kretanju zračnih masa.

Ciklonske padavine, koje su ujedno i najčešće u našim krajevima, nastaju uslijed kretanja zračnih masa iz područja visokog pritiska u području niskog pritiska. One se mogu klasificirati u frontalne i nefrontalne. Nefrontalne se oborine formiraju ako se zračne mase prenose horizontalnim širenjem, te tako ulaze u područje niskog pritiska. Frontalne oborine su rezultat dizanja toplog zraka preko hladnog na kontaktnoj zoni (površini fronta) između zračnih masa. Topli front je onaj kod kojega topli zrak zamjenjuje hladni, a suprotno je hladni front, što, u stvari, ovisi o tome kakve zračne mase (tople ili hladne) dolaze iz područja višeg tlaka. Oborine se kod toga formiraju na već opisan način, uslijed hlađenja toplih masa koje se dižu u hladnije slojeve atmosfere, gdje dolazi do kondenzacije i, najčešće, procesa kristalizacije leda.

Za inženjersku praksu od najvećeg su interesa kiše jakih intenziteta, koje mogu izazvati poplave i na koje treba dimenzionirati objekte odvodnje. Zato će se u nastavku ukratko opisati slučaj oluje s gramljavinom (thunderstorms) koja redovno izaziva kratkotrajne ali intenzivne pljuskove. Ubraja se u red jakih konvektivnih oluja koje imaju popratne električne pojave, a zahvaća manje površine do nekoliko km². Razvijaju se od vertikalnih zračnih strujanja izazvanih utjecajem konvekcije ili ortografije. Oluja se razvija u tri faze oblaka prikazanih na slici 17, a to su faze kumulusa, zrelosti i disi-



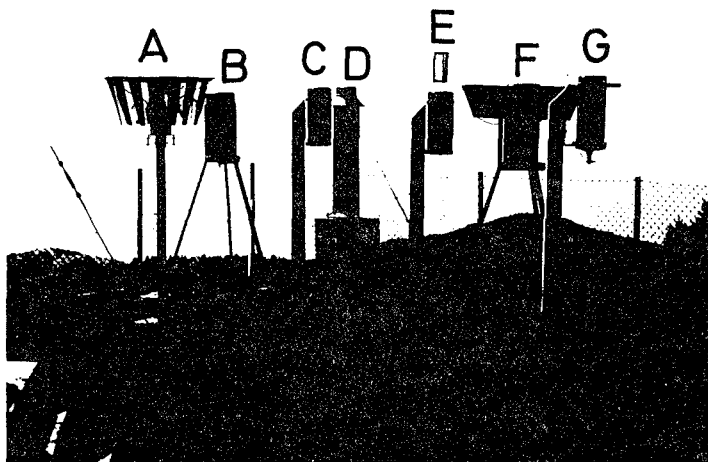
Slika 18

pacije. Proces započinje rastom kumulusa od dimenzije 7,5 km do 12,5 km. Postoji i horizontalno bočno prihranjivanje oblaka koje mu donosi nove količine vlage. Izoterme su u I fazi okrenute prema gore, što izaziva i vertikalna uzlazna strujanja. Razvojem kumulusa raste broj i veličina kapi vode, a kumulus traje cca 15 min, prelazi u fazu zrelosti u kojoj se formiraju i silazna strujanja u drugim dijelovima oblaka brzine od oko 8—9 m/s. Uzlazna strujanja u gornjem dijelu oblaka su znatno brža i kreću se oko 30 m/s. Tu je u toku snažan proces kristalizacije leda, a u ovoj fazi padaju intenzivne oborine koje traju najčešće 15 do 30 min. U trećoj fazi prevladavajuće su silazne struje. Nestankom uzlaznih strujanja nestaje i uvjeti za kondenzaciju, a time i za formiranje kiše.

Kiše se mjere kišomjerom prikazanim na slici 18. Redovna očitovanja se vrše u 7 sati, dok se na glavnim meteorološkim stanicama mjerenja količine padavina vrše u 1, 7, 13 i 19 sati. Očitavanje izvršeno u 7 sati ujutro bilježi se kao oborina pala tog dana, a odnosi se na prethodna 24 sata. Na slici 19 data je fotografija raznih tipova kišomjera koji se nalaze na meteorološkoj stanici Zavižan (1594 m n.m). Tamo je moguće zapaziti praktično sve kišomjere, od totalizatora do brdskih kišomjera, s tim da posebni zaštitni obruči služe za smanjivanje utjecaja vjetra, a posebno su značajni ako oborine imaju karakter sniježnih padavina. Totalizator služi za sakupljanje padavina u dužem vremenskom razdoblju (mjesec dana do godinu dana). Obično je

**RAZNI TIPOVI KIŠOMJERA SMJEŠTENIH
NA GLAVNOJ METEOROLOŠKOJ STANICI ZAVIŽAN
(1594 mn. m) foto B. KIRIGIN)**

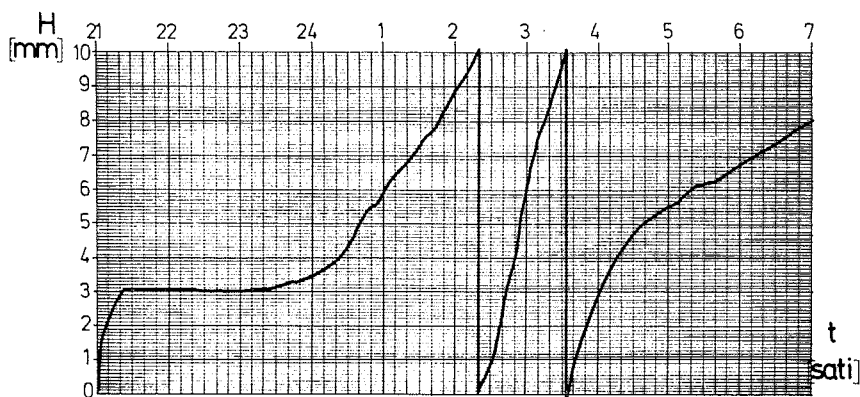
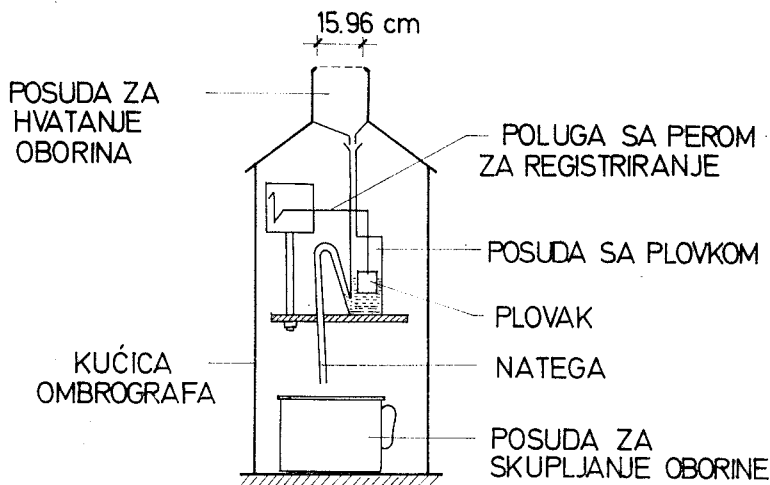
- A Obični Hellmannov kišomjer sa zaštitnim obručem protiv vjetra po sistemu Wölfler
- B Brdski kišomjer otvora 500 cm²
- C Obični Hellmannov kišomjer
- D Pluviograf (Ombrograf)
- E Kišomjer s mrežicom sistema Grunow
- F Brdski kišomjer sa Nipherovim obručem
- G Totalizator



Slika 19

opremljen Nipherovim štitom, a na dnu ima zavrtanj za ispuštanje vode. Visina otvora posude je na oko 3,30 m nad tlom. Za inženjersku praksu od posebnog značenja je mjerenje kiše pluvigrafom ili ombrografom. Shema jednog tipa automatskog registratora koji se uglavnom koristi u nas data je na slici 20a. Neophodno je naglasiti da moderni pluviografi ne rade na zastarjelom principu teglice (natege), već koriste posude na prevrtanje (Milneove posude). U nas takvi instrumenti, na žalost, još nisu šire ušli u praksu. Na slici 20b dat je dio pluviograma kišomjerne stanice Borčec iz kojeg se vidi

a SHEMA AUTOMATSKOG REGISTRATORA OBORINA



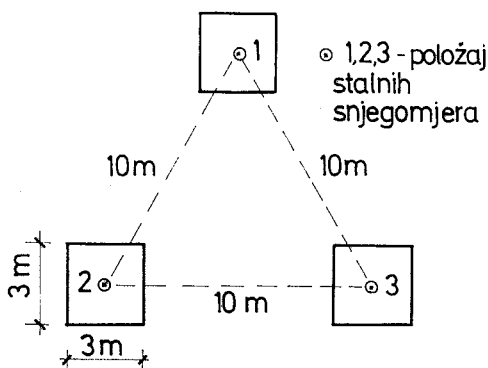
b DIO PLUVIOGRAFSKE TRAKE SNIMLJEN NA METEOROLOŠKOJ STANICI BORČEC 13.04.1970.

Slika 20

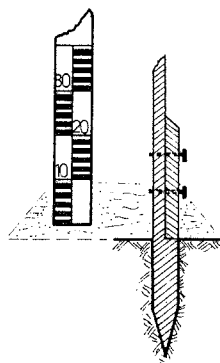
kretanje količina kiše u vremenu. Uz ombrografe obvezno moraju biti instalirani i obični kišomjeri, to više što u krajevima gdje se pojavljuje snijeg i mraz automatski registratori rade samo od 31. III do 1. XI. Vrlo mali broj kišomjera i ombrografa kod nas je opskrbljen grijačima za otapanje snijega. Zimi se stoga snijeg nakupljen na kišomjeru otapa svako jutro i, tek tada mu se određuje oborina pala u mm.

Snijeg se mjeri na dva principijelno različita načina: stacionarno i ekspedicijski. Pri stacionarnom mjerenju koriste se tri stalna položaja na kojima je locirana snijegomjerna letva (vidi slike 21a i 21b). Zanimaju nas visina sni-

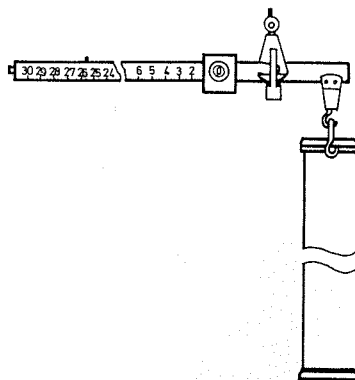
a MJESTA ZA
MJERENJE VISINE
SNIJEŽNOG POKRIVAČA



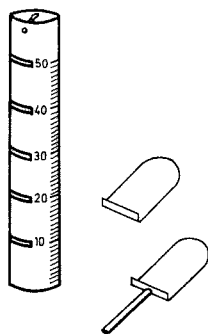
b STALNI
SNJEGOMJER



d VAGA ZA MJERENJE
SNIJEGA



c VADILICA ZA VAĐENJE
UZORAKA SNIJEGA



Slika 21

ježnog pokrivača i sadržaj vode u snijegu. Za određivanje sadržaja vode koristi se specijalna šuplja vadicica, a zahvaćen volumen snijega mjeri se specijalnom vagom (slike 21c i 21d) ili se otapa i tada važe. Ekspedicijskim mjerenjem određuje se visina sniježnog pokrivača i sadržaj vode u snijegu na raznim mjestima u slivu, a mjerenja mogu trajati duže vremensko razdoblje što ovisi o veličini i prohodnosti sliva. Obavljaju se najčešće u cilju definiranja rezervi vode u slivu kako bi se omogućilo prognoziranje proljetnih dotoka.

Obrada kiša obično započinje s analizom srednjih mjesečnih oborina. U tablici VII dati su razni statistički podaci mjesečnih i godišnjih oborina opaženih na Meteorološkoj stanici Šibenik.

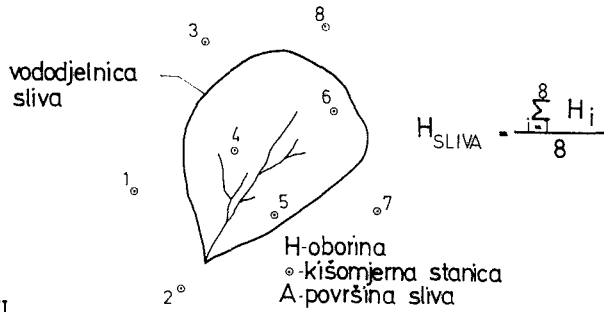
Tablica VII
STATISTIČKE KARAKTERISTIKE
MJESEČNIH I GODIŠNJIH OBORINA ŠIBENIKA
U RAZDOBLJU 1949—1982. GODINE

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
\bar{H}	81	60	67	63	48	55	33	50	81	95	121	107	861
H_{\min}	3	8	10	1	2	7	∅	∅	4	∅	29	13	574
H_{\max}	197	134	148	192	133	175	120	158	204	262	292	282	1.309
σ	40	29	37	36	30	36	29	36	50	71	61	60	142
C_v	0,49	0,49	0,55	0,58	0,63	0,65	0,88	0,71	0,62	0,74	0,50	0,56	0,16
C_s	0,50	0,58	0,21	1,17	0,92	1,38	1,36	1,72	0,61	1,04	0,71	0,86	0,54

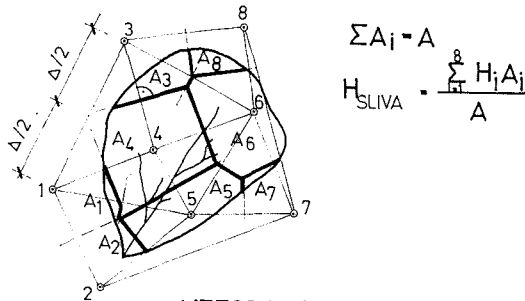
Slijedeći korak u hidrološkoj obradi kiša vezan je s definiranjem kiše pale na neku površinu, najčešće sliva. Visina oborina određuje se na tri načina: metodom aritmetičkih sredina, metodom Thiessena i metodom izohijeta. Za objašnjavanje ovih metoda dovoljna je slika 22. Neophodno je, ipak, napomenuti da je za primjenu metode izohijeta potrebna brojna mreža kišomjernih stanica, te da je za interpolacije vrijednosti potrebno poznavati kišni gradijent koji raste s porastom nadmorske visine kišomjera. Metoda Thiessena, koja se u nas gotovo isključivo koristi, primjenjiva je u suštini jedino u situaciji ravničarskih slojeva kod kojih su kiše dosta homogeno raspodijeljene u prostoru.

Kratkotrajne intenzivne oborine obuhvaćaju razdoblje od 1 min do 24 sata. Svaka analiza pljuskova započinje primarnom obradom pluviografskih traka. Taj proces nije ni malo jednostavan i neopasan i može se odraziti na točnost sekundarnih analiza. Kod primarne obrade postoje dva osnovna problema. Prvi je izbor donje granice vrijednosti kišnih intenziteta koji se uzimaju u daljnju obradu. Gotovo svaka institucija koristi neke svoje granice, a Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske iz Zagreba upotrebljava one date u tablici VIII. Drugi mnogo veći problem vezan je uz osnovnu obradu kiša, koje za potrebe hidrologije vrše meteorolozi u hidrometeorološkim zavodima. Ovisno o načinu i metodama njihove obrade, mogu nastupiti načelno četiri situacije koje ne nose identičnu informaciju.

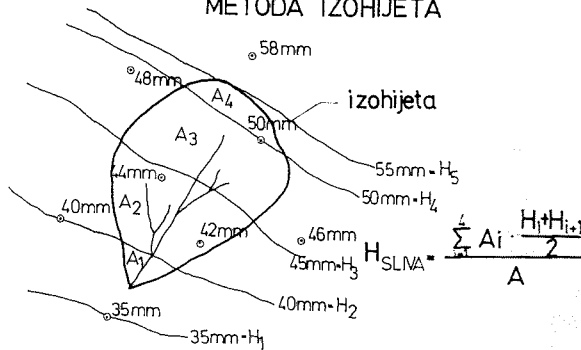
I
METODA ARITMETIČKIH SREDINA



II
METODA THIESSENOVIH POLIGONA



III
METODA IZOHIJETA



Slika 22

Nastavno će one biti obrazložene detaljnije:

1. Obradene kiše mogu biti određenog trajanja, različitog porijekla, kontinuirane ili diskontinuirane;
2. Obradene kiše mogu biti određenog trajanja, različitog porijekla i samo kontinuirane;
3. Obradene kiše mogu biti određenog trajanja, određenog porijekla, kontinuirane ili diskontinuirane;

Tablica VIII

GORNJE GRANICE
INTENZIVNIH KIŠA S KOJIMA SE ULAZI
U SEKUNDARNE OBRADU

Red- ni broj	Trajanje kiše [min, h]	Donje granice kiša		
		[mm]	[1/s ha]	[mm/min]
1.	10'	5,4	90	0,54
2.	20'	7,4	62	0,37
3.	80'	8,4	47	0,28
4.	40'	9,0	37	0,225
5.	50'	9,6	32	0,192
6.	1	10,5	29	0,175
7.	2	12,0	17	0,100
8.	4	15,0	10	0,0625
9.	6	20,0	9	0,0556
10.	12	30,0	7	0,0417
11.	18	40,0	6	0,0370
12.	24	50,0	6	0,0347

$$i = \frac{H}{t_k}$$

1 mm/min = 166,6 1/s ha

1 1/s ha = 0,006 mm/min

i — intenzitet kiše

H — visina kiše u mm

t_k — trajanje kiše

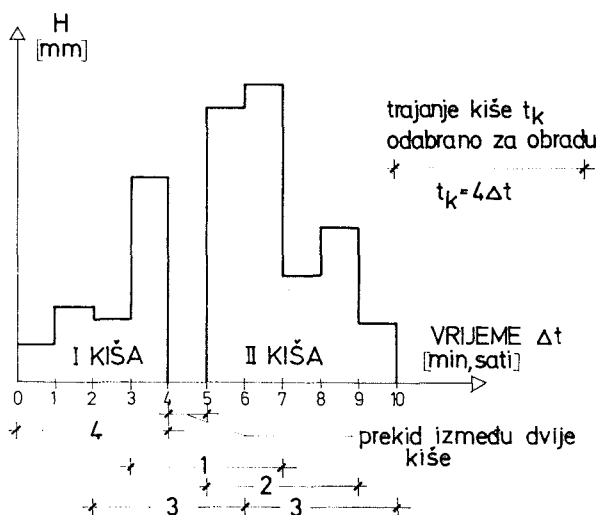
4. Obraditi se mogu sveukupne kiše jedne kišne epizode, bez obzira na porijeklo.

Navedeni pojmovi traže dodatna objašnjenja, a ona su data na grafičkom prikazu na slici 23. Potpuno je razumljivo da se grafički ne mogu u cijelosti objasniti svi navedeni pojmovi, a posebno porijeklo kiše. Njega je, što više, teško definirati i uskom specijalisti. Očito, nije svejedno koja se od četiri navedene definicije koristi u daljnjim, posebno hidrološkim obradama. Ovisno o navedenim definicijama, na slici 23b je prikazan oblik krivulja koje daju odnos visine sumarne kiše H (na ordinati) i trajanje kiše t_k (na apscisi), za istu frekvenciju. Uočavaju se na prvi pogled anomalije. U slučaju definicije 2 i 4, visina kiše počinje opadati s dužinom trajanja kiše. Razlog leži u činjenici da su obrađene samo kontinuirane kiše. Iz ovoga proizlazi i zaključak da osnovna, pripremna obrada intenzivnih pljuskova mora biti obavljena po definiciji 1 ili 3, s tim da je realnije računati na definiciju 1, pošto je vrlo teško, pa i problematično odvojiti kiše prema porijeklu.

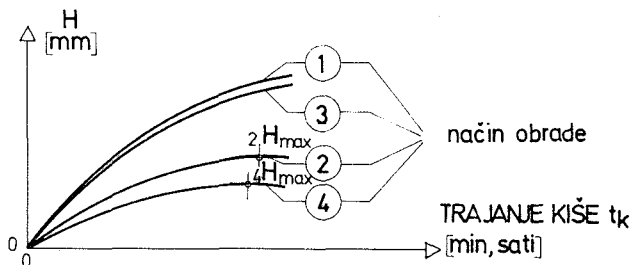
Što se tiče obrada kiša, koje se vrše u našim institucijama, čini se da ih se može smjestiti pod definiciju 1, čime su stvoreni preduvjeti za njihovo korištenje u hidrološkim analizama, što i jest osnovna svrha njihova sakupljanja.

U Jugoslaviji postoji preko 220 pluviografa, od kojih oko 110 radi duže od 15, a oko 150 duže od 10 godina. Većina ih je opremljena Hellmannovim pluviografom s nategom koji je osjetljiv na temperature niže od 0°C, pa im je i period mjerenja ograničen na topliji dio godine. Ovakav način mjerenja bitno obezvrjeđuje podatke, ali situacija tehnički i inženjerski nije tragična zbog činjenice što najintenzivniji pljuskovi padaju ipak u toplom dijelu

a PRIMJER ZA ODREĐIVANJE OBORINA PREMA RAZNIM NAČINIMA OBRADU



b SHEMATIZIRANI PRIKAZ SUMARNE KIŠE I TRAJANJA KIŠE ZA RAZNE NAČINE OBRADU



Slika 23

godine, a tada su i opasnosti od poplava na malim slivnim površinama najprisutnije. U tablici IX dati su rezultati koji potvrđuju prethodne konstatacije. Radi se o učestalosti intenzivnih oborina po mjesecima na 10 pluvio-grafa u široj regiji grada Zagreba. Pregledom rezultata vidljivo je da na stanicama opskrbljenim grijačima (dakle stanicama koje rade u toku cijele godine) zimi padne samo 1 do 3% intenzivnih oborina, dakle neznatan broj s napomenom da ti pljuskovi ne pripadaju najintenzivnijima.

Pod sekundarnom obradom podrazumijeva se niz vrlo kompleksnih obrada osnovnih podataka o intenzitetu kiša za potrebe viših hidroloških i ostalih analiza. Ovdje će se isključivo govoriti o hidrološkom aspektu sekundarnih obrada.

Kao prva analiza zanimljivo je ispitati odnos između jakih kiša trajanja 10 minuta s jakim pljuskovima dužih trajanja od 20 minuta do 1 godine.

Tablica IX

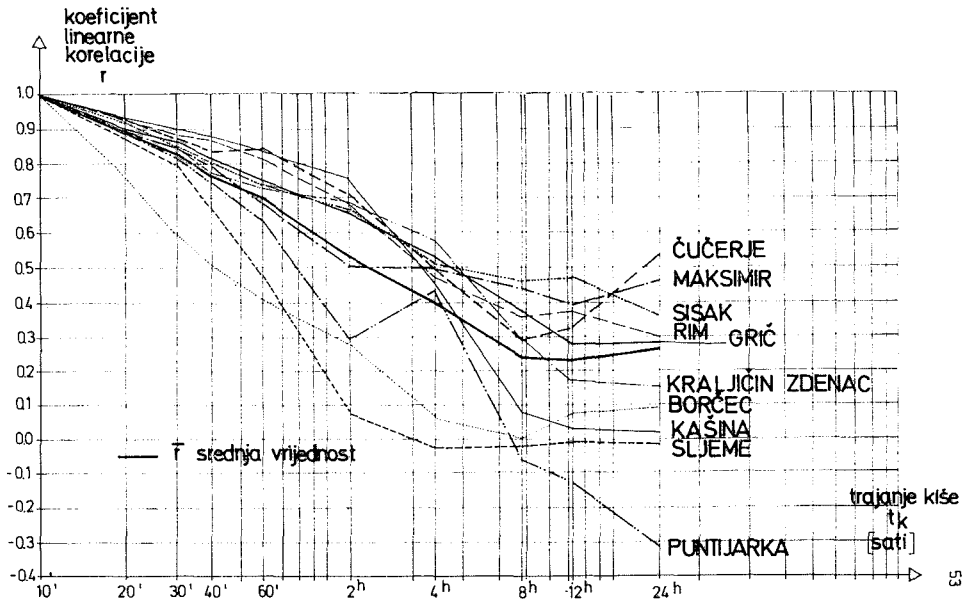
UČESTALOST PO MJESECIMA INTENZIVNIH OBORINA
ZA TRAJANJE KIŠE OD 10 DO 120 MINUTA IZRAŽENE U POSTOCIMA

Mjesec	Grič	Ma- ksi- mir	Kralji- čin zdenac	Ču- čer- je	Punti- jar- ka	Slje- me	Bor- čec	Ka- šina	Si- sak	Za- greb Rim
I	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0
II	0,1	0,2	0	0	0	0	0	0	0,3	0
III	0,6	0,1	0	0	0	0	0	0	0,5	0
IV	2,8	1,3	0,2	0,3	0	1,9	2,5	0,3	4,4	1,3
V	10,3	9,7	6,9	10,1	7,2	5,3	4,0	7,8	8,2	9,3
VI	23,3	23,6	34,8	17,1	21,2	28,7	15,3	22,5	23,8	26,2
VII	24,0	26,7	24,6	30,0	30,3	28,2	32,1	27,8	19,2	24,8
VIII	18,0	21,3	14,6	27,4	27,8	21,6	28,6	32,8	27,2	21,3
IX	14,1	10,3	11,5	11,0	12,3	11,9	10,3	6,3	10,6	11,1
X	4,3	5,4	6,9	1,2	1,0	2,1	5,0	2,5	2,6	3,8
XI	2,3	1,0	0,5	2,1	0,2	0,3	2,1	0	2,6	2,2
XII	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0	0,5	0
Broj godina opažanja	71	44	16	11	19	29	11	11	28	31
Ukupan broj podataka	1.892	1.183	391	335	726	981	321	320	777	983
Opskrb- ljenost grijačem	+	+	—	—	—	—	—	—	+	—

Za potrebe ove analize proračunati su koeficijenti linearne korelacije desetminutnog pljuska kiše trajanja od 20 minuta do 24 sata i posebno s ukupnom godišnjom oborinom te godine na analiziranoj stanici.

Analiza izvršena na deset plaviograma u širem području Zagreba dala je u svim situacijama identične rezultate. Čvrstoća veze opada s povećanjem trajanja kiše (slika 24). Kod odnosa intenzivnih pljuskova raznih trajanja i godišnjih oborina pokazalo je da nema čvrstih i statistički značajnih korelativnih veza. To se može vidjeti vrlo očito iz podataka datih u tablici X. Ova je analiza značajna zbog toga jer su neki empirijski hidrološki modeli određivanja velikih voda u nas bazirani na u suštini krivim pretpostavkama o postojanju čvrste međuovisnosti između intenzivnih pljuskova i godišnje sume oborina, tj. da su intenziteti kiša to jači što je i ukupna godišnja oborina viša. Realna situacija je ipak drugačija i taj zaključak može stajati samo u iznimnim prilikama i na određenim (čini se rijetkim) regijama.

PRIKAZ KOEFICIJENTA LINEARNE KORELACIJE PLJUSKOVA
 TRAJANJA 10' S PLJUSKOVIMA RAZNIH TRAJANJA
 (20', 30', 40', 60', 2h, 4h, 8h, 12h, 24h)
 (Maksimalne godišnje vrijednosti)



Slika 24

Najznačajniji i osnovni problem sekundarne obrade je proračun osnovnih statističkih parametara serija pljuskova raznih trajanja, definiranje tih serija te prilagođavanje krivulja raspodjela na iste podatke. U svijetu a i u nas postaje zamjetna raznolikost u pristupu ovoj u biti bazičnoj obradi, koja je ujedno i osnovni element za definiranje familije krivulja intenzitet-trajanje-ponavljanje.

Kao prvo, pojavljuju se problemi da li treba raditi s nizovima godišnjih ekstrema ili nizovima prekoračenja (u račun se uzimaju sve vrijednosti veće od odabranog praga). Kod nizova prekoračenja postoje dva praktično slična, ali u teoretskoj suštini različita pristupa. U SAD pa i kod nas preporuča se rad s tzv. POT serijama (Peak Over a Threshold Series) kod kojih je izbor graničnog praga vrlo ozbiljan teoretski i praktički zadatak. Rad s običnim nizovima prekoračenja identičan je kao i rad s nizovima ekstrema, uz jedinu razliku u izrazima za određivanje odnosa vjerojatnosti p i povratnog perioda T u godinama. Za niz prekoračenja važi izraz (13) a za niz ekstrema izraz (14). U suštini se radi o istom izrazu samo je u slučaju niza godišnjih ekstrema broj podataka M jednak broju godina N. Kod obrade intenzivnih pljuskova u našim uvjetima stvarne dileme i nema.

$$p = \frac{1}{T} \frac{N}{M} \quad (13)$$

$$p = \frac{1}{T} \quad (14)$$

Tablica X

PRIKAZ KOEFICIJENATA LINEARNE KORELACIJE
GODIŠNJIH OBORINA I MAKSIMALNIH GODIŠNJIH PLJUSKOVA
RAZNIH TRAJANJA

r_{tk} -god.	Za- greb- -Rim	Slje- me	Kra- ljičin zdenac	Punti- jar- ka	Si- sak	Ču- čerje	Bor- čec	Ka- šina	Maksi- mir	Grič	\bar{r}	
Trajanje kiše t_k	10'	0,42	0,57	0,22	0,42	0,18	0,35	0,42	0,70	0,47	0,10	0,32
	20'	0,28	0,57	0,21	0,41	0,15	0,34	0,44	0,61	0,40	0,15	0,30
	30'	0,28	0,51	0,19	0,46	0,20	0,25	0,46	0,65	0,43	0,18	0,31
	40'	0,32	0,45	0,16	0,36	0,24	0,16	0,37	0,68	0,42	0,19	0,30
	60'	0,40	0,36	0,16	0,24	0,37	0,22	0,24	0,70	0,32	0,18	0,28
	2 ^h	0,21	0,10	0,21	0,24	0,40	0,28	0,07	0,69	0,25	0,08	0,20
	4 ^h	0,17	0,04	0,24	0,40	0,33	0,17	-0,24	0,63	0,35	0,16	0,23
	8 ^h	0,24	0,14	0,39	0,15	0,27	0,10	-0,17	0,43	0,42	0,23	0,25
	12 ^h	0,36	0,33	0,48	0,26	0,37	0,09	-0,13	0,41	0,51	0,36	0,35
	24 ^h	0,47	0,44	0,55	0,36	0,24	0,47	0,11	0,57	0,69	0,47	0,45
Broj godina opažanja	30	28	16	19	28	11	11	11	44	71	27,8	

Pragovi su izabrani od strane nosioca primarne obrade (dati su u tablici VIII) pa smo time upućeni na primjenu nizova prekoračenja. Smatramo da aplikacija POT serije stvara dodatne komplikacije, a ne donosi i adekvatne informacije.

U slijedećem koraku pristupa se prilagodbi krivulja raspodjela na opažene podatke. Za obavljanje ovog posla postoje brojne krivulje raspodjela uobičajene u hidrološkoj praksi. Najčešće su u upotrebi slijedeći tipovi krivulja: log-normalna (Galtonova), Pearson 3, log Pearson 3, Gama 3 i Gumbelova raspodjela.

U Pravilniku Svjetske meteorološke organizacije preporuča se jedna praktična, klasična i provjerena metoda koja će nastavno biti opisana. Većina funkcija vjerojatnosti može se predstaviti u obliku (15):

$$x_T = \bar{x} + k s_x \quad (15)$$

gdje je \bar{x} — aritmetička sredina niza oborina, s_x — standardna devijacija serije podataka, x_T — veličina određenog povratnog perioda T, k — faktor ponavljanja koji ovisi o primijenjenom tipu raspodjele. Ako se analizirana varijabla x ne pokorava normalnom zakonu, što je uvijek slučaj kad se radi o intenzivnim oborinama, k zavisi o povratnom periodu ali i o koeficijentu

asimetrije. Svjetska meteorološka organizacija preporuča primjenu dvojne eksponencijalne ili tzv. Gumbelove raspodjele za koju se k računa izrazom (16):

$$k = \frac{Y_T - \bar{Y}_n}{S_n} \quad (16)$$

kod čega je \bar{Y}_n — reducirana sredina, S_n — reducirana standardna devijacija pri čemu obje ovise o veličini uzorka. Y_T je reducirana varijabla povezana s povratnim periodom definirana izrazom (17):

$$Y_T = - \left(0,83405 + 2,3026 \log \log \frac{T}{T-1} \right) \quad (17)$$

Prilaže se tablica XI za računanje k prema izrazu (16).

Tablica XI
VELIČINA KOEFICIJENTA k U FUNKCIJI BROJA ČLANOVA UZORAKA n
I SREDNJEG PERIODA PONAVLJANJA T U GODINAMA
(Za Gumbelovu raspodjelu)

n	T [godina]					
	2	5	10	25	50	100
10	— 0,1355	1,0580	1,8483	2,8467	3,5874	4,3227
20	— 0,1478	0,9187	1,6247	2,5169	3,1787	3,8356
30	— 0,1526	0,8664	1,5410	2,3934	3,0257	3,6534
40	— 0,1552	0,8379	1,4954	2,3262	2,9425	3,5543
50	— 0,1568	0,8197	1,4663	2,2832	2,8892	3,4908
60	— 0,1580	0,8069	1,4458	2,2529	2,8518	3,4461
70	— 0,1588	0,7974	1,4305	2,2304	2,8238	3,4128
80	— 0,1595	0,7899	1,4185	2,2128	2,8020	3,3868
90	— 0,1600	0,7840	1,4089	2,1986	2,7844	3,3659
100	— 0,1604	0,7791	1,4010	2,1869	2,7700	3,3487

Postoji velik broj raznolikih fizičkih i statističkih analiza koja je krivulja najbolja i najtipičnija za primjenu u hidrologiji. Naše iskustvo pokazuje da su to dvije krivulje: log-normalna (Galtonova) i Gumbelova. Međutim, i pored niza iskustava i metoda, a prije svega χ^2 (hi kvadrat) testa i testa Kohnogorov-Smirnova, ostaje i dalje otvoreno pitanje točnosti ekstrapolacije vrijednosti za periode rijetkog ponavljanja koji su za praksu najzanimljiviji. Ovdje ipak primarnu ulogu igra dužina i kvaliteta niza opažanja, što u našim prilikama ne predstavlja jaku osobinu. Za definiranje krivulja intenzitet-trajanje-ponavljanje (ITP) manjih povratnih perioda do 10 god. dovoljna se točnosti postiže ako se radi i sa samo empirijskim krivuljama trajanja bez prilagodbe neke od teoretskih krivulja raspodjele. Za praksu je ovo vrlo povoljno pošto se kod dimenzioniranja gradske kanalizacijske mreže i odvodne melioracijske mreže uglavnom koriste povratni periodi nižeg reda. Pod pojmom empirijske krivulje trajanja misli se na varijablu x (intenzivne kiše) rangiranu u nizove u opadanju uz pridruživanje svakoj vrijednosti varijable neke od empirijskih formula vjerojatnosti date izrazima (18A) do (18D):

$$p = \frac{m}{N} \quad (18A)$$

$$p = \frac{m - 0,5}{N} \quad (18B)$$

$$p = \frac{m}{N + 1} \quad (18C)$$

$$p = \frac{m - 0,3}{N + 0,4} \quad (18D)$$

pri čemu je N — broj članova uzorka, a m — redni broj varijable rangirane u opadajući niz. Za definiranje familije ITP krivulja viših povratnih perioda od 10 god. do 10.000 god. neophodno je koristiti »teoretske« krivulje raspodjele koje omogućavaju ekstrapolaciju.

Kao jednu od ocjena točnosti proračuna veličine x_T uobičajeno je koristiti intervale povjerenja čiji opći izraz (19) glasi:

$$x_T \pm t(\alpha) \cdot s \quad (19)$$

Unutar ovako definiranih intervala nalazi se stvarna veličina x_T osnovnog skupa uz uzetu vjerojatnost α . Odnos vjerojatnosti i $t(\alpha)$ dat je u tablici XII. Standardna greška računa s u većini slučajeva može se izračunati izrazom (20):

$$s = \beta_T \frac{S_x}{N} \quad (20)$$

pri čemu se za slučaj Gumbelove raspodjele β_T određuje izrazom (21):

$$\beta_T = 1 + 1,14 k + 1,10 k^2 \quad (21)$$

N — predstavlja broj članova uzorka, k se određuje izrazom (16) ili iz tablice XII, dok S_x predstavlja standardnu devijaciju uzorka.

Tablica XII

Vjerojatnost α [%]	95	90	80	68
$t(\alpha)$	1,960	1,645	1,282	1,00

Zanimljivo je razmotriti vjerojatnost P_i da se u periodu od t godina pojavi pljusak $H \geq H_T$ 1,2 ili n puta (H_T predstavlja kišu povratnog perioda T). Ona je data izrazom (22) dobivenim upotrebom binomne raspodjele

$$P_i = \left(\frac{t!}{n!(t-n)!} \right) p^n (1-p)^{t-n} \quad (22)$$

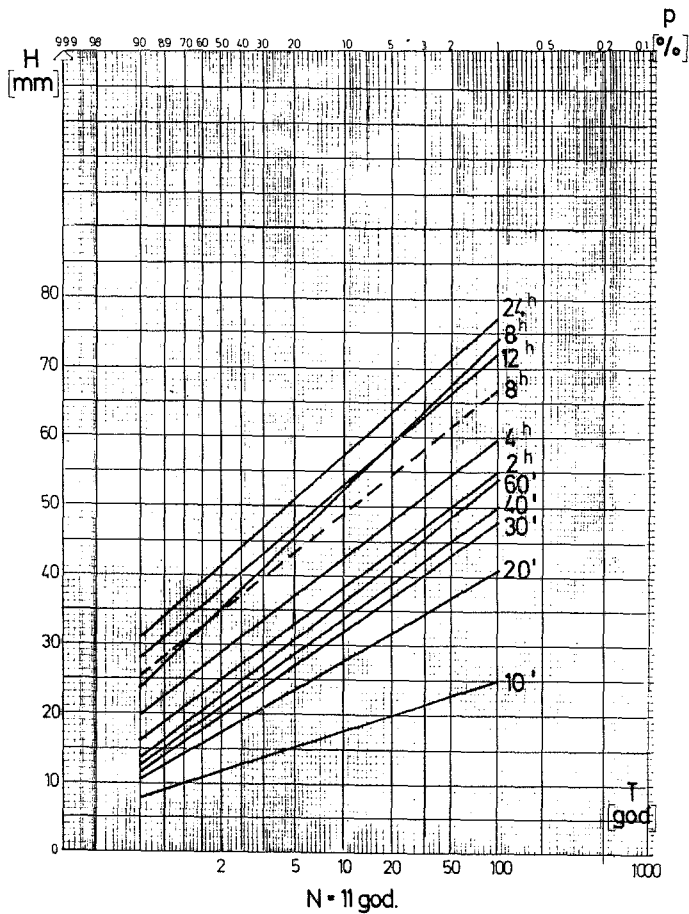
pri čemu je $p = \frac{1}{T}$. Izabere li se kao primjer $t = 100$ godina i $T = 100$ godina dobit će se za različite n različite vjerojatnosti date u tablici XIII.

Tablica XIII

n	0	1	2	3	4	5
P _i [%]	36,0	37,0	18,5	6,1	1,5	0,3

U daljnjoj obradi oborina s ciljem definiranja ITP krivulja definiraju se posebne krivulje raspodjele za svako trajanje kiše od 10, 20, 30, 40, 50 i 60 min., kao i za 2, 4, 8, 12, 18 i 24 sata. Izbor ovakva trajanja kiše nije obvezan a ovisi o primarnoj obradi pluviografskih traka kao i o cilju zadatka. Sve krivulje se ucrtaju na jedan papir vjerojatnosti kao što je to učinjeno na slici 25 za slučaj oborina s met. stanice Kašina. Tu je potrebno ukazati na neophodnost korekcija. Očito je da sve krivulje moraju među-

KAŠINA — GUMBELOVA RASPODJELA
NIZ GODIŠNJIH MAKSIMUMA ZA RAZDOBLJE 1968—1978.



Slika 25

sobno biti paralelne ili se bar moraju sjeći u velikoj daljini. Ispunjavanje ovog uvjeta ovisi o procjeni dva parametra, od kojih se jedan odnosi na centralnu tendenciju a drugi na disperziju. Ovdje se susrećemo sa stalnim problemom svih statističkih obrada a to je procjena parametrom osnovnog skupa na bazi kratkog uzorka.

Procjena parametara centralne tendencije, nešto je preciznija i ne djeluje bitno na presijecanje krivulja, dok je procjena parametra disperzije (najčešće je to neki oblika standardne devijacije) manje točna i može izazvati fizički nemoguće presijecanje krivulja raspodjele za kiše različita trajanja. To presijecanje znači da pojedine kiše kraćeg trajanja postaju veće od onih dužeg trajanja za isti povratni period. Zbog toga treba vršiti korekcije, tj. treba krivulje paralelizirati uz usvajanje iste vrijednosti aritmetičke sredine, kako je to učinjeno na slici 25 za trajanje kiše od 8 sati. U konkretnom slučaju vidljivo je da se radi o kratkom razdoblju zapažanja, koje ne garantira pouzdane rezultate i procjene. S tako dobivenim i prema potrebi korigiranim podacima ulazi se u konačnu fazu definiranja ITP krivulja. Formira se skup točaka raznih intenziteta kiša — i , trajanja kiša — t_K i povratnih perioda — T na koji se nekom od metoda prilagodbe (najčešće je to po teoriji najmanjih kvadrata) aproksimira jedan od slijedećih analitičkih izraza (23A do 23C):

$$i = \frac{a T}{b + t_K} \quad (23A)$$

$$i = \frac{a T^b}{c + t_K} \quad (23B)$$

$$i = \frac{a T^b}{c + t_K^d} \quad (23C)$$

kod čega su a , b , c , d — parametri koji se definiraju najčešće po teoriji najmanjih kvadrata.

Razumljivo je da time nisu iscrpljene sve mogućnosti analitičkog definiranja ITP odnosa. One su vrlo brojne i u svijetu jako variraju.

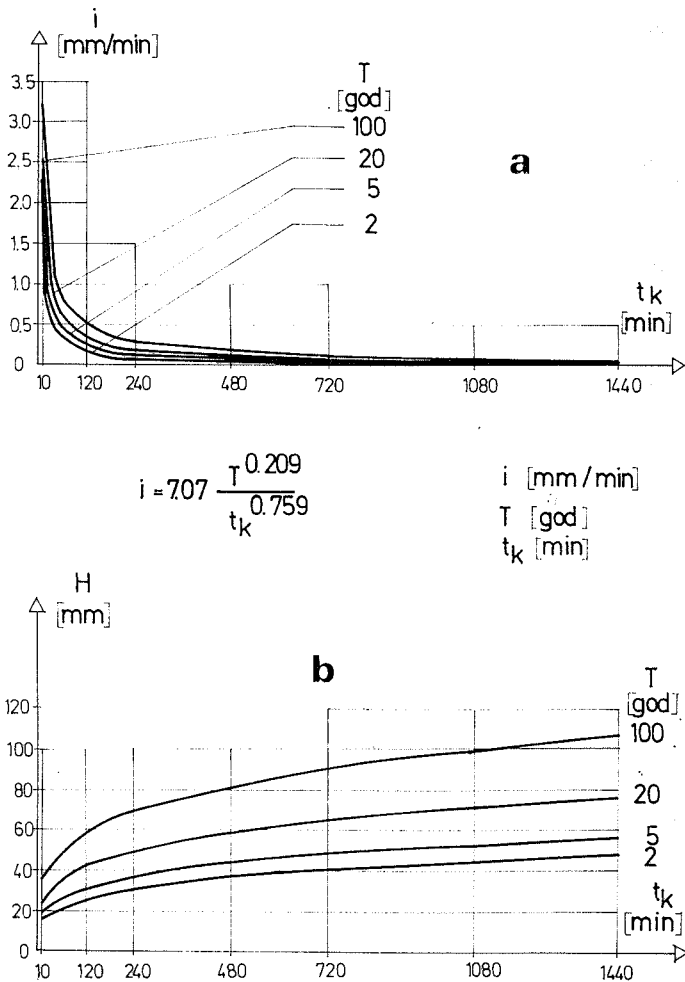
Mi preporučamo jedan od dva odnosa data izrazima (24A) i (24B), s tim da je prvi od njih jednostavniji za primjenu a daje dovoljno točne rezultate. Nastavno se navode izrazi:

$$i = a T^b t_K^c \quad (24A)$$

$$i = a T^b t_K^c e^{dt_K} \quad (24B)$$

s tim da su a , b , c , d — parametri koji se definiraju po teoriji najmanjih kvadrata dok je e baza prirodnih logaritama. Logaritmiranjem dvaju prethodnih izraza dobiju se pravci što dalje olakšava primjenu ovih izraza u praksi. Razumljivo je da je parametar c negativan, pošto je t_K obrnuto proporcionalan od intenziteta. Na slici 26 date su ITP i HTP krivulje definirane s kišomjerom za stanicu Zagreb-Maksimir.

ZAGREB-MAKSIMIR
 FAMILIJA ITP (a) I HTP (b) — KRIVULJA
 ZA RAZDOBLJE 1933—1944; 1946; 1948—1978.



Slika 26

U našoj hidrološkoj praksi, a posebno onoj za potrebe odvodnjavanja, dakle, vezanoj uz poljoprivrednu proizvodnju uobičajena je primjena tzv. klimatske funkcije vjerojatnosti koju je u praksu uveo Montanari još početkom stoljeća. Klimatska funkcija vjerojatnosti izražava se jednadžbom (25):

$$H = a t^n \quad (25)$$

kod čega je H — visina oborine u mm, t — njeno trajanje u danima, dok su a i n parametri koji se određuju po teoriji najmanjih kvadrata. Primjena

ove funkcije vezana je za slučajeve kad se na regiji ne raspolaže plaviografskim opažanjima, te je ona odmah u startu hendikepirana u odnosu na familiju ITP krivulja. U oba slučaja radi se o empirijskim krivuljama ograničenog značenja. Ograničenost se odnosi na prostor na kojem se smije primjenjivati, ali isto tako treba ukazati na to da ih se nikako ne smije koristiti izvan područja empirijskih veličina za koje su definirane. Ako su ITP krivulje definirane u području trajanja kiše t_k od 10' do 120' ne može se dozvoliti njihova primjena izvan tog područja jer svaka ekstrapolacija može dati sumnjive i čak krive podatke. Važno je naglasiti da time što je definirana ITP krivulja ili klimatska funkcija vjerojatnosti problem s oborinama izdaleka nije riješen. Stvarni problemi tek započinju i primarno se odnose na karakteristike kiše (oluje) u prostoru.

Promjenljivost karakteristika kiše u prostoru značajno utječe na proces transformacije pale kiše u izlazni hidrogram otjecanja. Način istraživanja ove karakteristike vrlo je raznolik. Diskusija o problemu započet će od jedne konkretne oluje koja se zbila iznad grada Splita 13. listopada 1982. od 8 sati do 9 sati ujutro. Posljedice se mogu vidjeti na fotografiji na slici 27.

*Poplava ulica u dijelu grada Splita
nastalog zbog pljuska palog 13. X 1982.
(foto F. KLARIĆ)*

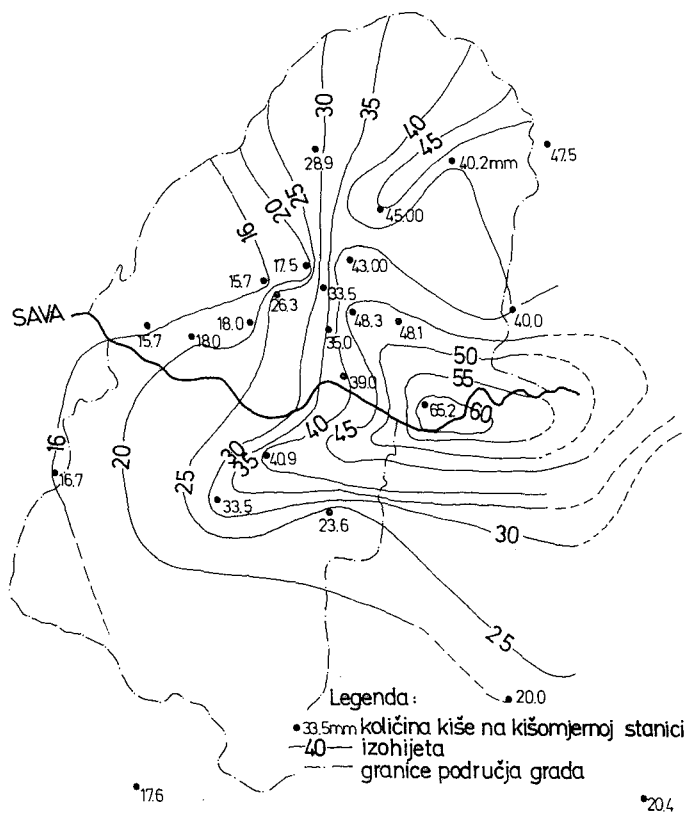


Slika 27

Snimljeno je mjesto na kojem su padale najintenzivnije kiše, dakle mjesto centra oluje. Mjerenja oborina na dva kišomjera međusobno udaljena samo 1,6 km dale su razlike oborina od 50%, dok je na jednoj lokaciji izmjereno 60,0 mm/sat na drugoj lokaciji je palo 91,0 mm/sat, s tim da je u centru oluje intenzitet bio vjerojatno još snažniji. Varijabilnost kiše u pro-

storu ogromna je, pa se taj fenomen mora u analizama uzeti u obzir. U slučaju kad se raspolaže s brojnim plaviografima i kišomjerima na malom prostoru najbolje je za svaki pojedini pljusak definirati kartu izohijeta, kao što je to učinjeno na slici 28 za šire područje Zagreba. Međutim, ove su situacije tako rijetke da su za praksu gotovo zanemarljive.

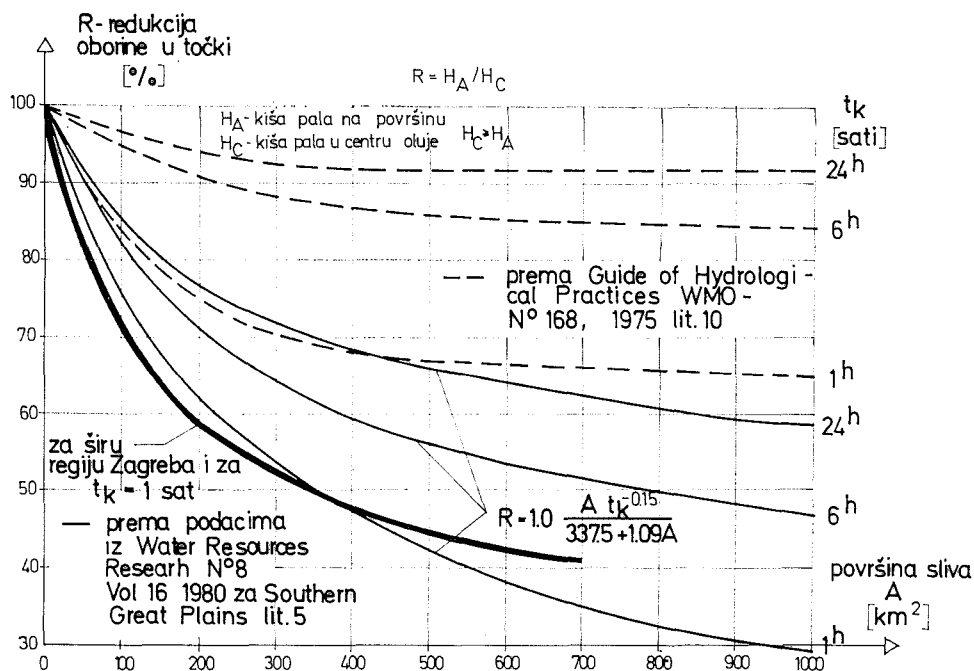
**KARTA IZOHIJETA
NA ŠIREM PODRUČJU ZAGREBA
ZA KIŠNU EPIZODU DANA 20. VII 1966. OD 3^h DO 9^h**



Slika 28

Vezano s varijabilnošću kiše u prostoru javlja se kao primaran problem prenošenje oborine pale u točku na slivnu površinu. U tom smislu postoji velik broj analiza izvršenih u svijetu i kod nas, a razmatranje je neophodno započeti od preporuke Svjetske meteorološke organizacije (SMO), koju se nikako ne smije zaobići, ali se isto tako ne smije niti koristiti bez velike doze kritičnosti. Na slici 29 date su krivulje redukcije kiše pale u točki na oborine pale na razne površine sliva A, a za razna trajanja kiše t_K .

KRIVULJE REDUKCIJE OBORINA PREMA RAZNIM IZVORIMA



Slika 29

Potrebno je naglasiti da je pretpostavljeno da kiša pala u točki predstavlja centar oluje, dakle mjesto s najintenzivnijim pljuskom na datoj površini. Krivulje iz raznih izvora jako se razlikuju, što nas još jednom i vrlo očito uvjerava da se ne smiju bez velike rezerve prihvatiti izrazi dati u literaturi. Svaka regija ima svoje karakteristike pljusкова te se na bazi njih moraju odrediti i krivulje redukcije. Nicks i Igo su analizirali pljuskovne za jednu regiju u USA. Njihove krivulje značajno se razlikuju od krivulja koje SMO predlaže za cijeli svijet (vidi sliku 20). Razlike su tako značajno velike da ne omogućavaju pronalaženje nikakvih sličnosti. Rezultati studije Nicksa and Iga nastali su na bazi analize područja od 2.925 km² pokrivenog mrežom od 228 pluviografa što odgovara gustoći od cca 1 stanice na 13 km² površine sliva. Radi se o neuobičajeno gustoj mreži stanica. Za područje grada Zagreba Skorin je definirao po sličnom principu analitički izraz (26):

$$H_A = H_C - 0,85 \frac{H_C \cdot A \cdot D^{-0,01}}{186 + 1,1 A} \quad (26)$$

kod kojeg je H_A u mm prosječna kiša pala na površinu A u km², H_C u mm vrijednost kiše pale u centru oluje, D u min trajanja kiše. Navedeni izraz dobiven je na osnovi obrade podataka sakupljenih na mreži od samo 7 stanica, na površini od cca 700 km² i na bazi analize 170 kišnih epizoda a odnosi se na trajanje kiše od 10 do 120 minuta, te mu je važnost ograničena na

taj raspon varijabli. Sa slike 29 vidljivo je da su za kišu trajanja 1 sat male razlike između izraza Skorina i Nicks-Igovog istraživanja.

Oba prethodno opisana slučaja u suštini nisu tipična zato što inženjer praktičar vrlo često mora odlučivati na bazi vrlo rijetkih mjerenja ili čak i bez mjerenja kiša. U tom smislu, može pomoći model koji su opisali Brunet-Moret i Roche. Ovdje će biti iznesene najosnovnije ideje tog modela. Analizira se kiša H mjerena na nekom kišomjeru (dakle pala u točki), a naglašava se da se ne radi o centru pljuska. Radi se s dnevnim podacima oborina i za datu reprezentativnu stanicu se određuje i pripadna vjerojatnost pojave svake od kiša, tj. definira se funkcija raspodjele. Postavlja se pitanje kolika je srednja oborina H iste vjerojatnosti pala na neko područje površine A za koje su podaci ovog kišomjera reprezentativni. Radi se dakle o definiranju koeficijenta redukcije k datog izrazom (27):

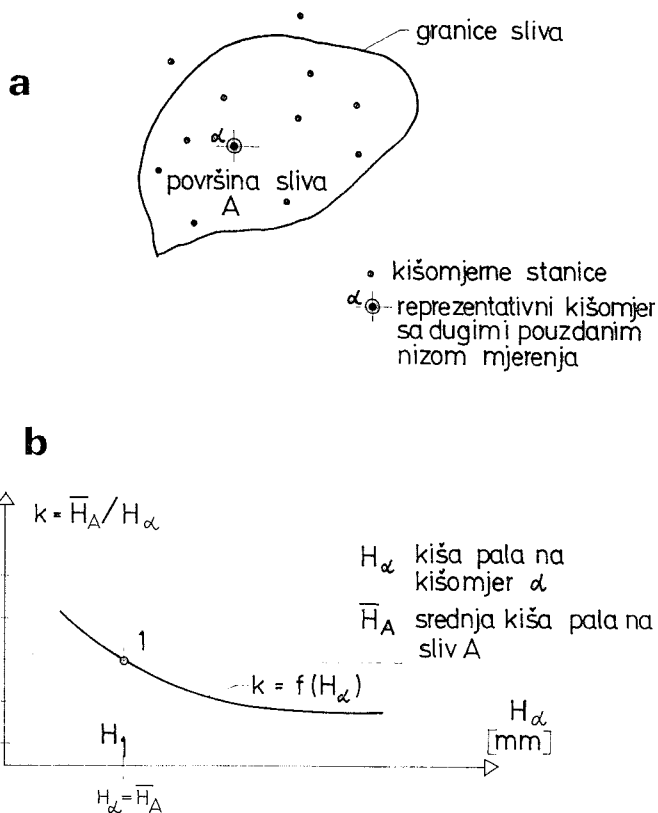
$$k = \frac{\bar{H}_A}{H}; k \cong 1$$

U ovoj analizi ne poznaje se mjesto centra pljuska zbog toga što broj stanica na površini A nije dovoljan. Sama analiza se može vršiti uz strogo ispunjavanje pretpostavke izotropije kiša na površini A . To znači da je zakon statističke raspodjele kiša u vremenu isti za svaku točku analizirane površine. Metoda je, prema tome, praktično primjenjiva na ravničarskim područjima. Inženjere nitko ne sprečava da se analiza izvrši i nad prostorima koji nisu izotropni, tj. uz saznanje da pretpostavke modela nisu u cijelosti ispunjene, pa na osnovi toga na rezultate treba gledati s određenom dozom kritičnosti. Shematski prikaz konačnog rezultata obrade dat je na slici 30 odakle se vidi praktičnost ove analize. Definirana je točka 1, dakle H_1 na reprezentativnom kišomjeru, koja predstavlja značajnu granicu. Sve kiše veće od nje veće su od srednje kiše na području A , pa se kiša pala na sliv A određuje smanjenjem one pale na reprezentativnom kišomjeru x . Obratno je s manjim oborinama. Za ovu metodu značajan je i izbor vremenske jedinice obrade. Ako se radi s kišomjerima, ona je definirana kao dan ili višekratnik od dana, a ako postoje pluviografski podaci, tada se preporuča raditi drugim metodama. Ovdje nije opisan kompletan postupak obrade jer je on vrlo složen i traži velik prostor.

U Jugoslaviji se pristupilo pripremama za primjenu modela za koji je osnovne ideje dao Aleksejev a baziran je na definiranju redukcijskih krivulja. Osnovni motiv za primjenu ove metode leži u činjenici da je mreža običnih kišomjera s dnevnim registracijom oborina daleko gušća od mreže automatskih stanica (pluviografa) koje kontinuirano u vremenu bilježe kišu. Postupak se sastoji u tome da se za sve pluviografe i kišomjere provede klasična analiza ekstremnih kiša različita trajanja t_k i ekstremnih dnevnih (24 satnih) kiša. Kao rezultat se dobiju krivulje oborina-trajanje-ponavljanje za pluviografe i oborina — ponavljanje za obične kišomjere. Oborine H izražavaju se kao $H = f(t_k, T)$ ili $H(t_k, T)$ za pluviografe i $H = f(T)$ ili $H(T)$ za kišomjere pri čemu je T ponavljanje ili povratni period kiše, a t_k njeno trajanje. Krivulja redukcije kiše $R(t_k, T)$ definira se izrazom (28):

$$R(t_k, T) = H(t_k, T)/H(T) \quad (28)$$

ELEMENTI ZA DEFINIRANJE
 KOEFICIJENTA REDUKCIJE KIŠE k S TOČKE α
 NA SLIV POVRŠINE A , PREMA METODI
 BRUNET-MORETA I ROCHA



Slika 30

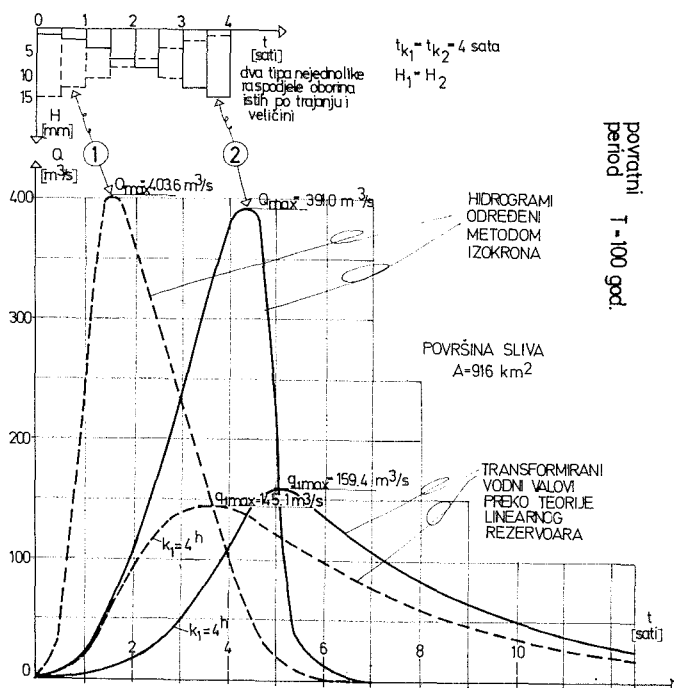
za sve stanice s automatskom registracijom kiše. Bezdimenzionalne krivulje redukcije $R(t_K, T)$ nanose se za sve stanice određene regije na dijagram $R - t_K$ te se izdvajaju subregije za koje se krivulje praktično paklopaju. Za svaku ovako odabranu regiju definiraju se srednje reduksijske krivulje $\bar{R}(t_K, T)$ za koje se na bazi izvršene analize pretpostavlja da važe na tom području. Korištenjem karakterističnih srednjih reduksijskih krivulja uz poznatu veličinu $H(T)$ za bilo koju stanicu s dnevnom registracijom moguće je obratnim postupkom definirati odnos $H(t_K, T)$ izrazom (29):

$$H(t_K, T) = H(T) \cdot \bar{R}(t_K, T) \quad (29)$$

Smirnova je cijelu teritoriju SSSR-a obuhvatila sa samo 32 karakteristične krivulje. Na bazi njenih radova kao i radova Petkovića može se zaključiti da je primjena ovako definiranih bezdimenzionalnih redukcijskih krivulja moguća i pogodna za praksu, posebno u našim uvjetima kad se ne raspolaže gustom mrežom pluviografa, a broj kišomjera je relativno velik.

U procesu projektiranja otjecanja sve prethodne informacije značajne su, ali ne i dovoljne, za cjelovito sagledavanje problematike. Neophodno je izabrati, ne samo veličinu pljuska, njegov intenzitet i trajanje već i njegov oblik. Kao izvanredan primjer koliko je kod projektiranja značajan oblik pljuska može poslužiti slika 31 na kojoj su prikazani hidrogrami izazvani od

**UTJECAJ OBLIKA PLJUSKA
NA REZULTIRAJUĆI HIDROGRAM OTJECANJA**
 Određivanje i transformacija vodnog vala
 za 2 ekstremna slučaja za sliv rijeke Ardjen
 kod Sidi Yacuba (Alžir)

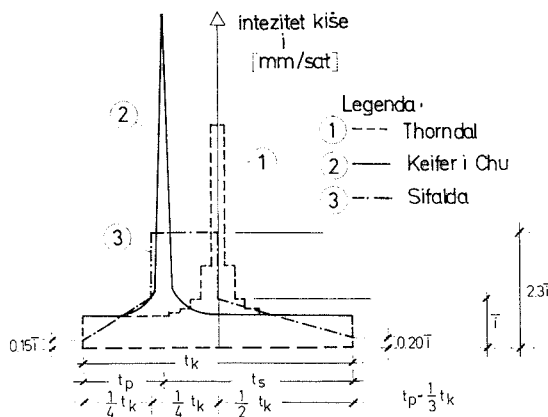


Slika 31

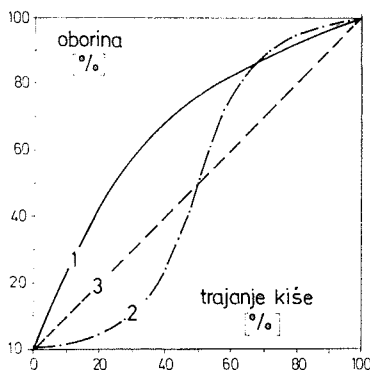
dva pljuska istog trajanja ($t_K = 4$ sata) i iste veličine, ali drugačije raspoređene u vremenu. Pljusak 1 (crtkano prikazan) započeo je s velikim intenzitetom koji se postepeno smanjivao a pljusak 2 (prikazan punom linijom) bio je zrcalno obratan. Izrazni hidrogrami računati za isti sliv metodom izokrona razlikovali su se i po obliku i po maksimalnoj vrijednosti, jedino su im volumeni bili identični. Napominje se da se radi o hidrogramima

direktnog otjecanja. Kasnijom transformacijom hidrograma preko teorije linearnog rezervoara (ovo će biti objašnjeno u poglavlju 5. Otjecanje), čime su dobiveni realni hidrogrami, uočava se ogromna razlika između elemenata hidrograma dobivenih od kiša istog trajanja i količina ali različitog rasporeda u vremenu. Zbog toga se u hidrološkoj praksi pojavio pojam projektiranog pljuska (design rainfall). Do ovog pljuska dolazi se na bazi različitih pristupa, a najčešći je analiza bazirana na obradi mjerenih podataka. Na slici 32a prikazani su shematski oblici za tri tipa projektiranog pljuska predložena od strane Thorndala (1), Keifera i Chua (2) i Sifalde (3). Uočava se velika razlika među predloženim oblicima pljuskova na bazi kojih bi trebalo vršiti primarno dimenzioniranje objekata odvodnje. Različiti pristupi analizi kiša dali su različite rezultate. Treba naglasiti da bi svi projektirani pljuskovi trebali biti određeni uz uvjet da dadu kritično otjecanje (s najvišim maksimum protoke), što se ne postiže ako se bez analize prihvati neki od brojnih u literaturi predloženih obrazaca.

a) USPOREDNI PRIKAZ
NEKIH PROJEKTIRANIH PLJUSKOVA



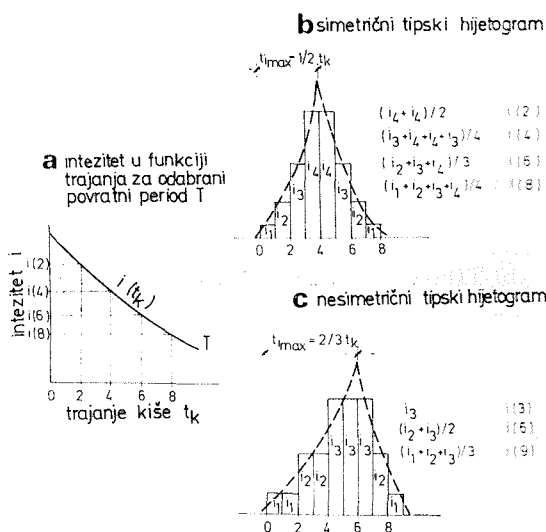
b) TIPOVI PROJEKTIRANOG PLJUSKA
S OZIROM NA RASPORED U VREMENU



Slika 32

Na slici 32b prikazan je oblik projektiranog pljuska dobiven na bazi obrade velikog broja podataka 60-minutnih kiša palih na području Dalmacije (krivulja 1). Ova se krivulja značajno razlikuje od onih koje predlažu neki autori a koje uglavnom imaju oblik kao krivulja 2 na slici 32b. Kratkotrajni pljus-kovi obično imaju takve karakteristike da u početku padne najveća količina kiše te da se intenzitet s trajanjem naglo smanjuje. Za realne dugotrajne kiše ovi oblici su sasvim drugačiji i, prema našim iskustvima, teže prema krivulji 3 na slici 32b, dakle, prema slučaju kiše s konstantnim intenzitetom. Razumljivo je da projektirani pljusak treba da predstavlja, ne samo najčešću realnu kišu, već i onu kišu koja će dati kritično otjecanje. Brojni autori dali su brojne i vrlo različite rezultate, ali treba napomenuti da kod svih tih analiza postoje određeni nedostaci koji se, prije svega, nalaze u činjenici da su proračuni rađeni na konkretnim malim urbanim slivovima i da su upotrebljavani razni modeli za transformaciju kiše u otjecanje. To pokazuje da se niti jedni zaključci i preporuke ne mogu smatrati općim, te da na ovom problemu treba još vrlo intenzivno raditi. U nastavku će biti navedena preporuka tipskih hijetograma (u stvari projektiranog pljuska) definiranih na bazi ITP krivulja, kako se oni koriste u praksi u Engleskoj i SAD pri projektiranju objekata za odvodnju. Na slici 33 dat je prikaz konstrukcije

KONSTRUKCIJA TIPSkih HIJETOGRAMA NA BAZI ITP KRIVULJA



Slika 33

tipskih hijetograma, simetričnih i nesimetričnih, na bazi ITP krivulja. Oni nisu ovdje navedeni u cilju da se preporučuje njihova primjena, već zato da se ukaže složenost problema i raznolikost pristupa.

Najzad, još uvijek se mogu naći primjeri da se ponekad prilikom proračuna poplavnih valova (odnosno kritičnih hidrograma velikih voda), umjesto sintetiziranih tipskih hijetograma, usvajaju hijetogrami stvarnih, obično najvećih registriranih pljuskova. Hijetogram registriranog pljuskova se obično usvaja onda kada se zna da je takav pljusak u prošlosti uzrokovao poplave na toj lokaciji (uslijed čega je odlučeno da se taj pljusak uzima kao mjero-davan na toj lokaciji prilikom budućeg projektiranja), ili kada se pokaže (i dokaže) da je takav pljusak bio uzrokom pojave poplavnog vala, povratnog perioda od T godina.

Sve to znači da se u jednoj svestranoj analizi režima kiša ne smije ispustiti iz vida i značenje projektiranih pljuskova, tj. tipskih ili karakterističnih hijetograma palih kiša. Ovo tim prije što za izradu podloga ovog tipa ne treba puno dodatnih obrada, one se mogu provesti i paralelno, u procesu primarne obrade pluviografskih traka. Doda li se ovim razmatranjima i činjenica da na oblik hidrograma direktnog utjecanja bitno utječe i pravac kretanja oluje, moguće je sagledati svu kompleksnost analizirane problematike. Jovanović sa suradnicima analizirao je (putem radarskih mjerenja) kretanje kiše uzduž jednog manjeg slijeva i konstatirao da se maksimalne protoke razlikuju i do reda veličina od 30% ovisno o tome da li oluja putuje od izvora k ušću (izlaznom profilu) ili obratno.

U hidrometeorološkoj službi Jugoslavije uviđa se značenje obrada, analiza i istraživanja kao i podloga koje se dobivaju kao konačni rezultat vezano s kišama i vremensko-prostornim karakteristikama režima ekstremnih kiša kratkog trajanja. Kao rezultat toga, početkom 1982. godine Savezni hidrometeorološki zavod je pokrenuo akciju da se u hidrometeorološkoj službi započne s obradom podataka pluviografskih opažanja s cjelokupne mreže pluviografskih stanica u zemlji koje neprekidno rade duže od 10 godina. U tom cilju urađen je poseban projekt primarne i sekundarne obrade u kojem su definirani osnovni stručni, tehnički i organizacijski aspekti obrade pluviografskih traka i analiza režima kiša.

Ukratko, osnovni ciljevi pokrenute akcije su:

a) da se preko digitajzera, koji postoje u tri hidrometeorološka zavoda u okviru službe, obrade sve kiše registrirane na pluviografskim stanicama u zemlji, i podaci obrade (u petminutnim intervalima) arhiviraju na magnetnim trakama;

b) da se utvrdi metodologija sekundarne obrade i analize kiša, te razvije i testira odgovarajuća programska podrška, za računalo, za sekundarnu obradu i analizu kiša u našoj zemlji;

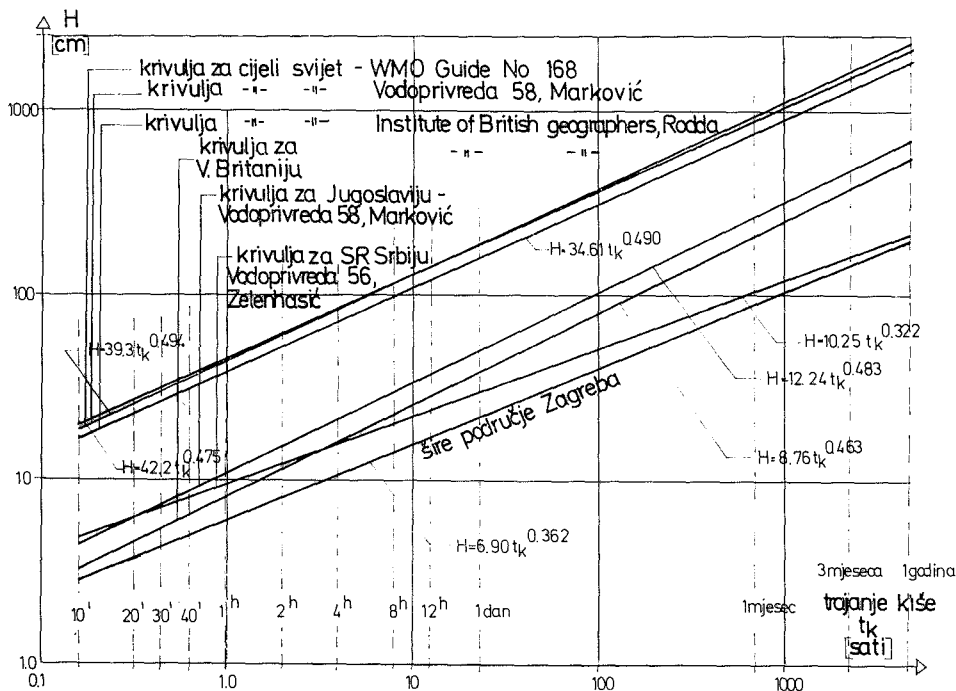
c) da se izvrši masovna sekundarna obrada i analiza kiše preko računara za sve pluviografske stanice u zemlji, a na bazi podataka obrade dobivenih pod a), i programske podrške, razvijene i testirane pod b);

d) da se, na bazi realiziranih zadataka pod a), b) i c), izvrše daljnje analize i istraživanja i, na osnovi njih, izrade cjelovite podloge o vremensko-prostornim karakteristikama režima kiša kratkog trajanja u našoj zemlji.

Prvi i osnovni zadatak u okviru realizacije ovog posla je dostizanje cilja pod a). Posao oko digitalizacije i primarne obrade pluviografskih traka sa svih stanica u zemlji predstavlja ujedno i najkritičniji i najopsežniji dio posla, bez kojeg, ako se ne obavi na adekvatan način, ne može biti ni govora o daljnjem radu i dostizanju krajnjeg cilja (pod točkom d).

Poglavlje o oborinama završit će se s navođenjem rezultata anvelopa maksimalnih oborina koje su izmjerene na raznim područjima u svijetu. Ovi rezultati mogu pomoći kod projektiranja jer su granice koje ne bi trebalo prekoračiti. Na slici 34 date su krivulje za cijeli svijet (izrazi 30A, B, C) dobiveni iz raznih izvora:

ANVELOPNE KRIVULJE MAKSIMALNIH OPAŽENIH OBORINA
U TOCCI PREMA RAZNIM AUTORIMA



Slika 34

$$H = 39,3 t_k^{0,494} \quad (30A)$$

$$H = 42,4 t_k^{0,475} \quad (30B)$$

$$H = 34,61 t_k^{0,490} \quad (30C)$$

— za Veliku Britaniju (izraz 31), prema Roddi:

$$H = 8,76 t_k^{0,463} \quad (31)$$

— za Jugoslaviju (izraz 32) prema Markoviću:

$$H = 12,24 t_k^{0,403} \quad (32)$$

— za Srbiju (izraz 33), prema Zelenhasiću:

$$H = 10,25 t_k^{0,322} \quad (33)$$

— i za šire područje Zagreba (izraz 34), prema Bonacciju:

$$H = 6,90 t_k^{0,362} \quad (34)$$

kod čega je trajanje kiše t_k dato u satima a visina oborine H u cm.

3. SUŠA I KLIMATSKI INDEKSI VLAŽNOSTI

Suša postaje sve prisutnija pojava u našoj svakodnevici te se smatralo neophodnim prodiskutirati ovaj pojam s hidrološkog aspekta. Definirati pojam suše vrlo je teško, a općenito, praktički nemoguće. Kod naših analiza pošli smo od pretpostavke da sušu treba smatrati apsolutnom kategorijom. Relativan pristup suši uzimanjem u obzir sve većih i većih potreba za vodom, može biti korišten samo u slučajevima izdvojenog izučavanja sustava potrošnje vode. U hidrometeorologiji suša se smatra slučajnom stohastičkom pojavom. Štoviše, za nju se može reći da je i stacionarna jer do danas izvršena istraživanja cikličnosti suše nisu dala čvrstih uvjeravanja. Isto se odnosi i na trend vlažnosti ili suše koji nije ničim dokazan. U izvjesnim radovima, a posebno Alehina se tvrdi da postoje ciklusi malovodnih razdoblja. Čini se ipak da se ovdje više radi o činjenici primijenjenog matematičkog aparata koji nameće cikličnost kao jednu od mogućih objašnjenja. Primjenom kroskorelacijske teorije slučajnih funkcija istražuje se u navedenim radovima kroskorelacijska ovisnost procesa minimalnog otjecanja neke rijeke i atmosfertske cirkulacije odnosno Sunčeve radijacije. Poznato je da se Wolfovim brojem, brojem Viteljsa i Vangengejma karakterizira atmosferska cirkulacija i Sunčevo zračenje i da su ti brojevi izrazito ciklični. Samim njihovim korištenjem dolazi se do vjerojatno krivog zaključka o cikličnosti suša na zemaljskoj kugli ili što je još mnogo manje vjerojatno u nekoj maloj regiji površine reda veličine 10.000 km². Filtri kroz koje se transformira utjecaj atmosferske cirkulacije i Sunčeva zračenja na neku određenu regiju tako su moćni da se značajno gubi primarni utjecaj uzroka. Jasno je da se ovim ne želi kazati da on nema nikakav značaj. Sigurno ima, ali uz niz utjecaja sa strane a samim tim i značajnih transformacija.

U ovom izlaganju zanimljivo je napomenuti još jedan pristup analizi suše. Radi se o dendroklimatološkom pristupu kod kojeg se suša povezuje s globalnom svemirskom situacijom, preciznije rečeno s odnosima planeta u našem, Sunčevu sustavu. Položaj planeta u sušnom razdoblju specifičan je, svi se nalaze na otprilike istoj liniji. Pošto je moguće izračunati točno vrijeme kada će planete biti u takvom međudodnosu moguća je i prognoza suše.

Međutim, čak da je i ova hipoteza točna, još uvijek nam ona ne može pomoći za regionalne analize suša, budući da na njih očito djeluje još niz drugih faktora. Sama hipoteza još uvijek nije dokazana, ali ni odbačena, a očito ima određene veze sa spomenutom hipotezom veze suše s globalnom atmosferskom cirkulacijom i Sunčevim zračenjem. Vezano s definiranjem i kvantificiranjem problema suše značajan je rad Konstantinova. Tu se navodi radova u kojima se pokušalo stupanj suše karakterizirati jednostavnim ili kompleksnim karakteristikama kao na primjer: sumom temperatura, isparavanjem, raznim indeksima suhoće i drugim kombinacijama komponenata toplotne i vodne bilance. Konačan zaključak Konstantinova je da su bez obzira na fizičku osnovanost sve te karakteristike ili jednostrane ili nejednoznačne, a najčešće komplicirane, teške za definiranje, teško mjerljive pa samim tim i slabo aplikativne. Kao najznačajniji istaknut je problem aktivne borbe sa sušom koju nije moguće voditi ako nije poznata suština pojave i

fenomena suše. Druga grupa autora definira stupanj suše količinom vlage u tlu. Vlagu u tlu povezuje se s trajanjem razdoblja bez padavina. Time se u principu pojava suše dijeli na atmosfersku komponentu i komponentu stanja rezervi vlage u tlu. Analize su pokazale da ni ovaj kriterij, koji je, u stvari, izrađen za potrebe poljoprivrede, nije jednoznačan. Primijećeno je, naime, da go ugibanja biljaka zbog suše dolazi u slučajevima dovoljnih, pa čak i optimalnih rezervi vlage u tlu. Neki autori karakterizirali su stupanj suše veličinom poljoprivredne proizvodnje određenih kultura. Ovaj kriterij nije objektivan, a nije niti u potpunosti korektan, jer prinos poljoprivrednih kultura značajno ovisi i o agrotehničkim mjerama. Smatra se da kriterij suše treba biti objektivna, kompleksna, kvantitativna karakteristika određena zajedničkim utjecajem stanja atmosfere i stanja tla, te se stoga predlaže deficit isparavanja (evapotranspiracije) ΔE kao karakteristika koja se najbolje prilagođava prethodnim zahtjevima. Deficit evapotranspiracije definira se kao razlika između maksimalno moguće evapotranspiracije (potencijalna evapotranspiracija) i stvarne evapotranspiracije. Prethodno ukratno iznesenim razmatranjima definira se kvalitativno karakteristika stupnja suše, ali to je tek prvi element analize. Suša ima svoje posljedice i svaki indeks kojim se ona definira mora jasno ukazati na njene posljedice. Ako to ne učini ma kako bio kompleksan i fizički razrađen očito je da nije reprezentativan. Zbog toga se indeksi suše moraju postavljati u korelacijske odnose najčešće sa stanjem poljoprivrednih kultura. Pri tome su uobičajena tri pristupa ocjeni stanja bilja. Prvi način sastoji se u vizualnoj ocjeni (sagunost prema zemlji, žutoći listova, suhoći itd.). Radi se o subjektivnim procjenama koje je teško numerički definirati. Ujedno su sve vizualne pojave suše na bilju dokaz da suša već traje određen period vremena a suša ne nastupa uvijek u vegetacijskom periodu. Drugi, kvalitetniji pristup vezan je s neposrednim mjerenjima nekog elementa ili procesa fiziološkog funkcioniranja biljke. Najčešće se koriste slijedeći pokazatelji: koncentracija soka u stanicama, vodnost lišća i njihova sisajuća sila, osmotski pritisak, stupanj otvorenosti pora itd. Sve navedene karakteristike ovise izravno o vodnom režimu biljke i vrlo brzo reagiraju na njegove promjene. Perspektiva ovog pristupa velika je ali za sada je postojeći fundus podataka više nego nedovoljan a da bi se mogle vršiti ma kakve objektivnije analize.

Za sada je najpogodniji način za ustanovljavanje odnosa biljaka na pojavu suše, dakle za ustanovljavanje veličine suše (dokazivanje kvalitete indeksa, pokazatelja suše) povezivanje s produktivnošću poljoprivrednih kultura. Ovaj treći način pogodan je zbog toga što postoji dosta dugi niz informacija o urodaju poljoprivrednih kultura. Ne treba posebno naglašavati da sirovi podatak proizvodnje treba obraditi u odnosu na agrotehničke mjere. Jer činjenica je da se s agrotehničkim mjerama koje se sve više i više primjenjuju ublažavaju utjecaji suše.

Aplicirajući prethodno navedena razmatranja došlo se do izvanredno zanimljivih zaključaka. U području s obiljem vlage, suša do izvjesnog stupnja čak pozitivno utječe na prirast bilja. U području sa srednjom količinom vlage ovaj se fenomen gubi, a u zonama suhe klime s nedostatkom oborina suša direktno utječe na smanjenje urodaja poljoprivrednih kultura. Međutim, i ovdje maksimalni koeficijent korelacije između ΔE i urodaja iznosi tek oko $-0,6$ do $-0,7$. U većini slučajeva on se kreće do vrijednosti od $-0,4$.

Rezimirajući rezultate niza radova a posebno one iz studije Konstantinova može se slobodno zaključiti da nijedan indeks suše nije dao konačan odgovor, a čini se da za sada potpunog odgovora i nema, niti ga je moguće jednoznačno tražiti bez uvođenja u analize posljedice suše na opskrbu vodom, energiju itd., tj. na ekonomiju jedne regije ili čak države.

S hidrološkog je aspekta suši najprimjerenije prići analiziranjem malih voda i iscrpljenju rezervi podzemnih voda.

Do danas najkompleksniji i najpriznatiji indeks suše je Palmerov indeks. Radi se o vrlo složenom, pretežno meteorološki orijentiranom, indeksu na koji postoje brojne primjedbe, ali se ipak smatra da je on najkompleksniji. U vezi s njegovim određivanjem treba reći da je njegov proračun složen i dugotrajan te da za definiranje indeksa Palmera treba raspolagati sa slijedećim parametrima i podacima za analizirano područje: evprotranspiracijom, vlažnošću tla, protokom vode, gubitkom vode u tlu i količinom palih oborina. Za neke od parametara potrebne su i stvarne i potencijalne vrijednosti.

U praksi se uvriježila upotreba de Martonovog indeksa sušnosti IM definiranog izrazom (35):

$$IM = \frac{12 H}{t + 10} \quad (35)$$

kod čega je s H označena ukupna mjesečna oborina u milimetrima, a s t srednja mjesečna temperatura u °C. Ovaj indeks koristi se često u agrotehničkoj praksi. Ako je $IM > 30$, smatra se da nije potrebno navodnjavanje, dok u slučaju $IM > 40$ treba izbjegavati sijanje žitarica budući da je vlažnost pretjerana za njihov razvoj ili je potrebno odvodnjavanje. Ako je indeks manji od 20, radi se o sušnoj situaciji i potrebi navodnjavanja. U tablici XIV dat je pregled statističkih karakteristika po mjesecima, de Martonovog indeksa za Zagreb-Grič u razdoblju 1925—1974.

Tablica XIV

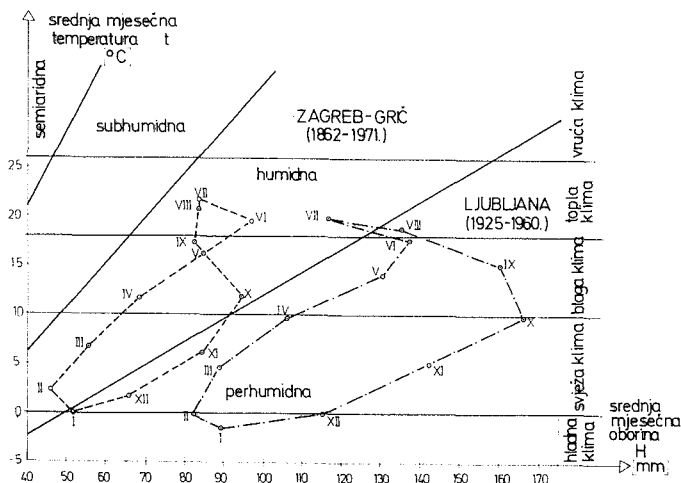
STATISTIČKE KARAKTERISTIKE DE MARTONOVOG INDEKSA
ZA ZAGREB-GRIČ (1925—1974)

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
\overline{IM}	69,9	58,9	38,5	38,5	45,6	44,4	34,9	36,5	41,9	49,2	69,2	67,4
IM_{max}	217	282	108	93	120	190	98	141	211	269	221	186
IM_{min}	9	2	3	4	14	9	8	3	3	5	9	16
σ	41,1	69,9	27,1	21,9	33,6	32,4	22,3	26,0	38,1	42,5	44,5	36,5

Vidljivo je da taj indeks jako varira, i to najviše u funkciji oborine, budući da srednje mjesečne temperature imaju vrlo pravilan hod. U toplom dijelu godine on je manji što je razumljivo, a najniži je u VII mjesecu. Tada

se vrlo često pojavljuju vrijednosti ovog indeksa koji ukazuju na potrebu navodnjavanja. Do potrebe odvodnje dolazi vrlo često u hladnijem dijelu godine ali nerijetko i u V i VI mjesecu. Iako se ovaj indeks ne može smatrati jako osjetljivim a time i posebno indikativnim, ne mogu mu se osporavati niti određene kvalitete u odnosu na informacije koje nosi.

FOSTEROV DIJAGRAM



Slika 35

Na slici 35 nacrtan je Fosterov dijagram na kojem su definirane u funkciji srednje mjesečne temperature i srednje mjesečne oborine-vlažnosti klima. Stanja vlažnosti data su opisno kao semiaridno, subhumidno, humidno i perhumidno. U dijagram su uneseni podaci višegodišnjih prosjeka za kišomjerne stanice Ljubljana (1925—1960) i Zagreb-Grič (1862—1971). Dok je klima Zagreba uglavnom humidna (od veljače do listopada) klima Ljubljane može se u cijelosti (izuzetak je srpanj) smatrati perhumidnim. Temperaturne razlike između Zagreba i Ljubljane nisu značajne, ali su zato bitno veće oborine u Ljubljani, iako se oborinski režimi uglavnom poklapaju (veće razlike nastupaju u ljetnim mjesecima). Perhumidnost pa i humidnost vezani su za potrebe odvodnje poljoprivrednih površina pa se jasno uočava da gledajući srednje mjesečne karakteristike klime i u području Zagreba kao i u području Ljubljane treba osigurati stalno odvodnjavanje poljoprivrednih površina.

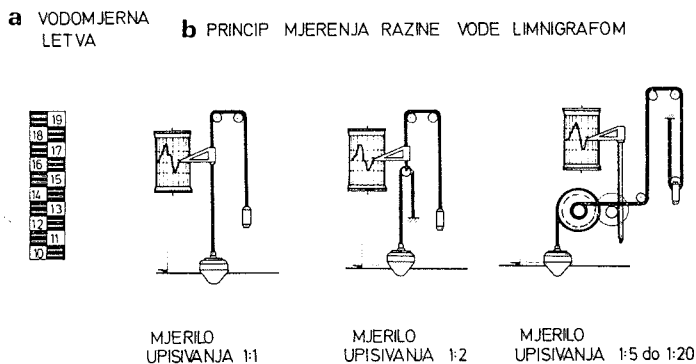
4. HIDROMETRIJA

Hidrometrija je znanstvena disciplina o metodama i tehnici mjerenja i osnovne obrade različitih karakteristika vezanih uz vodu u svim njenim oblicima pojavljivanja na Zemljinoj kugli. Smatra se još uvijek dijelom hidrologije, iako sadrži mnogo elemenata hidraulike. Hidrologija naročito, a hidrotehnika

u cjelini, sve svoje metode, zaključke i akcije temelje na podacima izmjenim pretežno na terenu ili u laboratoriju, dakle na podlogama kojima se sakupljanjem i osnovnom analizom bavi hidrometrija. Osnovni su zadaci hidrometrije: razrada metoda i pribora za kvantitativno određivanje i proučavanje elemenata režima voda, obrada podataka mjerenja dobivenih na bazi različitih metoda i pribora, te organizacija opažачkih stanica radi dobivanja optimalnih informacija.

4.1. Mjerenja razine vode

Razina vode mjeri se na vodenim tokovima (rijekama, jezerima, moru i kanalima) za potrebe plovidbe, projektiranja i gradnje hidrotehničkih objekata, te da se odredi odnos između razine i protoka vode u protjecajnom presjeku vodenog toka. Vodostaj predstavlja razliku između razine vode u trenutku mjerenja i izabrane i fiksirane (nulte) razine. Svaki uređaj za mjerenje vodostaja mora imati određenu nultu kotu. Ta se kota povezuje s državnom geodetskom izmjerom visina i izražava se u apsolutnim jedinicama, metrima nad morem (m n. m.). Vodostaji se mogu opažati pojedinačnim očitavanjima ili neprekinutim bilježenjem na papirnatu traku, bušenu traku i sl. Danas se sve više upotrebljavaju uređaji za automatski prijenos podataka, njihovu obradu i prognozu razine vode.

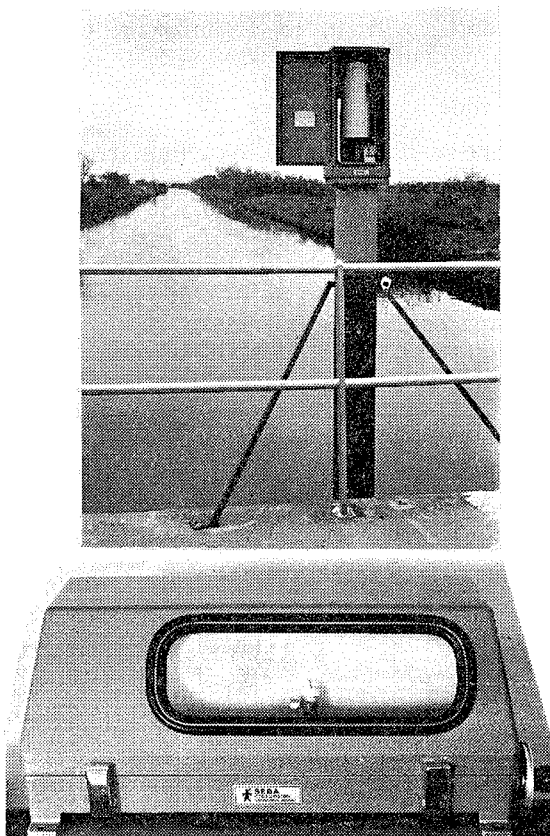


Stika 36

Vodomjerna letva (sl. 36a) najjednostavniji je i najrasprostranjeniji uređaj za mjerenje razine vode. Izrađuje se od drveta, lijevanog željeza, čeličnog lima ili plastičnih materijala s podjelom po 2 cm. Način ugrađivanja vodomjerne letve ovisi od terenskih uvjeta (prije svega o nagibu i stabilnosti obala). Početak letve treba postaviti ispod najniže razine vode kako bi se omogućilo mjerenje cijele amplitude vodostaja. Vodostaji na vodomjernim letvama očitavaju se u nas ili jednom dnevno u 7,30 sati ili dva puta dnevno u 7,30 i 18,30 sati.

Razina vode mjeri se i automatskim registratorima za koje se u nas uvriježio naziv limnigrafi (na rijekama) ili mareografi (na moru). Mjeri se uređajem koji ima plovak, uže, sustav kolotura i protuuteg (sl. 36b). Razina vode bilježi

se na papirnatu traku ili se buši na bušenu traku koja se kasnije obrađuje električkim čitačima prema potrebi i neposredno elektroničkim računalima. Limnigrafi se izrađuju s horizontalnim i vertikalnim bubnjem (sl. 37) na koji se po-

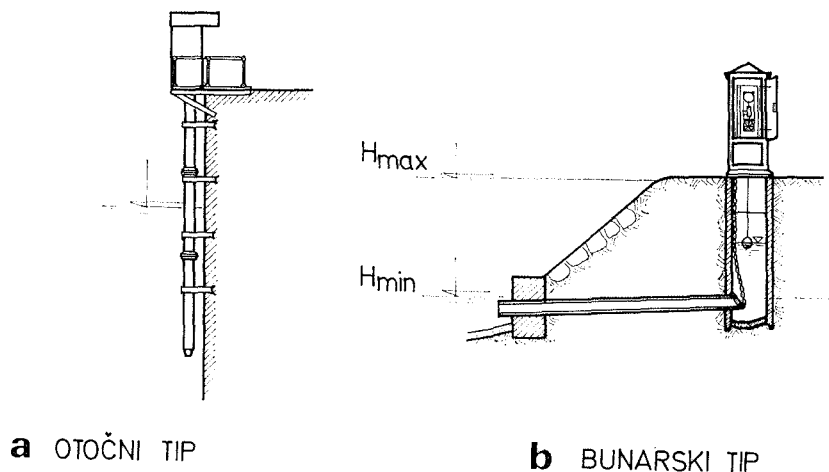


*Fotografiranje limnigrafa s vertikalnim (a)
i horizontalnim (b) bubnjem
Slika 37*

stavljaju papirnate trake s vremenskim i visinskim podjelama. Bubanj je spojen sa satnim mehanizmom. Standardizirana su mjerila registriranja vodostaja 1:5, 1:10, 1:20. Limnigrafi se mogu ugraditi na dva načina, kao bunarski i otočni tip (sl. 38). Uz limnigrafe se obavezno ugrađuje i vodomjerna letva koja služi za kontrolu točnosti rada automatskog registratora.

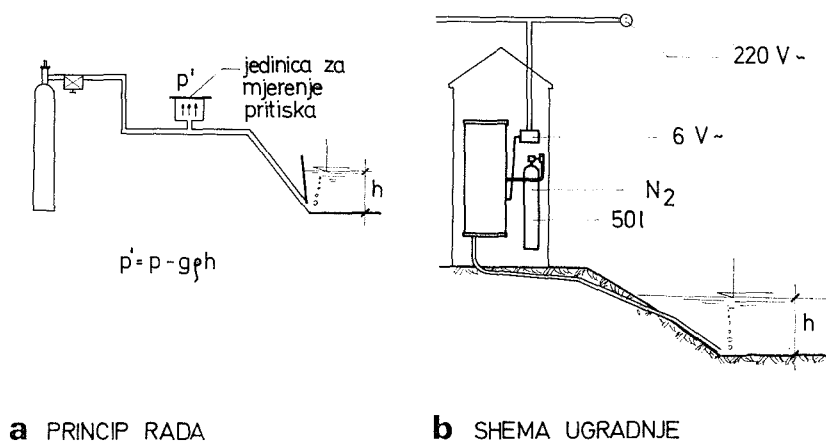
Danas su sve češća mjerenja s pomoću pneumatskih hidrostatičkih indikatora razine vode (sl. 39). Princip tog načina mjerenja osniva se na registriranju razlike tlakova komprimiranog plina i hidrostatskog tlaka vode. Tlak je plina stalan, a hidrostatski se tlak mijenja s promjenom vodostaja, pa prema tome samo razina vode utječe na promjenu tlaka koji se mjeri manometrom.

NAČIN MONTIRANJA
AUTOMATSKIH REGISTRATORA NIVOVA VODE (LIMNIGRAFA)



Slika 38

PNEUMATSKI AUTOMATSKI REGISTRATOR RAZINE VODE

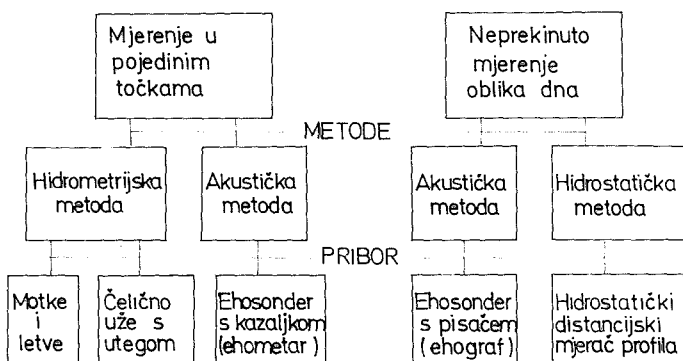


Slika 39

4.2. Mjerenje dubine vode

Mjerenjem dubine vode želi se odrediti reljef dna rijeke, jezera ili bilo koje druge površine pod vodom. Rezultat mjerenja su planovi (situacije) korita rijeka, jezera, akumulacija itd., s izobatama ili izohipsama (slojnicama) te karakteristični poprečni i uzdužni presjeci. Mjerenje je dubine vode najtočnije za vrijeme niskih vodostaja. S povišenjem vodostaja, posebno tekućih voda, rastu i brzine voda, pa se smanjuje mogućnost postizavanja visoke točnosti mjerenja. Dubina vode mjeri se u pojedinim točkama ili se neprekinuto snima linija dna. Pri mjerenju dubine vode potrebno je u svakom trenutku poznavati razinu vode, odrediti točan položaj točke na kojoj se mjeri, te izmjeriti vertikalnu razliku od razine vode do čvrstog dna. Od izuzetnog je značenja neprekinuto praćenje promjene razine vode za vrijeme mjerenja dubine kako bi se sve izmjerene vrijednosti mogle svesti na jednu unaprijed odabranu razinu. Postoji mnogo metoda i pribora za mjerenje dubine vode i određivanje oblika dna (sl. 40).

PREGLED METODA I PRIBORA ZA MJERENJE DUBINA



Slika 40

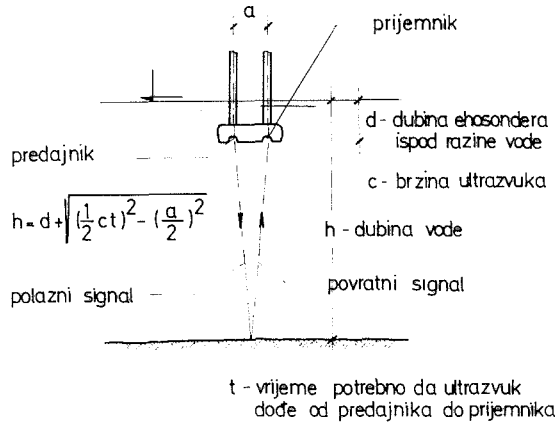
Mjerenje trenutne razine vode uzduž prirodnog vodenog toka u nekom trenutku provodi se istodobnim fiksiranjem razine vode na više profila. U praksi se to obavlja istodobnim zabijanjem kolčića tako da im vrh bude u razini vodene površine ili istodobnim označavanjem razine vode mjernim iglama.

Za mjerenje dubine vode hidrometrijskom metodom upotrebljavaju se različiti tipovi motaka i letvi, tzv. sondirki, obilježenih prema točnosti mjerenja, svakih 1, 2, 5 do maksimalno 10 cm. S većih plovni objekata mjeri se dubina vode čeličnim graduiranim užetom kojemu je na kraju obješen uteg do maksimalne težine 50 kg, već prema brzini vode. Kad se mjeri užetom opterećenim utegom u tekućim vodama, voda zanosi užet, pa je potrebno korigirati (smanjiti) izmjerene dubine.

Akustička metoda mjerenja dubine vode temelji se na odašiljanju ultrazvučnog signala i njegovog prihvaćanja nakon što se odbio od dna. Suština

rada ultrazvučnog dubinomjera (eho-sondera) sastoji se u mjerenju vremena protoklog od odašiljanja do prihvaćanja istog impulsa ultrazvuka (sl. 41).

PRINCIP MJERENJA DUBINE VODE EHOSONDEROM



Slika 41

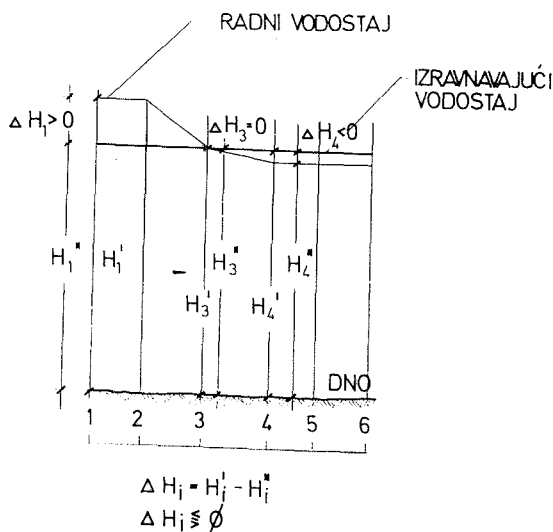
Brzina širenja ultrazvuka u vodi ovisi o temperaturi i gustoći (salinitetu) vode. U slatkoj vodi i pri temperaturi od 14°C brzina iznosi 1462 ms⁻¹. Na muljevitom dnu ehosonder pokazuje dubinu od površine mulja, ali se ultrazvuk probija i do čvrste podloge te se dobivaju dvostruki podaci o dubini. Prednosti su rada s ehosonderom pred svim ostalim priborima i metodama: visoka točnost mjerenja, velika brzina mjerenja (15—17 kmh⁻¹) te mogućnost mjerenja najrazličitijih oblika dna. Nedostaci su: nestabilnost održavanja smjera mjerenja i smanjenje točnosti mjerenja dubina kad je voda mutna ili zasićena zrakom te kad je dno pokriveno travom.

Dubina vode na terenu mjeri se prema svrsi mjerenja, potrebnoj točnosti, mjesnim uvjetima i kretanju vode (voda stajačica ili tekućica); po poprečnim profilima, po kosim profilima, po mreži kvadrata ili kombiniranim načinom. Izbor smjera kretanja za vrijeme snimanja ovisi o upotrebljenim geodetskim instrumentima i o tome gdje ih je najpovoljnije smjestiti na terenu.

Pri mjerenju i kasnijoj obradi dubina, kad se mijenja razina vode (posebno u rijekama), potrebno je podatke terenskih mjerenja dobivenih pri različitim vodostajima svesti na određenu razinu vode koja se naziva uvjetnom razinom ili razinom izravnivanja. To je potrebno kako bi se rezultati mjerenja dubine vode mogli međusobno uspoređivati jer su provedeni u različitim vremenskim razdobljima, a prema tome i pri različitim vodostajima. Najjednostavnije je preračunati izmjerenu dubinu vode na uvjetnu razinu tako da se na cijeloj dionici mjerenja u istom trenutku izmjeri i fiksira trenutni vodostaj, a niveliranjem se utvrdi apsolutna visina razine vode. Sva ostala mjerenja preračunavaju se jednostavnim zbrajanjem ili oduzimanjem

razlike između tako fiksiranog vodostaja i onoga koji je bio u trenutku mjerenja dubine (sl. 42).

ODREĐIVANJE IZRAVNAVAJUĆEG VODOSTAJA



Slika 42

Na osnovi mjerenja dubine vode određuju se poprečni i uzdužni profili, te se izrađuju situacije vodenih površina u izobatama (linije istih dubina) i izohipsama (linije istih apsolutnih visina). Za određivanje plana vodene površine u izobatama potrebno je sva mjerenja dubina preračunati na vodostaj izravnjanja.

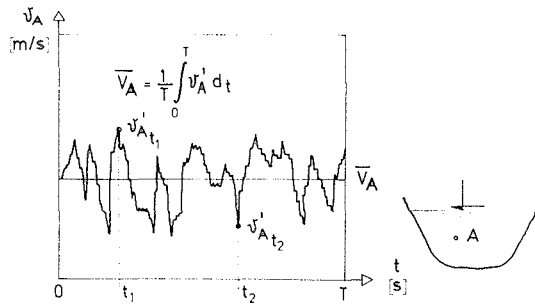
4.3. Mjerenje brzine vode

Brzina tijela v definira se kao prva derivacija puta po vremenu $\vec{v} = \frac{dl}{dt}$.

Da bi se definirala brzina tijela, potrebno je odrediti njenu apsolutnu vrijednost, pravac s obzirom na neki koordinatni sustav i smjer vektora brzine. Kad voda teče cijevima ili otvorenim vodnim tokovima, poznati su pravac i smjer vektora brzine, pa je mjerenjem potrebno odrediti samo vrijednost brzine. Pri proučavanju strujanja vode u moru i jezerima mjerenjem je potrebno odrediti sva tri elementa. Prema vrijednosti brzine, viskoznosti vode i protoku, strujanje vode može biti lamirano ili turbulentno. U prirodi se lamirano strujanje vode vrlo rijetko susreće, i to pretežno kad se radi o kretanju podzemnih i pukotinskih voda. Gotovo za sve prirodne i umjetne vodene tokove karakterističan je turbulentni režim. Za hidrometriju najbitniji je vid turbulentnog strujanja njegova neposredna povezanost s pulziranjem brzina u vremenu i prostoru. U svakoj točki turbulentnog toka mijenja se s vremenom i vrijednost i smjer brzine vode. Zbog toga se uvodi pojam trenu-

tačne brzine v' , koji se definira kao brzina u određenoj točki u točno preciziranom trenutku (sl. 43). Pulsiranje brzina izražava se s pomoću standardne

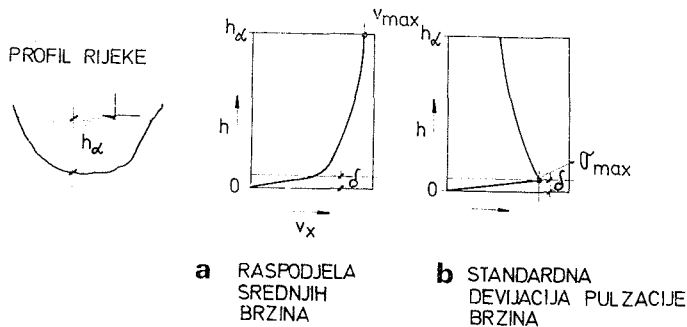
**KRONOLOŠKI DIJAGRAM
PULZACIJA TRENUTNIH BRZINA
U TURBULENTNOM TOKU U JEDNOJ
TOČKI (A) OTVORENOG VODOTOKA**



Slika 43

devijacije σ . Dok srednja brzina u točkama na jednoj vertikali otvorenog riječnog toka opada s porastom dubine (sl. 44a), pulsacija raste s dubinom i dostiže maksimalnu vrijednost na udaljenosti δ od dna (sl. 44b). Udaljenošću δ

**RASPODJELA SREDNJIH BRZINA
I STANDARDNA DEVIJACIJA PULZACIJE BRZINA
NA VERTIKALI OTVORENOG RIJEČNOG TOKA**

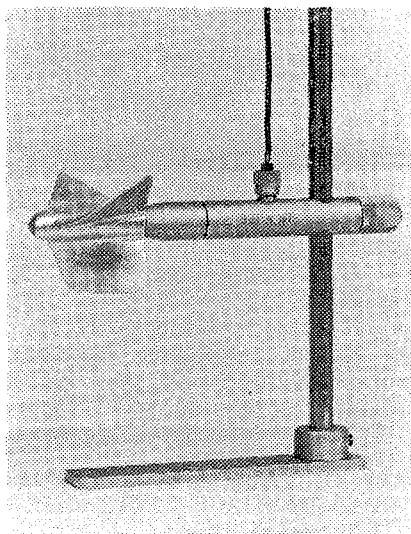


Slika 44

definirana je debljina graničnog sloja koji najviše ovisi o hrapavosti dna i obala. U laboratorijskoj i terenskoj hidrometrijskoj praksi postoji niz metoda i pribora za mjerenje brzine vode. Mjerenja se zasnivaju na slijedećim metodama: mjerenje brzine tijela koje pliva, mjerenje brzine vrtnje uro-

njenog propelera, mjerenje brzine visine, mjerenje energije strujanja vode (mjerenje otpora tijela u vodi), mjerenje brzine izmjene topline, određivanje vremena punjenja posude uronjene u vodotok. Svakoj navedenoj metodi mjerenja pripada i određeni pribor za mjerenje: plovci, hidrometrijsko kolo, hidrometrijske cijevi, hidrodinamometri, termohidrometri i batometri tahimetri. Hidrometrijsko kolo (sl. 45) upotrebljava se za mjerenje brzine vode

*Hidrometrijsko kolo (krilo)
instalirano na motku*

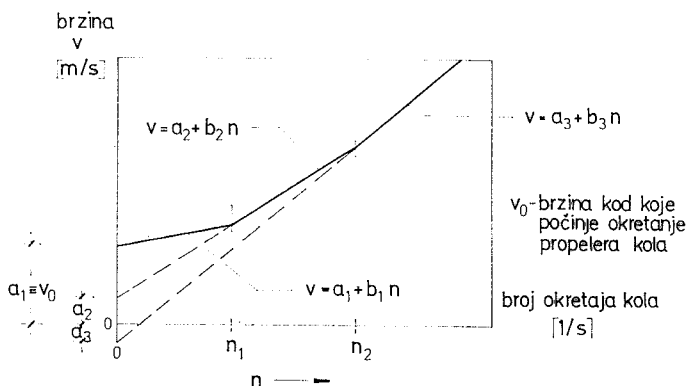


Slika 45

u otvorenim tokovima i u cjevovodima. Mjerenje se zasniva na jednoznačnom odnosu između brzine vode i broja okretaja propelera uronjenog u vodotok. Postoje brojni različiti tipovi hidrometrijskih kola. Razlike su u položaju osovine (horizontalna, vertikalna), u konstrukciji propelera i u konstrukciji kontaktnog mehanizma i brojača. Osnovni dijelovi hidrometrijskog kola jesu: propeler (rotor), osovina, tijelo kola, kontaktni mehanizam s brojačem i rep (kormilo, stabilizator). Promjer propelera iznosi 3—30 cm kako bi se omogućilo mjerenje s istom točnošću cijelog raspona brzina od vrlo malih do izrazito velikih, te kako bi se mjerilo u svim uvjetima (cijevi, duboki i plitki vodeni tokovi). Kontaktni mehanizam s brojačem služi za bilježenje broja punih okretaja propelera. Za svako hidrometrijsko kolo i za svaki propeler posebno proizvođač izrađuje krivulju baždarenja, krivulju ovisnosti broja okretaja propelera o brzini vode. Krivulja baždarenja dobije se postupkom baždarenja u dugim ravnim kanalima (80—100 m) s nepomičnom vodom. Nad kanalom se kreću kolica na kojima se nalaze montirana hidrometrijska kola sa svim uređajima za registriranje broja okretaja svakog pojedinačnog kola. Kolica se kreću poznatom, jednolikom brzinom. Na osnovi mjerenja broja okretaja propelera u cijelom rasponu brzina kolica, definira se krivulja baž-

darenja. Eksperimentalno je dokazano, a teoretski potvrđeno, da je krivulja baždarenja hiperbola. Budući da je zakrivljenost hiperbole vrlo mala, moguće ju je zamijeniti s nekoliko pravaca (sl. 46).

KRIVULJA BAŽDARENJA HIDROMETRIJSKOG KOLA
(Hiperbola aproksimirana sa 3 pravca)



Slika 46

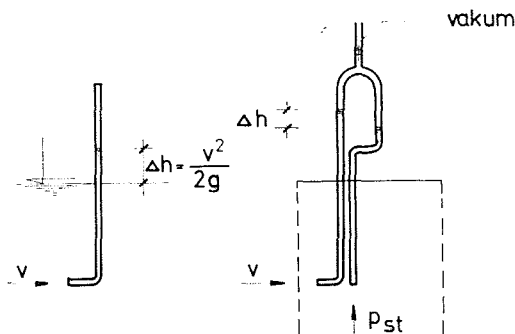
Hidrometrijskim kolom mjeri se brzina u jednoj točki (zapravo na određenoj površini kojoj veličina ovisi o promjeru propelera). Kolo se unosi u vodu s pomoću užeta opterećenog utegom ili na motki. Motke su oslonjene na dno (tzv. stojeće motke) ili montirane na plovni objekt (tzv. viseće motke). Ako se brzina mjeri u cijevima (tok pod tlakom), hidrometrijska kola montiraju se na šipke pod pravim kutom. Pulsacije brzina utječu na točnost mjerenja brzina vode. Da bi se odredila srednja brzina vode, a ne trenutna, hidrometrijskim kolom u jednom položaju mjeri se najmanje dvije minute. Za položaje u blizini dna potrebno je mjeriti i duže jer su tu pulsacije brzina najsnažnije. Kad se brzine mjere blizu površine, propeler mora uvijek biti potpuno uronjen u vodu, a kad se mjeri blizu dna, ne smije doći u kontakt s materijalom na dnu.

Lokalne brzine vode mjere se (naročito u laboratoriju) Pitotovom cijevi. Mjerenje se zasniva na principu transformacije dinamičkog (kinetičke energije vode) u statički tlak (potencijalnu energiju). Ako se u otvoreni vodeni tok stavi cijev savijena pod pravim kutom na donjem kraju i ako se taj otvor cijevi usmjeri prema strujanju vode (sl. 47a) u vertikalnom dijelu cijevi voda će se podići do visine koja odgovara omjeru $p/(\rho g)$, gdje je p tlak na ulazu u cijev, ρ gustoća vode, a g ubrzanje gravitacije. Za mjerenje u zatvorenim tokovima pod tlakom potrebne su dvije cijevi (sl. 47b), od kojih je početak samo jedne usmjeren prema vodenom toku. Pomoću izraza (36):

$$v = \varphi \sqrt{2gh} \quad (36)$$

određuje se brzina vode. Izraz je izveden iz Bernuollijeve jednadžbe, gdje je φ korekcijski koeficijent kojem je vrijednost 0,90—0,98. Za praktičnu upo-

PRINCIP MJERENJA BRZINE VODE
POMOĆU PITOTOVE CIJEVI



a U OTVORENIM TOKOVIMA

b U TOKOVIMA POD TLAKOM

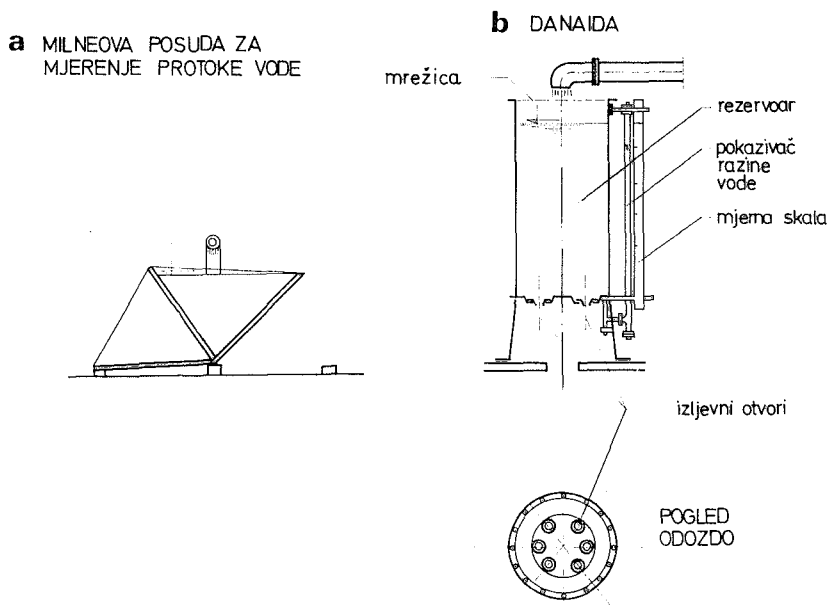
Slika 47

treba konstruirati su najrazličitiji oblici Pitotovih cijevi, diferencijalni živini manometri itd., koji svi rade na navedenom principu mjerenja brzine. Pitotove cijevi primjenjuju se za mjerenje brzina vode iznad $5\text{--}9\text{ ms}^{-1}$, dakle tada kada mjerenja hidrometrijskim kolom nisu pouzdana, a često nisu niti moguća.

4.4. Mjerenje protoka vode

Protok vode je količina vode koja protječe kroz poprečni presjek vodenog toka u jedinici vremena. Prema veličini vodenog toka, protok se izražava u m^3s^{-1} , ls^{-1} , m^3h^{-1} , pa sve do lh^{-1} . Protok je jedan od osnovnih i najvažnijih hidrauličkih i hidroloških podataka. Poznavanje protoka potreban je preduvjet za sve projektantske i izvedbene radove na vodenom toku ili u vezi s njim, bez obzira na to radi li se o hidrotehničkim objektima ili objektima kojima je za djelovanje potrebna određena količina vode. Postojeće metode za mjerenje protoka vode čine dvije osnovne grupe: neposredne i posredne metode mjerenja.

Za neposredno mjerenje pogodne su samo volumenske metode koje se osnivaju na mjerenjima s pomoću mjernih posuda. Taj način mjerenja primjenjiv je samo za mjerenje protoka malih izvora i manjih vodenih tokova do protoka od 10 l/s . Postoji određen broj različitih tipova mjernih posuda. Najprimitivnije su menzure, baždareni kablčići i bačve. Najčešće se upotrebljava Milneova posuda (sl. 48a). Ona djeluje kao automatski registrator, a sastoji se od dvije posude jednakog volumena i oblika. U trenutku kad je jedna od posuda napunjena, ona se prevrće zbog položaja njenog težišta i prazni, te počinje punjenje druge posude. Milneova posuda služi i za automatsko registriranje intenzivnosti oborina. Protok se volumenskom metodom može mjeriti i pomoću danaida (sl. 48b). Danaida je posuda s jednim



Slika 48

ili više otvora na dnu, kroz koje istječe voda. Svaki otvor normiran je i oblikovan kao sapnica. Voda se u posudi ulijeva preko posebnog sustava za smirenje valova u posudi. Ako u danaidu dotječe konstantni protok, razina će se vode u posudi stabilizirati na određenoj visini kad je postignuta jednakost dotoka i istjecanje kroz otvore. Budući da je istjecanje moguće regulirati zatvaranjem određenog broja sapnica, protok se određuje iz jednadžbe istjecanja (37):

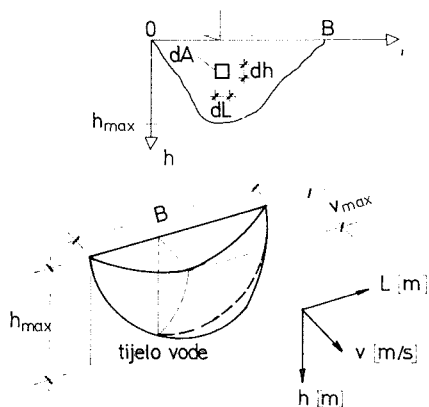
$$Q = \mu n f \sqrt{2gh} \quad (37)$$

gdje je μ koeficijent istjecanja, n broj otvora kroz koje istječe voda, f površina otvora sapnice, h visina vode u posudi i g ubrzanje sile teže.

Ima više posrednih metoda mjerenja protoka. Njihova je opća karakteristika da se ne mjeri protok već se mjere druge veličine s pomoću kojih se izračunava protok. Principijelno postoje tri metode posrednog mjerenja. Prva metoda površina-brzina osniva se na mjerenju brzina i površina živog presjeka. Ta se metoda najčešće upotrebljava u svijetu, a u nas je skoro jedina za mjerenje na srednjim i većim riječnim tokovima te za određivanje protoka u većim cjevovodima. Druga je metoda mješavine. Jedino je tom metodom moguće mjeriti protoke bujica, potoka s nepravilnim profilima korita, silovitim tokom i snažno izraženom turbulentnošću. Treći način posrednog mjerenja protoka osniva se na upotrebi mjernih uređaja i hidrauličkih kanala. Metode mjerenja protoka u otvorenim vodenim tokovima slične su metodama mjerenja u cjevovodima.

Najčešći način određivanja protoka u otvorenim vodenim tokovima i u većim i velikim cjevovodima obavlja se mjerenjem brzina hidrometrijskim kolom u nizu točaka poprečnog presjeka (metoda površina-brzina). Suština metode sastoji se u određivanju volumena vode (sl. 49) koji odgovara tre-

PRINCIP MJERENJA PROTOKA
METODOM POVRŠINA — BRZINA



Slika 49

nutnom protoku vode kroz poprečni presjek. Taj se volumen određuje mjerenjem srednjih brzina u nizu točaka poprečnog presjeka. Elementarni protok vode dQ kroz diferencijalnu površinu dA izražava se formulom (38):

$$dQ = v_{dA} \cos \alpha dA \quad (38)$$

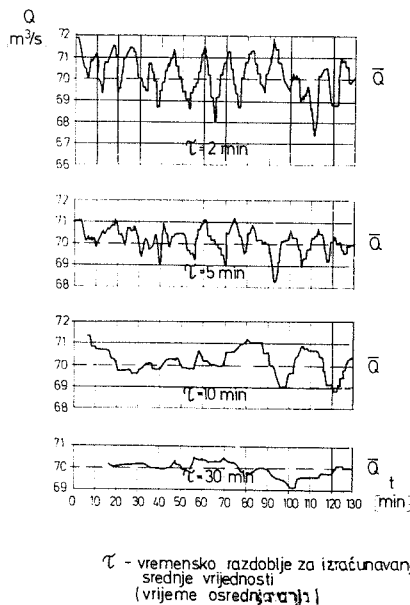
gdje je v_{dA} srednja brzina vode kroz elementarnu površinu dA , a α kut koji zatvara okomicu na poprečni presjek vodotoka s glavnim smjerom strujanja vode. Mjerni profil potrebno je orijentirati tako da kut α bude jednak nuli. Ako je taj uvjet ispunjen, protok kroz cijeli poprečni presjek određuje se izrazom (39):

$$Q = \int_A v_{dA} dA \quad (39)$$

Osnovni je problem mjerenja metodom površina-brzina u pravilnom izboru položaja točaka na vertikali u kojoj se mjeri brzina te u izboru broja i položaja tzv. brzinskih mjernih vertikala u poprečnom presjeku. Broj točaka na vertikali funkcija je dubine vertikale i karakteristike vodotoka (pravilnosti i raspodjele po dubini). Broj i položaj mjernih točaka mora biti tako odabran da se na osnovi njih može što točnije odrediti kako raspodjela brzina na vertikali tako i srednja brzina strujanja vode na vertikali. Iskustvo je pokazalo da zbog relativno pravilne raspodjele brzina nije potrebno mjeriti više od 5 točaka. Samo pri izuzetno dubokim vodotokovima (dubljim od 7 m) potrebno je više od 5 mjernih točaka, ali nikada više od 7. Problem

određivanja dovoljnog broja i pravilnog položaja mjernih vertikala povezan je s oblikom poprečnog presjeka i raspodjelom brzina u njemu. Potrebno je da bude ispunjen uvjet da svaka vertikala »nosi« približno jednaki protok. Broj je vertikala od 5 za male potoke do 20 za velike rijeke. Mjerenje protoka u prirodi nije nikada potpuno točno. Razloga ima vrlo mnogo: turbulentno strujanje, nestacionarni tok vode, pogreška mjerenja hidrometrijskim kolom, itd. Što se tiče točnosti mjerenja protoka vrlo je znatan utjecaj pulsacije brzina. Mjeri li se brzina istodobno i kontinuirano u nizu točaka poprečnog presjeka te se na temelju tih podataka proračuna protok, osnivajući proračune na različitim vremenskim razdobljima za izračunavanje srednjih vrijednosti, može se definirati utjecaj pulsacije brzina u pojedinim točkama na pulsiranje brzina vode u cijelom poprečnom presjeku. Takav eksperiment izvršen je na rijeci Varzav kod Dagan Ate (sl. 50). Pulsiranje

PULSIRANJE PROTOKE
IZMJERENO NA PROFILU VARZAV
KOD DAGAN ATE



Slika 50

protoka ovisi o vremenu za koji se računaju srednje vrijednosti i smanjuje se s produljenjem toga vremena. Važno je, međutim, napomenuti da se ono nikada potpuno ne gubi. U hidrometrijskoj praksi mjeri se tako da se svaka brzina mjeri posebno i uzastopno vremenski jedna za drugom, ili se eventualna istodobno mjere samo brzine na jednoj vertikali. Ni tada nije u cijelosti izbjegnuto utjecaj pulsacija brzina na pulsiranje protoka. Može se konstatirati da pogreške mjerenja protoka u prirodi iz navedenih razloga iznose

2—5%. Protoci u kružnim cijevima najčešće se određuju simultanim mjerenjem brzina s pomoću baterije hidrometrijskih kola. Broj kola i njihov raspored mora biti tako izabran da izmjereni podaci brzina dadu dovoljnu informaciju za precizno određivanje protoka. Pri mjerenju pomoću baterije hidrometrijskih kola promjer cijevi u kojoj se mjeri ne treba da bude manji od 0,8 m, a srednja brzina vode mora biti veća od $0,4 \text{ ms}^{-1}$. Mjeriti se mora uz stacionarni tok vode duže od 5 minuta. Osovine kola moraju biti paralelne s osi cijevi, a hidrometrijska kola moraju biti baždarena zajedno s motkama držačima.

Do sada opisane metode mjerenja protoka vode ne mogu se primjenjivati na bujične tokove, na tokove s mnogo kaskada, vrtloga i promjena smjera strujanja vode, sa snažno izraženom turbulencijom i brzinama većim od 3 ms^{-1} . Tada se za mjerenje protoka primjenjuje metode mješavine. U vodotok se na određenom mjestu ubacuju određene količine obilježivača (indikatora, traseri) $Q_0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Koncentracija rastopine obilježivača iznosi C . Određivanje protoka temelji se na činjenici da je protok obilježivača s koncentracijom C koja se upušta u vodeni tok na ulaznom uzvodnom profilu jednak protoku obilježivača na nizvodnom (mjernom) presjeku ali s manjom koncentracijom c . Omjer protoka Q u nizvodnom presjeku prema protoku obilježavanja (mješavine) Q_0 jednak je omjeru koncentracija obilježavanja u njima, pa vrijedi razmjer (40):

$$Q : Q_0 = C : c \quad (40)$$

iz kojega slijedi da se traženi protok Q može odrediti mjerenjem koncentracije c na izlaznom mjernom profilu jer su veličine Q_0 i C poznate.

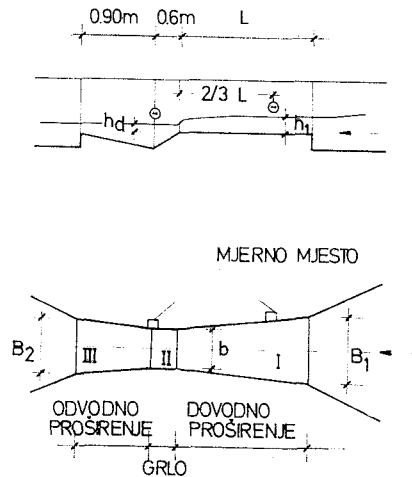
Pri primjeni metode mješavine bitno je osigurati potpuno miješanje ubačenog obilježivača s masom vode na cijelom poprečnom presjeku. Miješanje treba da bude potpuno, a važno je da to bude na što kraćem potezu kako ne bi došlo do kemijskih reakcija, taloženja ili raspadanja obilježivača. Za mjerenje protoka metodom mješavine nije potrebno poznavati ni oblik ni površinu poprečnog presjeka. Obilježivači koji su do sada upotrebljavani za mjerenje metodom mješavine jesu kemijski indikatori, boje i radioaktivni traseri. Od kemijskih indikatora najčešće se upotrebljavaju natrij-klorid, kalcij-klorid i natrij-bikromat, a od boja fluorescein, eozin i kongo-crvenilo te metilensko i anilinsko modro bojilo. Za određivanje koncentracije boje u vodi služe spektrofotometri, filtarski fotometri i kolorimetri. Radioaktivni obilježivači su vrlo brzo, iako tek nedavno, ušli u upotrebu. Pri radu s njima potreban je poseban oprez i stručno osoblje. Potrebni su posebni uređaji za njihovu detekciju. U praksi se najčešće upotrebljavaju radioaktivni izotopi brom-82, jod-131 i tricij.

Indikator se u vodeni tok ubacuje na dva načina: trenutno i postepeno. Kad se trenutno ubacuje, cijeli se volumen rastopljenog indikatora odjednom izručuje u vodeni tok. Pri postepenom ubacivanju mješavina se ubacuje u vodeni tok s konstantnim protokom Q_0 i stalnom koncentracijom C . Za postepeno ubacivanje potrebni su posebni dozatori.

Mjerni objekti su uređaji za mjerenje protoka u kojima postoji funkcionalna veza između protoka i jedne ili dvije razine vode. U otvorenim tokovima mjerni se objekti ugrađuju najčešće na melioracijskim kanalskim su-

stavima i na malim vodenim tokovima. Tu se mjeri jedna visina ako je režim vodotoka nepotopljen ili dvije visine ako na vodotok utječu nizvodni uvjeti. Postoje dva osnovna tipa mjernih objekata: preljevi i hidraulički kanali. U prirodnim uvjetima upotreba preljeva je ograničena na vodene tokove koji ne pronose nanos. U suprotnom, preljev će se uzvodne strane biti zasut nanosom pa više neće djelovati kao mjerni objekt. Preljeva ima najrazličitijih oblika i izvedbi. Za mjerenje malih količina vode s visokom točnošću pogodni su oštrorubni trokutni preljevi, dok se za mjerenje većih protoka preporučuju preljevi pravokutnog profila.

STANDARDNI TIP MJERNOG KANALA



Slika 51

Mjerni kanali (kanali sa suženjem, Venturijevi i Parshalovi kanali) (sl. 51), naročito ako pri svim protokama rade kao nepotopljeni, idealni su mjerni objekti za male prirodne vodene tokove. Bez obzira na to koliko je u izvedbi postignuta sličnost s projektiranim mjernim kanalom, potrebno je izgrađeni kanal baždariti radi potvrđivanja ili definiranja novog odnosa vodostaja i protoka.

Projektiranje i izvedba mjernih objekata u prirodnim vodenim tokovima složen je zadatak jer treba osigurati točno mjerenje protoka pri svim vodostajima. Prije svega, potrebno je lokalno regulirati korito, tj. uravniti, formirati i učvrstiti obale, te raščistiti korito na duljini od najmanje deset širina vodenog lica. Vrlo se često ne instalira kompletan mjerni objekt, nego se uredi i učvrsti korito i tako omogućiti uspostavljanje trajnijeg i, kao najvažnije, jednoznačnog odnosa između vodostaja i protoka. Već gradnjom običnih kontrolnih pragova moguće je postići željeni cilj.

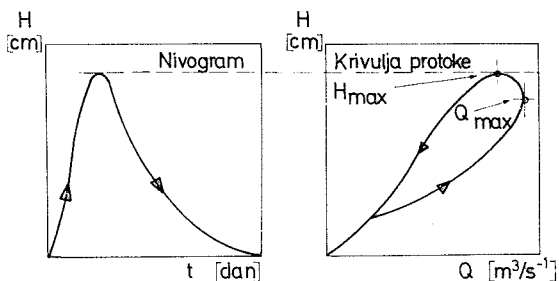
4.4.1. Odnos vodostaj-protok

Najvažnijom ovisnošću u hidrotehnici uopće, a u hidrometriji posebno, smatra se ovisnost između vodostaja H i protoka Q . Dok je mjerenje razine vode posao koji se svakodnevno jednom ili dva puta, a često i neprekinuto, obavlja na nizu vodomjernih stanica, dotle se protok na nekom profilu mjeri tek nekoliko (5—10) puta godišnje.

U nas se samo na trećini vodomjernih stanica mjeri i protok, tako da je jedino na tim stanicama moguće definirati krivulje protoka na temelju podataka mjerenja. Mjerenje je protoka na terenu skup i složen posao, a posebno je teško u uvjetima prolaza valova velikih voda. Jednom definirani odnos protoka i vodostaja (krivulja protoka) podložan je stalnim promjenama iz više razloga, a posebno zbog promjenljivosti oblika prirodnog korita i hidrotehničkih radova na vodenom toku. Zbog toga je potrebna stalna kontrola navedenog odnosa, a prema potrebi njegova korekcija. U hidrometriji se definira odnos protoka kao funkcija vodostaja. U prirodi je obrnuto. Nezavisna je varijabla protok, a vodostaj je njegova funkcija. Zbog mnogo jednostavnije i jeftinije organizacije opažanja razine vode hidrometrija je prihvatila drugačiji odnos. Krivulja protoka je prema tome u najjednostavnijem slučaju odnos između protoka i vodostaja. Krivulja protoka može se definirati grafički, analitički i tabelarno. Definiranju analitičkog odnosa teži se zbog lakše praktične primjene. Grafički, pak, prikaz daje zornost analiziranom odnosu. Točnost toga odnosa ne ovisi o tome na koji je način krivulja protoka definirana.

Iako je suština odnosa između vodostaja i protoka stohastička, uvijek se za potrebe hidrotehničke prakse u prvom redu teži definiranju jednoznačnog odnosa protoka i vodostaja. Složenost i nejednoznačnost odnosa protoka i vodostaja uvjetovanja je nestacioniranim kretanjem vode, formiranjem leda, obrašćenošću korita, nestabilnošću obala i dna itd. Kad je taj odnos izrazito nejednoznačan, potrebna su mjerenja dodatnih elemenata. Pri malom rasipanju točaka (do reda veličine od 10%) zadovoljava se jednoznačnim odnosom vodostaja i protoka. Lako je rastumačiti što je najviše uzrok rasipanju mjernih podataka u području malih i velikih voda. Kad su vode male, rasipanje točaka nastaje zbog stalne izmjene lokalnih karakteristika korita. Te promjene onemogućuju usporedbu protoka za jednake niske vodostaje. Područje srednjih voda ograničeno je izlivanjem voda iz glavnog korita u poplavne površine. Na tom području, kad je tok vode stacionarni ili barem kvazistacionarni, rasipanje mjernih podataka nije značajno. U zoni velikih voda rasipanje točaka pojavljuje se zbog nekoliko razloga. Radi se, prije svega, o nestacionarnosti kretanja valova velikih voda, uslijed čega se formira petlja u dijagramu protok-vodostaj (sl. 52) zbog razlike padova pri jednakim vodostajima za vrijeme porasta i opadanja valova velikih voda. Pri porastu vala pad je veći pa je i protok veći, a pri opadanju vala pad je manji, pa je prema tome, i protok manji uz isti vodostaj. Osim toga, rasipanje točaka mjerenja u području velikih voda nastaje zbog izlivanja vode na poplavne površine. Ta pojava u fazi poplavlivanja površina identična je pojavi tečenja pri malim vodama. Utjecaj hrapavosti korita vrlo je velik, pa se znatno smanjuju srednje brzine vode. Zbog toga se preporuča odvojeno tretirati tok vode u glavnom koritu od toka u svakoj od poplavnih po-

FORMIRANJE PETLJE
ZA VRIJEME VALA VELIKIH VODA



Slika 52

vršina, tj. potrebno je definirati posebnu krivulju protoka za glavno korito i posebno krivulje za svaku od poplavnih površina.

Osnovni je preduvjet za definiranje protoka da se raspolaze određenim brojem mjerenja protoka određene (visoke) točnosti. Kao analitički izrazi često se upotrebljavaju troparameterska jednadžba parabole drugog stupnja i eksponencijalne dvoparameterske jednadžbe date izrazom (41) i (42):

$$Q = a b H + c H^2 \quad (41)$$

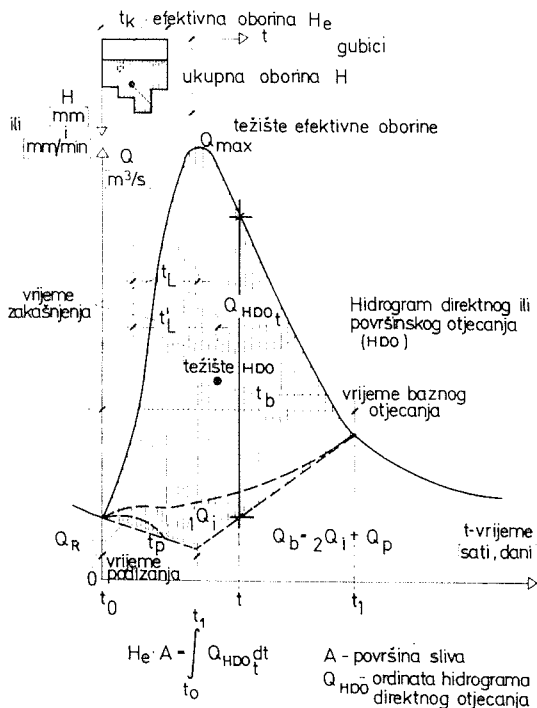
$$Q = a (H \pm H_0)^b \quad (42)$$

Parametri a , b i c definiraju se po teoriji najmanjih kvadrata. Izraz (42) logaritmiranjem prelazi u pravac, čime se olakšava definiranje parametara. Postoje razrađene metode za računanje otjecanja kad veza između protoka i vodostaja nije jednoznačna zbog, npr., deformabilnosti korita. Kad je potrebno definirati krivulje protoka u zoni ušća nekog pritoka ili rijeke u more, dakle, kad su jedna ili obje rijeke pod usporom, najčešće je potrebno formirati familiju krivulja.

Budući da mjerenja protoka rijetko obuhvaćaju cijelo područje stvarnih vodostaja, a uvijek je potrebno definirati kompletnu krivulju protoka, pa i za onaj dio za koji nema mjernih podataka, nužna je ekstrapolacija krivulje protoka. Ekstrapolacija može biti prema velikim ili malim protocima, već prema tome za koje područje nedostaju podaci. Mnogo češće potrebna je ekstrapolacija u području velikih voda. Protok vode u vodenom toku ovisi o nizu hidroloških, hidrauličkih i geometrijskih karakteristika. Geometrijske karakteristika najčešće su poznate u svim situacijama ili se mogu bez većih problema odrediti neposrednim mjerenjem u bilo koje vrijeme. Hidraulički i hidrološki parametri najčešće se mogu izmjeriti samo u određenim trenucima. Ti se elementi nastoje ekstrapolirati pa se na osnovi njih i onih dobivenih mjerenjem računski određuju protoci za određene vodostaje. Točnost ekstrapolacije nije velika, pa se njena primjena preporuča samo kad iznos za koje treba ekstrapolirati krivulju protoka nije velik, tj. kad nije veći od 10—15% amplitude vodostaja u poprečnom presjeku.

Kao primjer daje se krivulja protoka definirana općim izrazima (41) i (42) za vodomjerni profil Foča na rijeci Drini. Na slici 53 dat je prikaz u normalnom mjerilu (a) i u logaritamskom mjerilu (b).

**SHEMATSKI PRIKAZ
PROCESA TRANSFORMACIJE
BRUTO OBORINE U HIDROGRAM
CJELOKUPNOG OTJECANJA I HIDROGRAM
DIREKTNOG OTJECANJA**



Slika 53

4.5. Hidrometrija podzemnih voda

Mjerenja podzemnih voda služe da se ustanove vodene rezerve i njihova raspodjela u prostoru i vremenu. U nizu situacija podzemne vode su jedina mogućnost opskrbe naselja kvalitetnom pitkom vodom ili vodom za industrijske potrebe. U SFRJ mnogo velikih gradova, kao npr. Beograd i Zagreb, sve svoje potrebe kaptiraju i koriste se podzemnom vodom. Najvažniji podatak, koji ujedno nosi i najbitniju informaciju o podzemnoj vodi, jest njena razina. Razina podzemne vode može se očitavati diskontinuirano ili stalno bilježiti s pomoću automatskih registratora.

Razina podzemne vode mjeri se za tu svrhu posebno izrađenim piezometrima ili u bunarima. Piezometar je čelična cijev, najčešće promjera 25—50 mm. Donji kraj cijevi treba da bude zabijen do ispod najniže razine

podzemne vode da bi se moglo mjeriti cijelo područje od najniže do najviše razine. Pri dnu je piezometarska cijev perforirana i najčešće zapunjena filtarским slojem. S pomoću piezometra moguće je mjeriti ne samo razinu podzemne vode već i piezometarsku razinu arteških i subarteških voda, dakle voda koje se nalaze pod tlakom. U takvim slučajevima perforirani dio cijevi potrebno je zabiti isključivo u sloj podzemne vode koja se pod tlakom nalazi između dva nepropusna sloja tla. Za povremeno mjerenje razine podzemne vode u bunarima ili piezometrima upotrebljavaju se laki prijenosni čekrci s brojčanicima. Danas se proizvode vitla sa čeličnom žicom kojoj je na slobodnom kraju pričvršćen plovak. Za neprekinuto mjerenje razine podzemne vode instaliraju se automatski registratori (limnigrafi) u bunare ili na piezometre. Budući da su promjene razine podzemnih voda mnogo sporije od promjera razine površinskih voda, u najviše slučajeva dovoljno informacija za sve obrade može se sakupiti i s dva do tri mjerenja razine podzemne vode tjedno. Svaki piezometar ili bunar mora imati visinski definiranu stalnu točku od koje se odmjerava razlika do razine podzemne vode. Ta točka treba da bude definirana i u apsolutnim kotama. To je potrebno zbog toga da bi se na osnovi niza mjerenja u piezometrima i u bunarima na širem području mogle definirati trenutne i srednje hidroizohipse. Hidroizohipse su linije istih apsolutnih visina podzemne vode. Na temelju njih određuju se smjerovi kretanja podzemne vode koji se najčešće mijenjaju s vremenom prema stanju vodnosti u nekom području.

Za određivanje brzine i smjera toka podzemne vode primjenjuju se metode upuštanja obilježivača (boja, soli ili radioaktivnih tvari) u jedan piezometar ili bunar i detekcija njihove koncentracije u drugom piezometru ili bunaru. Na temelju određivanja težišta difuznog vala (vala promjene koncentracije obilježivača u vremenu) te na osnovi poznatog smjera i duljine puta proračuna se i brzina i smjer podzemne vode. Razina, smjer i brzina podzemne vode najčešće ovise o razinama vode u otvorenim vodnim tokovima nekog područja. Ponekad podzemne vode prihranjuju vode površinskih tokova, dok pri nailasku valova velikih voda, vode iz otvorenih riječnih tokova prihranjuju podzemne vode. Potrebno je naglasiti da su pri analizama vodenih zalih u kršu veoma važni upravo podaci o piezometarskim razinama koji pokazuju utjecaje viših i nižih kraških horizonata na otjecanje (posebno kroz ponore i estavele) u analiziranom kraškom polju.

Na mreži stanica hidrometeorološke službe u SFR Jugoslaviji razine podzemnih voda opažaju se jednom u tri, pet ili čak deset dana, već prema brzini kolebanja razine podzemne vode. Osnovna obrada ovih podataka gotovo da je identična s obradom vodostaja u otvorenim riječnim tokovima. Razlikuje se samo u dva elementa. Za podzemne vode određuju se korelacijske ovisnosti između razine u piezometrima međusobno i s razinom vode u rijeci. Osim toga, crtaju se karte s hidroizohipsama.

4.6. Obrada sakupljenih podataka i mreža stanica

Cilj je hidrometrijskih mjerenja da se svi podaci prikažu u obliku koji je najpovoljniji za čuvanje, publiciranje i analizu. Zbog mnogobrojnih podataka, koje treba obraditi da bi se dobile osnovne informacije o hidrološkim procesima, najuspješnije je da se podaci obrađuju elektroničkim računalom. Obrada podataka može se svrstati u tri osnovne kategorije: a) obrada opaženih veličina za svaku točku posebno na određenom slivu, b) određivanje varijacija karakterističnih hidroloških veličina uzduž sliva, c) tabeliranje

opaženih podataka i rezultata obrade u formi koja je najpogonija za publiciranje, razmjenu i upotrebu.

Obrada podataka mjerenja i opažanja u pojedinim točkama sliva obuhvaća prvi pregled i obradu prikupljenih podataka, zatim provjeru i kontrolu podataka pa tek onda tabeliranje. Forme i formati tablica ili karata moraju biti jednostavni, pregledni i unificirani. Točnost hidroloških podataka ovisi kako o pogreškama opažanja i mjerenja tako i o pogreškama obrade. Ukupna pogreška može se odrediti tek analizom svih mogućih slučajnih i sistematskih pogrešaka koje se mogu pojaviti tokom opažanja, mjerenja i obrade. Sistematske greške otkrivaju se pažljivom provjerom podataka ili npr. testiranjem homogenosti vremenskih nizova. Metoda matematičke statistike, posebno korelativna i regresivna analiza, vrlo su uspješne za otkrivanje grubih i sistematskih pogrešaka. Ocjena slučajnih pogrešaka također se provodi metodama matematičke statistike.

Metode obrade ovise o karakteristikama i načinu mjerenja hidrološke veličine. Standardne obrade podataka površinskih voda obuhvaćaju obrade vodostaja i protoka. Njihova standardna obrada obuhvaća: određivanje srednjih dnevnih vodostaja, dnevnih ekstrema i trenutaka njihove pojave, određivanje srednjih mjesečnih i godišnjih vodostaja, mjesečnih i godišnjih ekstrema, datuma pojava, određivanje krivulje učestalosti i trajanja vodostaja u godini, te konstrukciju nivograma kolebanja vodostaja. Protoci se obrađuju za one vodomjerne stanice na kojima se mjere. Njihova standardna obrada identična je standardnoj obradi vodostaja uz prethodno definiranje krivulje protoka.

Pri analizi, obradi i korištenju brojnih hidroloških podataka izvanredno značajnu ulogu ima korištenje elektroničkih računala. Može se slobodno reći da napredak hidrologije bez njih ne bi bio moguć. I u našoj zemlji učinjen je veliki korak naprijed u tom smislu. Radi se na stvaranju hidrološkog informacijskog sistema (HIS-a) koji će obuhvatiti banke svih navedenih podataka, te brojnu programsku podršku. Danas se u tom smislu raspolože s dobro uhodanom bankom hidroloških podataka (BHP) bez koje bi rad u hidrologiji praktični bio zakočen. Međutim ovo moćno pomoćno sredstvo mora biti »hranjeno« brojnim i kvalitetnim podacima koje je jedino moguće sakupiti mjerenjima na terenu na bazi izgrađene i dobro održavane mreže stanica.

Hidrološki i s njima vezani klimatološki podaci opažaju se, mjere, prikupljaju i publiciraju radi što kvalitetnijih informacija koje služe za gospodarenje vodama. Najvažniji podaci koji se prikupljaju mrežom organiziranih stanica jesu: padavine i snježni pokrivač, vodostaji i protoci, isparivanje, transport suspendiranog i vučenog nanosa, kvalitete vode, led, razine podzemne vode i vlažnost tla. Budući da se svi ne mogu mjeriti i opažati na istoj stanici, organizirana je posebna mreža stanica za padavine, posebno za vodostaje itd. Vrlo je važno da se sve mreže stanica projektiraju i organiziraju tako da odgovore zajedničkom zadatku, a taj je da dadu najveću moguću informaciju o hidrološkim procesima koji se odvijaju na pojedinim slivovima. Zbog stohastičkog karaktera hidroloških veličina potrebno je da se na mreži stanica podaci prikupljaju neprekidno u dužem vremenskom razdoblju. Posebno je nužno da mreže kišomjernih i snjegomjernih stanica budu usklađene s mrežom vodomjernih stanica kako bi se mogla određivati vodena bilanca sliva.

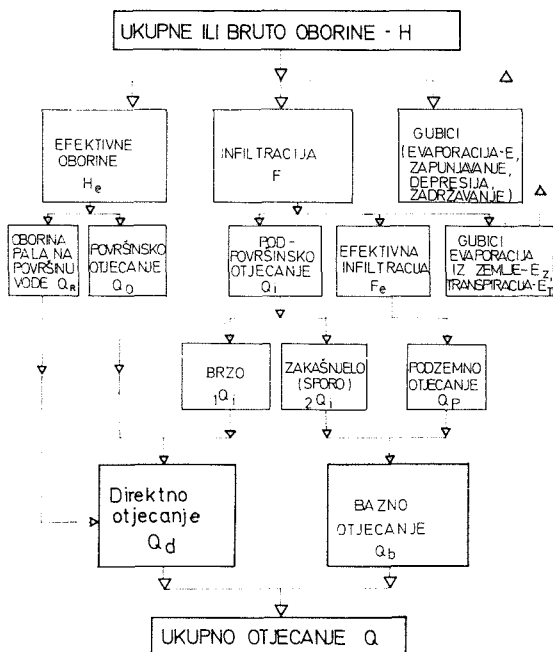
Hidrološka mreža stanica ima osnovnu i dopunsku mrežu stanica te mrežu stanica za posebne potrebe. Stanice osnovne mreže imaju duže i homogenije nizove opažanja, dok stanice dopunske mreže obično imaju kraće nizove podataka mjerenja i s vremenom se ili ukidaju ili prema potrebi pretvaraju u stanice osnovne mreže. Ako se stanice uspostavljaju za specifične potrebe projektiranja i izvedbe nekog hidrološkog objekta, tada se one ukidaju s prestankom razloga njihova postavljanja.

U hidrološkom godišnjaku SFR Jugoslavije publiciraju se, osim navedenih i slijedeći podaci: o suspendiranom nanosu, o pojavi leda na rijekama, o temperaturi vode i kvaliteti vode. Svi spomenuti podaci služe kao osnovni polazni materijal za više hidrološke analize i za projektiranje i izvođenje hidrotehničkih objekata.

5. OTJECANJE

Proces transformacije kiše u otjecanje veoma je složen, ali je s praktičnog aspekta neobično značajno njegovo razgraničavanje i razjašnjavanje

RASTAVLJANJE HIDROGRAMA UKUPNOG OTJECANJA NA KOMPONENTE



Slika 54

s ciljem primjena u raznim inženjerskim aplikacijama. U tom smislu vrlo je informativan prikaz dat na slici 54. Radi se o shematizaciji procesa transformacije bruto kiše u efektivnu padavinu i u hidrogram ukupnog i direktnog otjecanja. Slika 55 predstavlja cjelinu s prikazom datim na slici 54, a odnosi se na grafički prikaz komponenti hidrograma ukupnog otjecanja i na njegovo odvajanje u hidrogram direktnog otjecanja koji u suštini predstavlja najbitniji element za inženjerske aplikacije i rješavanje problema otjecanja, posebno definiranje velikih voda.

Budući da je u ovom slučaju naglasak stavljen na analize procesa otjecanja s aspekta poljoprivredne odvodnje, dakle za male i nedovoljno izučene slivove, napominje se da na točnost i pouzdanost rezultata (misli se prije svega na definiranje hidrograma direktnog otjecanja) najviše utjecaj imaju:

- ulazni podaci (o kišama, o kojima je detaljno bilo već govora);
- podloge o topografskim, fizičko-geografskim i drugim karakteristikama analiziranog sliva;
- odabrane metode za analizu procesa padavine — otjecanje, definiranje hidrograma i proračun velikih voda.

U nastavku će biti dat prikaz triju osnovnih prilaza za proračun hidrograma velikih voda na malim slivovima, i to:

- racionalna metoda (ili racionalna formula);
- metoda izokrona;
- koncept jediničnog hidrograma.

Pored nabrojene tri metode, ili bolje reći prilaza, za proračun velikih voda posebno na neizučenim slivovima, u svijetu se još tu i tamo, ali sve rjeđe, koriste regionalne empirijske relacije tipa:

$$Q_T = C A^n \quad (43)$$

gdje je: Q_T — maksimalni proticaj zadanog povratnog perioda T , A — površina sliva, C , n — nepoznati parametri koji se određuju na bazi analize maksimalnih proticaja na slivovima na kojima postoje mjerenja proticaja u određenoj, hidrološkoj homogenoj regiji.

Ova metoda je dobro poznata i kod nas, ali sve više ustupa svoje mjesto boljim i modernijim metodama. Za ovakve vrste analiza (misli se na odvođivanje) primjena regionalnih empirijskih relacija tipa (43) se dakle, ne preporučuje, pa zato nema potrebe da se, osim već naprijed iznijetog, o ovoj metodi detaljnije govori.

5.1. Racionalna metoda

Racionalna metoda (ili racionalna formula), je jedna od onih koje se danas veoma široko koristi za proračun isključivo maksimalnog proticaja zadanog povratnog perioda na urbanim i drugim malim slivovima. Danas postoji rašireno shvaćanje među stručnjacima da se racionalna metoda može s uspjehom primjenjivati i da daje prihvatljive rezultate o maksimalnim proticajima na slivovima čija površina nije veća od 5 km², dok s druge strane mnogi dokazuju da se ova metoda s istim uspjehom može primjenjivati i na većim slivovima, površine do 50 km². Metoda se može predstaviti relacijom (44):

$$Q_T = c_p \cdot c_u \cdot i(t_c, T) \cdot A \quad (44)$$

gdje je: Q_T — maksimalni proticaj zadanog povratnog perioda T , c_p — koeficijent otjecanja, c_u — je običan koeficijent konverzije, zavisano od mjernih

jedinica u kojima se daju ostale veličine u jednadžbi, $i(t_c, T)$ — prosječan intenzitet kiše, zadanog trajanja t_c i zadanog povratnog perioda T , t_c — vrijeme koncentracije sliva, A — površina sliva.

Ako su Q u m^3/sec , A u km^2 i intenzitet kiše u mm/min , onda koeficijent konverzije iznosi c_u — 16,67, pa formula poprima oblik (45):

$$Q_T = 16,67 \cdot c_p \cdot i(t_c, T) \cdot A \quad (45)$$

Iako, na prvi pogled, dvije gorije relacije izgledaju vrlo jednostavne, očito je da određivanje parametara c_p , i t_c ne predstavlja nimalo lak zadatak. To je već pokazano u slučaju kada je diskutirano pitanje intenziteta kiše i , pa preostaje da se nešto kaže o načinu određivanja vremena koncentracije slijeva t_c i koeficijenta otjecanja c_p .

Vrijeme koncentracije se može definirati kao vrijeme koje je potrebno da kiša, pala na »najudaljenijoj« točki sliva, površinski dotekne do analiziranog izlaznog profila. Ovo je vrijeme promjenljivo te generalno gledano zavisi od pada sliva, pada riječnog korita, i od karakteristika sliva površine, pa i od povratnog perioda. »Najudaljenija« točka sliva je ona točka u slivu od koje je potrebno najduže vrijeme da bi kišna kap dotekla do izlaznog profila (a to ne mora nužno da bude točka u slivu koja je, mjereno po dužini, najudaljenija od izlaznog profila).

Danas se u svijetu koristi više različitih postupaka za određivanje t_c . Ovdje će se ukratko prikazati tri postupka koja se najčešće primjenjuju i koji se čine najprihvatljivijim i u našim uvjetima.

(1) Najjednostavniji postupak za određivanje vremena koncentracije sliva t_c je onaj kod kojeg se polazi od vrlo pojednostavljene pretpostavke da se, približno, može uzeti da je

$$t_c = \frac{L}{v} \quad (46)$$

gdje je: L — dužina glavnog vodotoka od vododjelnice sliva do izlaznog profila, v — brzina vodene mase u riječnom koritu.

Brzina v se obično ocjenjuje korištenjem ili Chezy-Manningove jednadžbe (47):

$$v = \frac{1}{n} h^{2/3} S^{1/2} \text{ u m/s} \quad (47)$$

ili empirijske relacije (48):

$$v = 72 \left(\frac{\Delta E}{L} \right)^{0,6} \text{ u km/h} \quad (48)$$

gdje je: h — srednja dubina vode u vodotoku, S — prosječan pad korita rijeke, n — Manningov koeficijent hrapavosti, ΔE — razlika između nadmorske visine vododjelnice sliva i nadmorske visine izlaznog profila, L — kao u relaciji (46).

Ovo je ujedno i najgrublji postupak za određivanje t_c i, u principu, se preporučuje samo u slučajevima kada nema nikakvih mogućnosti za primjenu druge metode.

(2) Kod drugog prilaza za određivanje t_c , polazi se od pretpostavke da se ovaj parametar može izjednačiti, ili s vremenom zakašnjenja t_L između te-

žišta hijetograma efektivnih kiša i maksimalne protoke hidrograma površinskog otjecanja, ili s vremenom zakašnjenja t_L' , između težišta hijetograma efektivnih kiša i težišta hidrograma površinskog otjecanja. Sve spomenute veličine prikazane su na slici 59.

Proračun vremena zakašnjenja t_L ili t_L' obično se bazira na regionalnim empirijskim relacijama u kojima se, za određenu homogenu regiju (i na osnovi podataka o otjecanju sa sliva na kojima postoje mjerenja kiša i protoka), uspostavlja veza između t_L (ili t_L') i različitih fizičkogeografskih karakteristika sliva kao što su, najčešće: površina sliva, dužina toka, pad, gustoća riječne mreže, oblik sliva i slično. Formula ovog tipa ima vrlo mnogo, a razvijene su u različitim zemljama i regijama za različite uvjete otjecanja. Niže se navodi nekoliko empirijskih relacija ovog tipa uz važnu napomenu da je svaka od datih relacija definirana posebno za neku analiziranu regiju (u kojoj vladaju slični uvjeti otjecanja) i da se ne može mehanički koristiti za proračun vremena koncentracije u drugim regijama.

U SAD se često koristi Snyderova relacija (49):

$$t_c = t_L = c_t \left(\frac{L \cdot L_c}{S} \right)^n \quad [\text{sati}] \quad (49)$$

gdje je: t_c — vrijeme koncentracije dato u satima, L_c — razmak od izlaznog profila do težišta sliva, L — kao u relaciji (46), S — prosječan pad dna korita rijeke, c_t i n — su parametri koji se određuju za svaku analiziranu, hidrološki homogenu regiju posebno.

Vrijeme se koncentracije može tretirati funkcijom vremena dotoka po koritu rijeke t_k i vremena dotoka po padinama sliva t_{SL} , prema izrazu (50):

$$t_c = K(t_k)^n + t_{SL} \quad (50)$$

gdje su k i n parametri koje treba odrediti za svaku regiju posebno. Ovaj postupak za određivanje t_c je udomaćen u SSSR-u. Pokazalo se da se koeficijenti k i n mijenjaju značajno od regije do regije i da približno imaju vrijednosti $k \approx 1,2$ i $n \approx 1,1$.

Vrijeme dotjecanja po koritu rijeke t_k određuje se putem relacije (51):

$$t_k = \frac{1000 \cdot L}{m_1 \cdot S_k^{1/3} \cdot Q_p^{1/4}} \quad (51)$$

a vrijeme doticanja po padinama sliva t_{SL} izrazom (52):

$$t_{SL} = \frac{(1000 \cdot L)^{1/2}}{m_2 \cdot S_{SL}^{1/4} \cdot a^{1/2}} \quad (52)$$

gdje je S_k — S — prosječan pad dna korita, m_1 — koeficijent hrapavosti korita rijeke (za koji su u SSSR-u izrađene tablice za različite tipove korita), L i Q_p — kao u prethodnim relacijama, S_{SL} — prosječan pad cijelog sliva, odnosno njegovih padina, a — najveće otjecanje po padinama za vrijeme t_{LS} , m_2 — koeficijent koji ovisi o hrapavosti padina sliva (također dat tabelarno za slivove u SSSR-u), b — prosječna dužina padina u slivu, koja se računa preko relacije (53):

$$b = \frac{1}{1,8 D} \quad (53)$$

pri čemu je D gustoća rječne mreže u slijevu.

U našoj zemlji primjenjuju se ovi ukratko opisani postupci za određivanje vremena koncentracije, ali i niz drugih. Međutim, često se u našoj praksi mogu naći primjeri nekritične primjene relacija izvedenih u drugim zemljama, s parametrima definiranim za regije koji ne odgovaraju uvjetima otjecanja u regijama naše zemlje, što je nepouzdano jer u krajnjoj liniji daje neprihvatljive i pogrešne rezultate.

Određivanje i izbor koeficijenta otjecanja c_p predstavlja jedan od naj-složenijih problema u hidrologiji. Pojednostavljeno govoreći, koeficijent otjecanja predstavlja odnos između ukupno palih kiša na slivu i ukupne zapremine otjecanja sa sliva. Implicitno, u koeficijentu c_p su integrirani svi faktori koji utječu na veličinu otjecanja u jednom slivu, a njegova vrijednost se najčešće kreće u granicama od 0,2 do 0,8, iako se mogu naći mnogi i različiti izuzeci. Na veličinu c_p najznačajnije utječu klimatske karakteristike, geološke, morfološke i druge karakteristike sliva. Slijedeći faktori povećavaju koeficijent otjecanja: strmi slivovi (s velikim padom), lepezasti oblik sliva, nepropusno zemljište u slivu ili zemljište saturirano vodom od prethodnih jakih kiša palih na sliv, ili sliv nepokriven vegetacijom ili s vrlo rijetkom vegetacijom. Koeficijent otjecanja c_p također zavisi i mijenja se u ovisnosti o dobu godine (sezone), intenzitetu pale kiše, veličini isparavanja, infiltracijskom kapacitetu zemljišta i prethodnoj vlažnosti zemljišta u slivu.

Imajući u vidu osnovnu namjenu ovog rada neće se detaljno objašnjavati metoda proračuna i određivanja koeficijenta otjecanja. Zbog osjetljivosti ovog parametra i složenosti analiza koje dovode do vjerodostojnih vrijednosti za c_p , preporučuje se da ovakve analize uvijek rade kvalificirani i iskusni specijalisti hidrolozi.

Putem racionalne formule može se odrediti samo maksimalna vrijednost (vrh) hidrograma otjecanja, ali ne i kompletan hidrogram otjecanja. Samim tim ova metoda je neupotrebljiva u svim onim slučajevima kada je (kod dimenzioniranja raznih tipova objekata), neophodno da se odrede ne samo maksimalne protoke, već kompletan hidrogram na osnovi kojeg se mogu odrediti i zapremina vode i trajanje poplavnog vala.

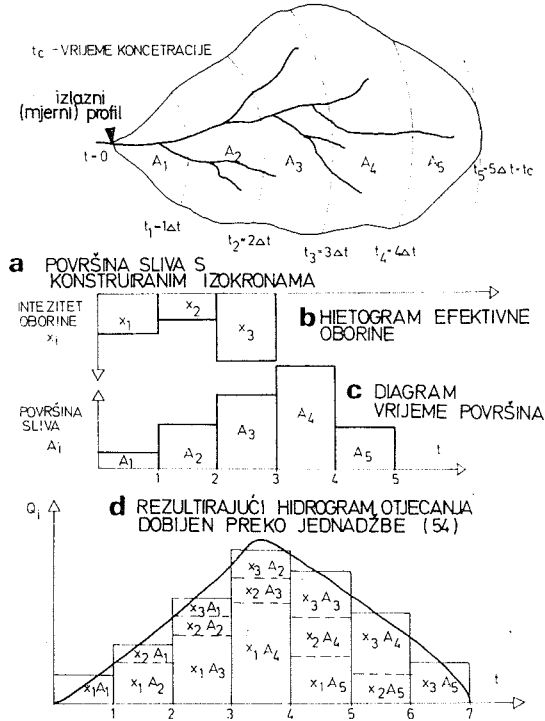
U principu, metode i postupci kojima se može definirati kompletan hidrogram otjecanja imaju prednost nad racionalnom formulom i drugim metodama putem kojih se može odrediti samo jedan element hidrograma, to jest maksimalna protoka. Metoda izokrona i koncept jediničnog hidrograma su dva najpoznatija postupka koja se danas koriste za određivanje kompletnog hidrograma otjecanja na nedovoljno izučanim slivovima.

5.2. Metoda izokrona

Kod ove metode kao osnovno usvojena je pretpostavka da voda s pojedinih dijelova sliva stiže do izlaznog profila u različitim vremenskim trenucima. Na izlaznom profilu se prvo pojavljuje voda koja otječe s dijelova sliva koji su najbliži izlaznom profilu. U kasnijim vremenskim intervalima na izlazu se pojavljuje voda s udaljenijih površina sliva, da bi, najzad,

na izlazni profil stigla i voda iz najudaljenijih dijelova sliva. Prema tome slivna površina se može podijeliti u zone s kojih voda u uzastopnim vremenskim trenucima stiže do izlaznog profila. Linije koje dijele sliv u pojedine zone nazivaju se izokronama a prikazane su na slici 56a.

**SHEMATSKI PRIKAZ
OSNOVNIH KORAKA PRI PRORAČUNU
HIDROGRAMA DIREKTNOG OTJEKANJA
METODOM IZOKRONA**



Slika 56

Na bazi izokrona definira se dijagram raspodjele površina $A_1, A_2 \dots A_n$ koje su ograničene izokronama u funkciji vremena, odnosno dijagram »vrijeme — površina«, koji se smatra konstantnim za određeni sliv, slika 56c, dok je na slici 56b dat hietogram efektivne kiše.

Kada se za određeni sliv definira dijagram »vrijeme — površina«, onda se protoka na izlaznom profilu u i -tom trenutku vremena određuje izrazom (54):

$$Q_i = \sum_{k=1}^{k=i} x_k A_{i-k+1} = \sum_{k=1}^{k=i} x_{i-k+1} A_k \quad (54)$$

gdje je: $x_1, x_2 \dots x_{tk}$ intenzitet efektivne kiše u pojedinim vremenskim intervalima, $A_1, A_2 \dots A_{tc}$ — površine pojedinih zona između izokrona, t_b — baza

hidrograma površinskog otjecanja, odnosno ukupno trajanje površinskog otjecanja koje se definira izrazom (55):

$$t_b = t_c + t_k - 1 \quad (55)$$

Na slici 56d dat je primjer rezultirajućeg hidrograma otjecanja sa sliva za slučaj kada je trajanje kiše $t_k = 3 \Delta t$, a vrijeme koncentracije $t_c = 5 \Delta t$.

Kao što se može uočiti, hidrogram otjecanja dobiven primjenom metode izokrona, održava samo inercijalne karakteristike (odnosno kašnjenje) analiziranog sliva. To, međutim, nije dovoljno, jer je poznato da stvarni hidrogrami površinskog otjecanja sa sliva odražavaju ne samo inercijalne karakteristike već i retencijsku sposobnost sliva (sposobnost sliva da akumulira određenu zapreminu vode). Shodno tome, promjenom same metode izokrona ne može se odrediti realni oblik hidrograma otjecanja sliva. Na slici 56d također je dat slučaj hidrograma određenog metodom izokrona. Vidljivo je da takvi hidrogrami izgledaju neprirodno, tj. da im je vrijeme koncentracija nesrazmjerno vremenu retencije. Zbog toga se ovaj problem rješava time što se hidrogram direktnog otjecanja definiran metodom izokrona transformira kroz linearni ili nelinearni rezervoar. Na taj mu se način narine i retencijska karakteristika sliva. Za vršenje ovog zadatka najjednostavnije je koristiti metodu linearnog rezervoara definiranim izrazom (56):

$$q_j = \frac{0,5 (Q_j + Q_{j-1}) + (k/\Delta t - 0,5)_{j-1}}{(k/\Delta t) + 0,5} \quad (56)$$

pri čemu su: Q_j i Q_{j-1} — ordinate netransformiranog hidrograma (dobivenog genetskom metodom u vremenu t_j i t_{j-1} ; q_j i q_{j-1} — ordinate novog transformiranog i »realnog« hidrograma, $\Delta t = t_j - t_{j-1}$; k — transformacijski parametar sliva izražen kao vremenska jedinica, naziva se i koeficijentom retencije sliva.

Iz navedene formule proizlazi da je jedina nepoznata veličina parametar k . Za njega se pretpostavlja da približno odgovara vremenu koncentracije sliva, a u izučenim slivovima određuje se probanjem uz primjenu postupaka optimalizacije. Za neizučene slivove treba izbor izvršiti na temelju niza pokušaja i iskustva. Na slici 31 dat je slučaj primjene koeficijenta $k = 4$ sata.

Za konstrukciju izokrona koriste se danas različite tehnike od običnih grafičkih postupaka do primjene dinamičkog programiranja za definiranje izokrona u slivu. Na malim slivovima ova se metoda (izokrone + linearni rezervoar), može s uspjehom koristiti. Jovanović je na bazi izračunavanja malih slivova u široj regiji Srbije definirao slijedeće dvije jednadžbe za računanje vremena koncentracije t_c (57) i koeficijenta retencije sliva k (58) u funkciji površine slijeva A :

$$t_c = 0,39 A^{0,53} \quad (57)$$

$$k = 4,76 t_c A^{-0,29} \quad (58)$$

Nastavno će biti ukratko objašnjen model za određivanje vremena koncentracije i definiranja izokrona koji se temelji na primjeni diskretnog dinamičkog programiranja i za koji je izrađen program na elektroničkom računalu (Bonacci, Roglić). Potrebno je naglasiti da je metoda već primije-

njena na brojnim slivovima u nas, te da je dala dobre rezultate. Posebno je pogodna za korištenje kod rješavanja problema odvodnjavanja manjih slivova, prirodnih i umjetnih. Sliv se prekrije pravokutnom mrežom. U svakom čvoru mreže definira se visina terena. Vodotok se aproksimira lomljenom linijom kroz čvorove s definiranom visinskom kotom. U prvom koraku određuju se vremena otjecanja za čvorove koji pripadaju rijeci, a nakon toga za susjedne čvorove, odnosno one čiji bar jedan od susjednih čvorova pripada vodotoku. Konačno se određuju vremena i smjerovi tečenja za ostale čvorove sliva. Postupak određivanja je iterativan; za i-ti čvor odrede se svi mogući smjerovi otjecanja (tj. tečenje se može pojaviti samo prema susjednim čvorovima manje visine). Ako svi čvorovi već imaju određeno vrijeme putovanja kapi vode, to se uradi i za i-ti čvor izborom minimalnog vremena, inače se i-ti čvor u tom koraku preskače. Postupak se ponavlja dok se u svim čvorovima sliva ne definiraju vremena. Ako za neke čvorove nije moguće ispuniti uvjet da u svim susjednim čvorovima bude određeno vrijeme, kriterij »svi« se zamjenjuje s »bar 60%«. Na kraju se određuju točke s jednakim vremenima otjecanja i pristupa se crtanju izokrona. Metoda je pogodna za brežuljkaste slivove u kojima je za veći broj čvorova otjecanje moguće u više smjerova, dakle upravo u situaciji kad klasični načini određivanja izokrona zakazuju. Brzina tečenja vode u koritu v_k određuje se prema izrazu (59):

$$v_k = \frac{1}{n_k} h^{0,67} I^{0,50} \quad (59)$$

a po terenu izrazom (60):

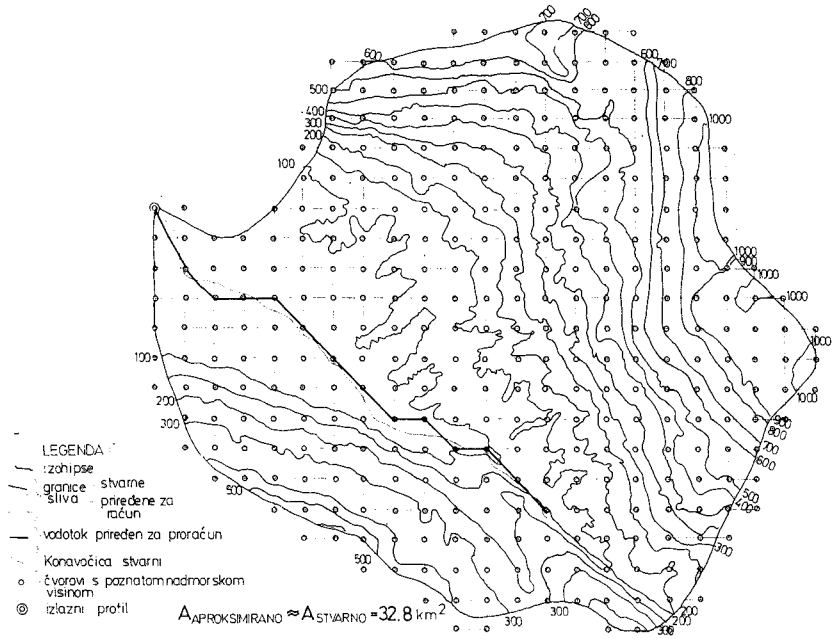
$$v_t = \frac{1}{n_t} D^{0,67} S^{0,50} \quad (60)$$

u kojem je n — Manningov koeficijent, h — srednja dubina vode u koritu, I — pad dna korita vodotoka, D — srednja debljina sloja koji se slijeva po terenu, S — pad terena. Model je ispitan na mnogo slivova, a ovdje će biti prikazan na slivu Konavočice površine 32,8 km² (slika 57). Apraksimacija je izvršena pravokutnom mrežom od 21 × 23 čvora na udaljenosti od 315 m. Na slici 58 dati su položaji izokrona izračunati primjenom programa na električkom računalu.

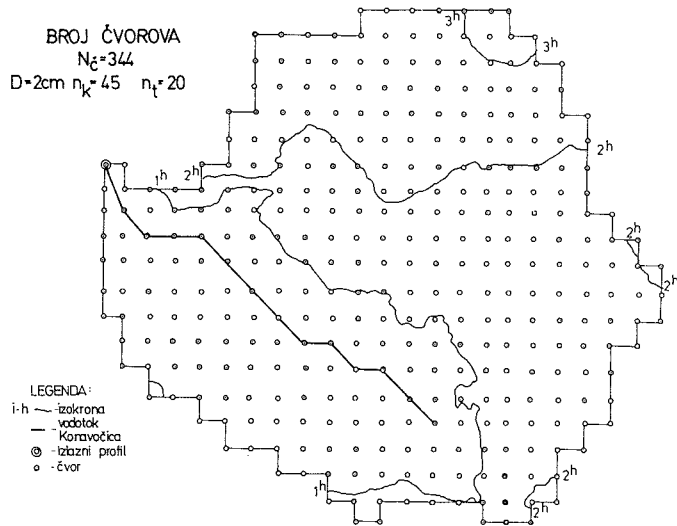
Za odvodnjavanje malih poljoprivrednih površina, sportskih terena kao i aerodromskih pista i autoputeva, dakle relativno pravilnih ploha s malom površinom od tek nekoliko hektara, pogodna je za primjenu u praksi tzv. racionalna teorija kod koje je moguće pretpostaviti bez velike greške da je intenzitet oborina nepromjenjiv u toku cijelog vremena padanja. Za ovakve površine nije teško definirati izokrone kao što je to učinjeno na slici 59a. Na slici 59b dat je ulazni hietogram efektivne padavine kao i izlazni hidrogrami za tri karakteristična slučaja odnosa trajanja kiše t_k i vremena koncentracije t_c . Vidljivo je da se dobivaju hidrogrami u obliku trokuta i trapeza, pa se ova metoda često naziva otjecanje po trokutu ili po trapezu. Izraz za definiciju protoka Q_t u nekom trenutku vremena t identičan je izrazu (54), ali se može i jednostavnije prikazati izrazom (61):

$$Q_t = i \sum_{k=1}^{k=n} A_k \quad (61)$$

SLIV KONAVOČICE PRIREĐEN ZA ODREĐIVANJE IZOKRONA
PRIMJENOM DISKRETNOG DINAMIČKOG PROGRAMIRANJA

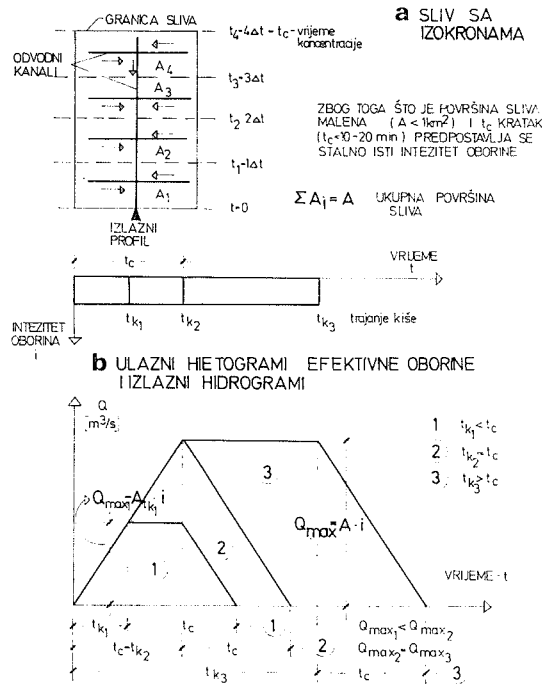


Slika 57



Slika 58

DEFINIRANJE HIDROGRAMA OTJECANJA PREMA RACIONALNOJ METODI



Slika 59

pri čemu je i konstantni intenzitet oborine, dok je A_k element površine sliva između dvije susjedne izokrone. Vidljivo je da s produljenjem trajanja kiše istog intenziteta iznad t_c ne dolazi do povišenja maksimalne protoke hidrograma, što je potpuno razumljivo, budući da u trenutku $t_k = t_c$ dolazi do učešća cjelokupnog sliva u otjecanju. Važno je napomenuti i to da, ako se zaista radi o malim i pravilnim slivovima, u praksi nije potrebno vršiti korekciju ovako dobivenog hidrograma uslijed djelovanja retencije sliva, a ujedno su i manji problemi vezani s određivanjem kako koeficijenta otjecanja c_p , tako i vremena koncentracije t_c .

5.3. Metoda jediničnog hidrograma

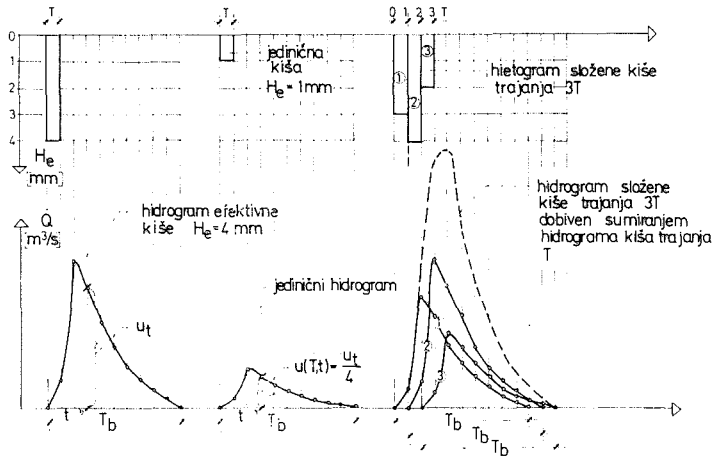
Koncept jediničnog hidrograma stekao je danas šire teoretsko i praktično značenje, kako kod probabilističkih proračuna velikih voda, tako i za prognoziranje riječnog otjecanja u realnom vremenu.

Jedinični hidrogram sliva je hidrogram površinskog otjecanja nastao od 1 mm efektivne kiše koja je ravnomjerno padala na cijeloj slivnoj površini, uniformnim intenzitetom tokom zadanog intervala vremena T . Interval vremena ili jedinično trajanje T može se odabrati po želji, ovisno o veličini

sliva koji se analizira (obično se jedinično stajanje T kreće od 5 min do 24 sata). Prema tome, jedinični hidrogram predstavlja tipski hidrogram koji odražava na realan način i inercijalne i retencione karakteristike analiziranog sliva.

Vratimo li se na shematski prikaz dat na slici 54, može se zaključiti da se problem definiranja jediničnog hidrograma odnosi isključivo na dio sustava transformacije netto ili efektivne oborine u hidrogram direktnog ili površinskog otjecanja.

ODNOS EFEKTIVNE OBORINE JEDINIČNOG HIDROGRAMA I HIDROGRAMA SLOZENE EFEKTIVNE OBORINE



Slika 60

Osnovna je pretpostavka teorije jediničnog hidrograma linearnost i stacionarnost sustava, pa stoga važe principi proporcionalnosti i superpozicije, iz kojih proizlazi: da pljuskovi istog trajanja proizvode hidrograme s istom vremenskom bazom nezavisnom od intenziteta kiše, da su ordinate kiše proporcionalne za pljuskove istog trajanja, te da je oblik hidrograma nezavisan od prethodnih ili budućih kiša. Na slici 60 data je ilustracija navedenih karakteristika jediničnog hidrograma kao i način definiranja hidrograma od kiše koja je višekratnik trajanja kiše T za koju je i definiran jedinični hidrogram. Broj jediničnih hidrograma neograničen je i ovisi o uzetom trajanju kiše T koje se može kretati od nule do vremena koncentracije. U slučaju da je trajanje kiše nula dolazi do slučaja graničnog oblika jediničnog hidrograma koji se naziva trenutačni jedinični hidrogram, a njegove se ordinate označavaju s $u(o, t)$. Trenutni jedinični hidrogram je apstrakcija koja se treba shvatiti kao rezultat trenutačnog ulaza jedinične kiše u sustav. Ordinate jediničnog hidrograma u slučaju trajanja kiše T različitog od nule označavaju se sa

$$u(T, t).$$

Ako je efektivna kiša $H_e \geq 1$ cm zbog linearnosti važi odnos (62) kojim se definira protoka Q u momentu t :

$$Q(t) = H_e \cdot u(T, t) \quad (62)$$

Pretpostavi li se trajanje kiše nT protoka $Q(t)$, može se odrediti izrazom (63):

$$Q(t) = \sum_{i=1}^n u [T, t - (i-1)T] \cdot H_i \quad (63)$$

Ako je jedinično trajanje T beskonačno malo ($T \rightarrow 0$), onda se jednačba (63) transformira u dobro poznati integral konvolucije linearnog stacionarnog sustava (64):

$$Q(t) = \int_0^t u(t-\tau) \cdot H(\tau) \cdot d\tau \quad (64)$$

Ako se kiša pala u prvom trenutku vremena označi s H_0 uz izostavljanje T , i uz uvažavanje činjenice da se ordinate hidrograma računaju u diskretnim vremenskim intervalima kao višekratnici od T , proizlazi da stvarno treba odrediti protoke $Q(k)$ pri čemu je $k = 1, 2, \dots, n$ te da se nju može odrediti izrazom (65):

$$Q(k) = \sum_{i=\emptyset}^n u(k-i) H_i \quad (65)$$

za $k = 1, 2, \dots, n$. Alternativa izrazu (65) je izraz (66) koji barata s indeksima i glasi:

$$Q_k = \sum_{i=1}^n u_{k-i+1} H_i \quad (66)$$

za $k = 1, 2, \dots, n+m-1$ pri čemu je k — redni broj ordinate složenog hidrograma direktnog otjecanja; m — broj pozitivnih ordinata T satnog jediničnog hidrograma u trenucima vremena $T, 2T, \dots, mT$; n — broj blokova na koje je podijeljen složeni hietogram efektivne kiše; $(l = n+m-1)$ — označava broj ordinata hidrograma direktnog otjecanja izazvanog složenom kišom, pri čemu se l odnosi samo na ordinate s protokom većim od nule; $T_b = T(n+m)$ — označava bazno vrijeme hidrograma direktnog otjecanja od složene kiše.

Izraz (66) pogodan je za prikaz u matricnoj formi kao (67):

$$[H] \cdot U = Q \quad (67)$$

što razvijeno prikazano glasi kako slijedi:

$$\begin{bmatrix} H_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ H_2 & H_1 & 0 & \dots & 0 \\ H_3 & H_2 & H_1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & H & H_{n-1} & \dots & 0 \\ 0 & 0 & H_n & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & H_r \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ u_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \dots \\ \dots \\ Q_k \\ \dots \\ \dots \\ Q_l \end{bmatrix}$$

Za slučaj jediničnog hidrograma od četiri ordinate u_k veće od nule i za tri bloka kiše matrice i vektori bi izgledali kako slijedi:

$$\begin{bmatrix} H_1 & 0 & 0 & 0 \\ H_2 & H_1 & 0 & 0 \\ H_3 & H_2 & H_1 & 0 \\ 0 & H_3 & H_2 & H_1 \\ 0 & 0 & H_3 & H_2 \\ 0 & 0 & 0 & H_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \\ Q_6 \end{bmatrix}$$

Vektor stupac ordinata jediničnog hidrograma U može se riješiti prema principima matricne algebre množenjem lijeve i desne strane s inverznom matricom kiša $[H]^{-1}$ kako je to prikazano izrazom (68):

$$[H]^{-1} \cdot [H] \cdot U = [H]^{-1} \cdot Q \tag{68}$$

iz čega proizlazi (69):

$$U [H]^{-1} \cdot Q \tag{69}$$

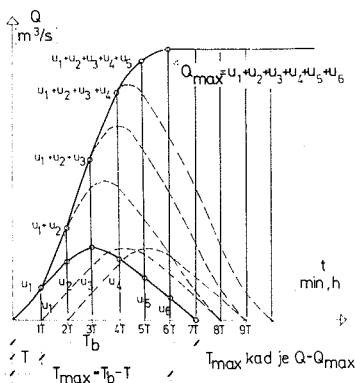
Ovo je moguće postići jedino onda kada je moguće izračunati inverznu matricu koja egzistira samo u slučaju ako je matrica kvadratna i ako njena determinanta nije jednaka nuli. Budući da matrica $[H]$ nije kvadratna, potrebno je za definiranje vektora stupca ordinata jediničnog hidrograma transponirati matricu oborina $[H]^T$ i s njom množiti lijevu i desnu stranu izraza (67), a potom pošto je umnožak $([H]^T \cdot [H])$ kvadratna matrica treba invertirati taj umnožak i množiti lijevu i desnu stranu s njim, kako je to učinjeno u formulama (70):

$$\left. \begin{aligned} ([H]^T \cdot [H]) \cdot U &= [H]^T \cdot Q \\ ([H]^T \cdot [H])^{-1} ([H]^T \cdot [H]) \cdot U &= ([H]^T \cdot [H])^{-1} \cdot [H]^T \cdot Q \\ U &= ([H]^T \cdot [H])^{-1} \cdot [H]^T \cdot Q \end{aligned} \right\} \tag{70}$$

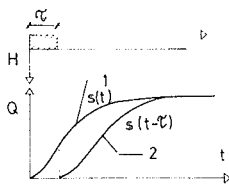
Ovako definirane ordinate jediničnog hidrograma neće, na žalost, biti potpuno točne, te je potrebno primijeniti neku od metoda manimiziranja grešaka. Postoje još brojne metode za definiranje ordinata jediničnog hidrograma a jedna je bazirana i na primjeni linearnog programiranja.

Kao problem iskršava definiranje ordinata jediničnog hidrograma za proizvoljno trajanje kiša τ na osnovi poznatog jediničnog hidrograma definiranog za kišu T . Ovaj se problem u cijelosti rješava primjenom S hidrograma. Teoretski S-hidrogram (ili S-krivulja) je hidrogram uzrokovan kontinuiranom, ravnomjernom kišom intenziteta $1/T$ [cm/h], beskonačnog trajanja. U stvari, on je superpozicija T -satnih jediničnih hidrograma koji međusobno kasne za vrijeme T kako je to prikazano na slici 61a. Da bismo odredili ordinate jediničnog hidrograma za kišu proizvoljnog vremena trajanja τ , potrebno je samo nacrtati paralelan S hidrogram pomaknut za period τ , kao što je to učinjeno na slici 61b. Razlika između S krivulje 1 i 2 jednaka je volumenu pale efektivne kiše u intervalu $[0, \tau]$, pa se ordinate jediničnog hidrograma za kišu trajanja τ mogu odrediti izrazom (71) ili očitavanjem s grafičkog prikaza (slika 61b):

a DEFINIRANJE S-HIDROGRAMA



b ODREĐIVANJE ORDINATA JEDINIČNOG HIDROGRAMA ZA KIŠU PROIZVOLJNOG TRAJANJA τ



Slika 61

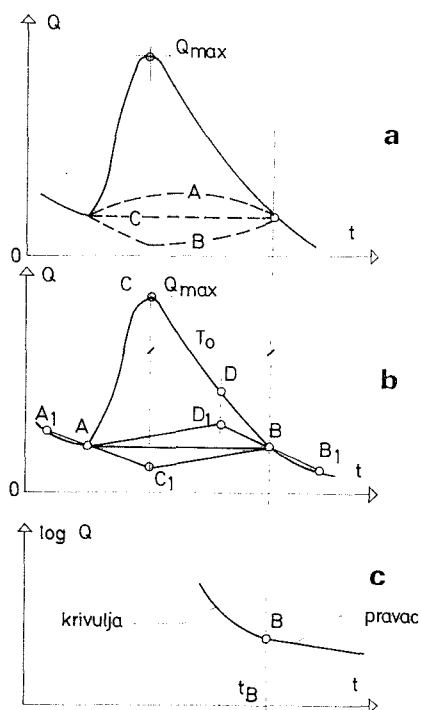
$$u(\tau, t) = \frac{1}{\tau} [S(t) - S(t - \tau)] \tag{71}$$

Ako se isto razmatranje provede putem trenutačnog jediničnog hidrograma, ordinate jediničnog hidrograma za proizvoljno trajanje kiše mogu se definirati izrazom (72):

$$u(\tau, t) = \frac{1}{\tau} \int_{t-\tau}^t u(0, t) dt \tag{72}$$

Pri kraju prikaza problematike definiranja jediničnog hidrograma potrebno je reći nekoliko riječi o problemu odvajanja hidrograma direktnog otjecanja, od ukupnog hidrograma. Radi se o neophodnosti odvajanja baznog otjecanja Q_b sastavljenog od sporog potpovršinskog otjecanja ${}_2Q_i$ i podzemnog otjecanja Q_p (vidi slike 54 i 54). Kod vodotoka koji hrane svoje podzemlje hidrogram u principu može imati dva ekstremna oblika. U slučaju da kod podizanja nivoa vode u koritu dolazi do znatnijeg prelaženja vode u podzemlje, tada je doticaj podzemne vode manji, ili jednak nuli. Situacija se nastavlja do pojave vrha hidrograma otjecanja. Nakon toga se doticaj podzemne vode počne povećavati i po prestanku površinskog otjecanja, hidrogram podzemne vode slijedi krivulju recesije B na slici 62a. Suprotan slučaj označen s A dešava se rijetko. Kod malih i srednjih vodotoka odvajanje baznog od direktnog otjecanja najčešće približno odgovara krivulji C. Kako volumen podzemne vode do vrha hidrograma, najčešće nije značajan, to pretpostavke o grani njena porasta uglavnom neće unijeti značajniju grešku u proračunu. Na slici 62b prikazano je nekoliko načina odvajanja

**METODA ODVAJANJA
HIDROGRAMA DIREKTNOG
(POVRŠINSKOG) OTJECANJA
OD UKUPNOG HIDROGRAMA**



Slika 62

hidrograma koji se najčešće koriste u praksi. Točka B na slici 62b odgovara prestanku površinskog oticanja. Od vrha C do B traje vrijeme ocjeđivanja sliva T_o . Ono je za izolirane kiše relativno konstantno, a ovisi o padu i površini slijeva u prvom redu.

Spusti li se iz točke vrha hidrograma C okomica na apscisu do produžetka recesionog dijela krivulje A_1A definira se točka C_1 . Dalje se C_1 spaja s točkom B te je na taj način definirana linija $A C_1 B$ kao granica baznog i površinskog otjecanja. Za slivove kod kojih podzemna voda brzo dospjeva u vodotok, kao što je slučaj u kršu, koristi se linija $B D_1 A$, pri čemu se pravac $B D_1$ dobije produženjem krivulje recesije ulijevo do presjeka s okomicom spuštenu od točke infleksije na hidrogram. Za detaljnije određivanje točke B preporuča se koristiti prikaz reterdacijskog dijela hidrograma na polulogaritamskom papiru, kako je to prikazano na slici 62c. U jednom trenutku krivulja prelazi u pravac i taj trenutak služi za definiranje točke B. Važno je naglasiti slijedeće ključne momente vezane uz definiranje jediničnog hidrograma. Određivanje jediničnog hidrograma nije jednostavan posao, pauzdani jedinični hidrogrami mogu se odrediti samo na onim slijevovima za koje postoje izuzetno kvalitetna kontinuirana mjerenja vodostaja, protoka i palih kiša. Ovakvi hidrogrami mogu se onda koristiti za proračun hidrograma velikih voda zadanog povratnog perioda i za prognoziranje voda u realnom vremenu, ako postoje pouzdani podaci o intenzitetu kiša i slivu. Kada su, međutim, u pitanju potpuno neizučeni slivovi, na kojima ne postoje nikakva mjerenja protoka, onda se izlaz mora tražiti u sintetičkim jediničnim hidrogramima. Ovi su daleko manje pouzdani i ne mogu služiti kao baza za prognoziranje u realnom vremenu, već samo za probabilističke ocjene velikih voda, što je za potrebe projektiranja i dimenzioniranja objekta na vodama najčešće dovoljno.

5.3.1. Sintetički jedinični hidrogram

Većina pokušaja da se odredi sintetički jedinični hidrogram bazira se, kao i obično, na uspostavljanju regionalnih empirijskih zavisnosti između ključnih parametara jediničnog hidrograma (kao što su: vrijeme podizanja t_p , maksimalna protoka jediničnog hidrograma, ukupna vremenska baza, jediničnog hidrograma T_b i slično), i fizičko-geografskih karakteristika slivova. Poznavanjem navedenih karakteristika i uzimajući u obzir da zapremina jediničnog hidrograma mora odgovarati zapremini 1 mm (ili 1 cm) kiše pale po cijeloj površini slika, može se na sasvim zadovoljavajući način konstruirati cijeli sintetički jedinični hidrogram.

U nastavku će se ukratko opisati Snyderov postupak za određivanje parametara sintetičkog jediničnog hidrograma (SJH) koji se danas često koristi u praksi u mnogim zemljama uključujući i našu. Snyderov postupak za definiranje SJH bazira se na vremenu zakašnjenja t_L , koje se računa po prije datoj relaciji (49). Kada se izračuna t_L , onda se, po Snyderovu prijedlogu izrazom (73) računa tipsko trajanje kiše t_{sk} (koje se poslije koristi za proračun maksimalne protoke SJH).

$$t_{sk} = \frac{t_L}{c_2} \text{ [sati]} \quad (73)$$

gdje je c_2 koeficijent koji se određuje regionalnom analizom. Za kiše standardnog trajanja t_{sk} izračunava se maksimalna protoka q_p slijedećim izrazom (74):

$$q_p = \frac{0,28 c_3 A}{t_L} \text{ m}^3/\text{s mm}$$

gdje je c_3 koeficijent, A je površina sliva.

Vremenska baza jediničnog hidrograma određuje se iz odnosa (75):

$$T_b = d + c_4 t_L \quad (75)$$

pri čemu konstante d i c_4 zavise od načina na koji se na hidrogramu odvaja bazno od površinskog otjecanja.

Za trajanja kiše t_k koja se razlikuju od standardnog trajanja t_{sk} računa se poseban parametar t'_L izrazom (76):

$$t'_L = t_L + f(t_k)$$

pri čemu se posebno ustanovljava funkcija $f(t_k)$.

Snyderovi koeficijenti c_t , c_2 , c_3 , c_4 , d i funkcija $f(t_k)$ određeni su na osnovi regionalne analize riječnih tokova sprovedene za jednu planinsku regiju u SAD. Primjera radi za tu regiju Snyder je dobio slijedeće veličine:

$$c_t = \text{od } 1,35 \text{ do } 1,65$$

$$c_2 = 5,5$$

$$c_3 = \text{od } 0,56 \text{ do } 0,69$$

$$d = 3$$

$$c_4 = 0,125$$

$$f(t_k) = 0,25 (t_k - t_{sk})$$

Snyderov prilaz može se primjenjivati i u drugim regijama, ali se nikako ne smiju koristiti vrijednosti koeficijenata koje je Snyder dobio za spomenutu regiju u SAD. Ti se koeficijenti prethodno moraju procijeniti za područje u kojem se nalazi sliv, na osnovi posebne regionalne analize svih slivova i njihovih karakteristika u toj regiji. I svi ostali postupci koji se danas koriste za određivanje SJH baziraju se na vrlo sličnim principima. Iz iznesenog se jasno može uočiti da se sintetički jedinični hidrogram za neizučene slivove objektivno ne može uvijek odrediti s velikom točnošću, pa se zato preporučuje opreznost prilikom njegova korištenja za proračun hidrograma velikih voda željenog povratnog perioda. Baš zbog toga još je bolje ako se na neizučenim slivovima koji su od interesa organiziraju mjerenja protoka, vodostaja i palih kiša u jednom kraćem periodu (od 1 do 2 godine), kad god je to moguće. Ovako izmjereni podaci se onda koriste kao daleko bolja informacijska osnova za određivanje pouzdanog jediničnog hidrograma na analiziranom slivu.

U poglavlju 5. Otjecanje predložena su tri modela, ali u svijetu postoje i brojni drugi pristupi posebno za male slivove. Naše dosadašnje iskustvo upućuje nas na praktičnu primjenu jednostavnijih inženjerskih modela, koji ne zahtijevaju brojne ulazne parametre. Složeni modeli, iako neosporno kvalitetniji u svojoj suštini, kod primjene su se pokazali vrlo neadaptibilni i komplicirani, naročito zbog zahtjeva za brojnim podacima o karakteristikama sliva do kojih je vrlo teško doći.

Zaključujući ovaj rad neophodno je kazati nekoliko napomena vezanih s problemom primjene svega prije navedenog u procesu projektiranja poljoprivredne odvodnje ili odvodnje uopće. Radi se, prije svega, o izboru mjerodavne oborine koja ima velik utjecaj na dimenzije kanalske mreže a time i na cijenu koštanja sustava, ali i na dobit koja se realizira povećanom poljoprivrednom proizvodnjom s uređene poljoprivredne površine. Problem, očito, nije jednostavan i izlazi dijelom iz domene hidrotehnike i agrotehnike te ulazi u područje ekonomije. Na to se pri projektiranju sustava za odvodnju ne smije nipošto zaboraviti. Mehaničko odabiranje najintenzivnije ili najduže kiše određenog promatranog perioda nije opravdano. Potrebno je sagledati kako karakteristike sliva tako i karakteristike klime i oborina. Za poljoprivrednu su odvodnju od ogromnog značenja vremenski periodi kada se intenzivne oborine javljaju, a to je vezano s razvojem vegetacije i biljem koje se uzgaja, budući da jedno može podnijeti i drugotrajnija plavljenja a drugo ne može. Svi navedeni elementi trebaju biti uzeti u obzir pri projektiranju mreže odvodnih kanala kako bi ova izvršila svoju funkciju a kako bi bila i maksimalno ekonomična. Mišljenja smo ujedno da poljoprivredne površine treba odvodnjom braniti od maksimalno velikih voda desetogodišnjih povratnih perioda te da viši nivo obrane treba detaljno ekonomski obrazložiti.

LITERATURA

1. *Gburčik, P.*: Meteorološki instrumenti i osmatranja, ICS, Beograd 1975.
2. *Milosavljević, M.*: Meteorologija, Naučna knjiga, Beograd, 1975.
3. *Milosavljević, M.*: Klimatologija, Naučna knjiga, Beograd, 1968.
4. *Segota, T.*: Klimatologija za geografe, Školska knjiga, Zagreb, 1976.
5. ***: Uputstva za osmatranja i mjerenja na glavnim meteorološkim stanicama, Savezni HMZ, Beograd, 1974.
6. *Konstantinov, A. R.*: Isparenije v prirode, Gidrometeoizdat, Lenjingrad, 1968.
7. *Palmer, W. C.*: Meteorological drought, US Weather Bureau Technical Paper, No 45, 1965.
8. *Bonacci, O.*: Hidrološki aspekt analize fenomena suše, Građevinar 29 (9), 1977, 333—342.
9. *Smirnova, E. A.*: Design rainfall characteristics of the USSR territory. Symp. of floods and their computation, Leningrad, IAHS publ. 85, 1969.
10. *Alexeyev, G. A.*: Objective statistical methods for determination of storm precipitation characteristics. Jor. of Hydrology, 7, 1966.
11. *Alexeyev, G. A.*: Objective statistical methods of computation and generalization of the parameters of maximum rainfall runoff. IAHS publ. 84, 1969.
12. *Zelenhasić, E., Janc, N.*: Režim 24-časovnih pljuskova u Beogradu, Savetovanje JDH o problemima urbane hidrologije i proračuna kišne kanalizacije. Novi Sad, 1979.
13. *Anđelić, M., Đoković, S., Canić, K.*: Neki aspekti primarne obrade pluviografskih traka i analize režima maksimalnih kiša u Jugoslaviji, Vodoprivreda, 13 (74), 1981, 513—520.
14. *Bonacci, O., Trninić, D.*: Pristup analizi kiša jakog intenziteta za šire gradsko područje Zagreba, Vodoprivreda, 57, 1979, 29—32.
15. *Molnau, M., Rawls, W. J., Curtis, D. L., Warnick, C. C.*: Gage density location for estimating mean annual precipitation in mountainous areas, Water Resources Bulletin, 3, 1980, Vol. 16, pp. 428—432.

16. *Nicks, A. D., Igo, F. A.*: A depth — area — duration model of storm rainfall in the Southern Great — Plains, Water Resources Research, 5, 1980, Vol. 16, pp. 939—945.
17. *Brunte-Moret, Y., Roche, M.*: Etude theorique et methodologique de l'abatement des pluies, Cahiers ORSTOM, Serie Hydrologie, No 4, 1966, pp. 3—13.
18. *Zelenhasić, E., Janc, N., Živančević, Z.*: Neki aspekti kiša i poplava u SR Srbiji, Vodoprivreda, 56, 1978, 40—43.
19. *Marković, R.*: Apsolutno maksimalne padavine u Jugoslaviji, Vodoprivreda, 58, 1979, 3—8.
20. *Rodda, J. C.*: Rainfall excesses in the United Kingdom, The Institut of British Geographers, Publication, No 49, 1970, pp. 49—60.
21. ***: Guide to hydrological practices, WMO — No 168, 1975, 516.
22. *Đorđević, N.*: Metodologija obrade pluviograma, Institut za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Beogradu, Beograd, 1981,
23. *Petković, T.*: Određivanje računskih karakteristika kiša, Zbornik radova za Savetovanje JDH o hidrologiji malih slivova, II knjiga, Vrnjačka Banja, 1976.
24. *Zelenhasić, E., Bugarinović, N., Zečević, S.*: Učestalost visina padavina u SR Srbiji, Vodoprivreda, 62, Beograd, 1979.
25. *Bonacci, O., Stupalo, D.*: Prilog analizi kiša jakog intenziteta, Savetovanje JDH o problematici urbane hidrologije i proračuna kišne kanalizacije, Novi Sad, 1979.
26. *Vukmirović, V., Jovanović, S.*: Analiza jakih kiša malog povratnog perioda, Savetovanje JDH o problemima urbane hidrologije i proračuna kišne kanalizacije, Novi Sad, 1979.
27. *Marsalek, J.*: Synthesized and historical storms for urban drainage design. Proceedings of the International Conference »Urban Storm Drainage« held at the University of Southampton, April 1978, Pentech Press (87—98).
28. *Arnell, V.*: Analysis of rainfall data for use in design of storm sewer systems. Proceedings of the International Conference »Urban Storm Drainage« held at the University of Southampton, April 1978, Pentech Press (71—86).
29. *Lahaya, J. P., Meunier, M., Tartes, R.*: Méthodes d'étude des pluies de courte durée. La houille blanche No 4/5, 1979, pp. 237—250.
30. *Petković, T.*: Određivanje računskih karakteristika kiša, Vodoprivreda, 44, 21—25, 1976.
31. *Petković, T.*: Proračun maksimalnih proticaja vode pomoću redukcionih krivih kiša, Vodoprivreda, 44, 16—20, 1976.
32. *Jovanović, S., Radić, Z.*: Metode analize i određivanje velikih voda na nedovoljno izučanim slivovima, Model ILR, Institut za hidrotehniku, Beograd, 1982.
33. *Snyder, F. F.*: Synthetic Unit Hydrographs, Trans. Am. Geophys. Union, Vol. 19, New York.
34. *Srebrenović, D.*: Problemi velikih voda, Zagreb, 1970.
35. *Anđelić, M.*: Floodflow analysis with inadequate data, International Course in water resource engineering, Beograd, 1982.
36. *Bonacci, O.*: Kiše jakih intenziteta slivnog područja grada Zagreba, Građevinar, 33 (8), 1981, str. 347—354.
37. *Chow, V. T.*: Handbook of applied hydrology, McGraw Hill B. C., 1963.
38. *Jevđević, V.*: Inženjerska hidrologija, I deo, Beograd, 1956.
39. *Bonacci, O.*: Rainfall as the basis for urban runoff — Experience and practice in Yugoslavia, Seminar, Copenhagen, 1983, 315—322.
40. *Bonacci, O., Margeta, J.*: Analiza posljedica jednog pljuska, Građevinar, 35 (10), 1983, 403—408.
41. *Remenieras, G.*: L'hydrologie de l'ingénieur, Eyroles, Paris, 1970.
42. *Jovanović, S., Bonacci, O., Anđelić, M.*: Hidrometrija, Građevinski fakultet Beograd, Beograd 1977.
43. *Skorin-Kapov, D.*: Model za redukciju kiše u okolini njenog centra, Jug. simp. o inž. hidrologiji, Split, 1983, 165—176.

44. *Bonacci, O., Roglić, S.:* Određivanje velikih voda na neizučnim slivovima genetskom metodom, *Vodoprivreda*, 13 (74), Beograd, 495—502.
45. *Bonacci, O., Roglić, S.:* Application of discrete dynamic programming for overland flow analysis, *Proc. I Int. seminar on urban drainage systems*, Southampton, 1982, 165—177.
46. *Vissman, W., Knapp, J., Lewis, G.:* Introduction to hydrologi, Harper and Row Pbl., 1977.
47. *Jovanović, S.:* Parametarska hidrologija, JDH, Beograd, 1974.
48. *Jovanović, S., Jovanović, M., Radić, Z.:* The effects of meteorological inputs on the variability of runoff in time, *Hamburg Symp., IAHS Publ.*, 140, 375—385.

VAŽNOST ODNOSA BILJKA — TLO — VODA U HIDROTEHNIČKIM MELIORACIJAMA

Dr FRANE TOMIĆ, sveuč. prof.

Uzgojem biljaka (autotrofnih organizama) osigurava se hrana za heterotrofne organizme (čovjek, životinja), odnosno omogućuje se biološki opstanak čovjeka. Zelene biljke posjeduju klorofil i zbog toga mogu samo one koristiti solarnu energiju, te procesom fotosinteze stvoriti hranjive tvari. Prema tome, i današnji civilizirani čovjek treba stalno uzgajati poljoprivredne kulture i utjecati na unapređivanje uvjeta za proizvodnju hrane. Uzgoj biljaka odvija se u dva medija: tlo i atmosfera. U ovim medijima osiguravaju se svi vegetacijski faktori: svjetlost, toplina, zrak, voda i hranjive tvari. Ove faktore pojedinačno i njihov interakcijski utjecaj na rast i razvoj biljaka proučava više znanstvenih disciplina. Budući da je voda faktor koji biljka uglavnom koristi iz tla, može se djelovati na utjecaj vode. U suvremenoj biljnoj proizvodnji najčešće je potrebno primjenjivati hidromelioracijske i agromelioracijske mjere, kako bi se otklonio nepovoljan utjecaj viška, odnosno nedostatka ovog vegetacijskog faktora.

Poznavanje odnosa biljka — tlo — voda vrlo je važno za reguliranje vodnog režima u tlu. Pravilnim reguliranjem vode ostvaruju se često povoljni uvjeti za biljnu proizvodnju čiji je prvenstveni cilj što veća proizvodnja hrane.

1. BILJKA

Biljka je autotrofni organizam koji iz anorganskih tvari stvara visoko energetske organske spojeve. Za izgradnju organske tvari biljci su potrebni, pored sunčeve energije, voda, ugljični dioksid i mineralne tvari (biogeni elementi iz tla).

Dakle, biljka stvara tvari koje služe za izgradnju vlastitog organizma (celuloza, hemiceluloza, pektin, lignin) i stvaranje prinosa (ugljikohidrati, bjelančevine, masti, lipoidi).

Posebno su značajne rezervne tvari (kao škrob u zrnu žitarica, šećer u šećernoj repi, bjelančevine i masti u raznom sjemenju i plodovima) koje služe za ishranu ljudi i životinja. Proces fotosinteze (stvaranje organske tvari) uglavnom se odvija u listu biljke. Osnovni fotosintetski materijal je ugljični dioksid i voda. Ugljični dioksid, biljka prima putem puči i epidermalnih stanica na lišću. S obzirom na to da količina ugljičnog dioksida iz zraka (0,03%) nije dovoljna, na njegov sadržaj u prizemnom sloju zraka može se djelovati putem mikroorganizama tla. Intenzifikacija rada organizama u tlu ostvaruje se gnojidbom organskim i mineralnim gnojivima. Zapravo, poboljš-

šavanjem kemijskih, fizikalnih i bioloških svojstava tla mikroorganizmi intenzivnije dišu i tako obogaćuju zrak iznad površine s ugljičnim dioksidom.

Gotovo sve biljke koriste vodu, a s njom i hranjive tvari iz tla putem korijenova sustava, pa je za reguliranje vodnog režima tla (primjenu hidromelioracijskih i agromelioracijskih mjera) važno poznavati korijen biljke i njegovu ulogu u ishrani biljke.

1.1. Osnovna građa i veličina korijenova sustava

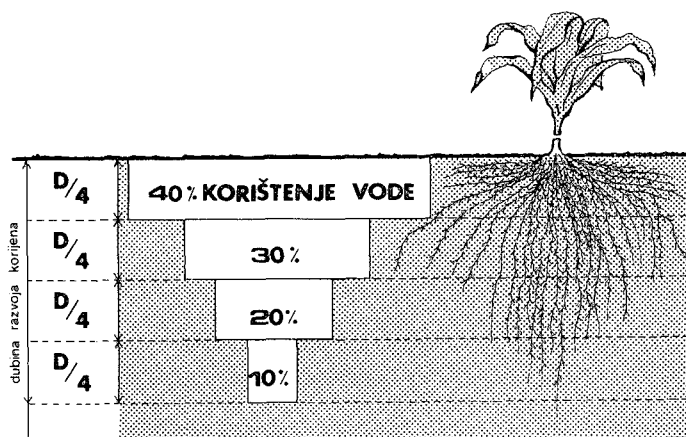
Korijenov sustav čini veći broj korjenčića na kojima se nalaze korijenove dlačice. Dlačice su vrlo male (njihov promjer kod pšenice, na primjer, je svega 0,008 mm), a brojčano su neograničene. Na vrhu korjenčića nalazi se kapica koja služi za mehaničku zaštitu pri prolasku kroz tlo. Do kapice se nalazi zona gdje se najviše upija voda s rastopljenim hranjivima (sl. 1).



Sl. 1. — Korijenov vrh (korjenčić)

Putem ovih dlačica biljka upija vodu i u njoj otopljene mineralne tvari iz tla na principu difuzije i osmoze čija maksimalna snaga može biti oko 15 bara.

Naime, pri većoj koncentraciji soka u biljci voda s otopljenim hranjivima iz tla prelazi kroz propusne stijenke korijenove dlačice u korijen, odnosno biljku. Osmotski i difuzni tlak koncentracije u biljci treba biti za 2—5 bara veći u odnosu na koncentraciju vode u tlu. U protivnom, voda bi iz korijenove dlačice prelazila u tlo. Takav slučaj se događa na slanim tlima, pa je biljka osuđena na propast (voda u tlu drži se većom snagom od 15 bara). Potrebno je podsjetiti na to da korijenove dlačice upijaju samo onu vodu s kojom su u neposrednoj vezi. Zbog toga u tlu treba biti prisutna lako pristupačna voda kako bi se dovoljno brzo gibala prema korijenovu sustavu biljke. U tim uvjetima biljka »troši« manje energije za primanje (upijanje) vode i u njoj rastopljene hranjive tvari. Pri nedostatku lako pristupačne vode u tlu voda se drži većim silama za čestice tla i biljaka povećava osmotski tlak u korijenovim dlačicama. Trudeći se da primi potrebnu vodu biljka usporava rast, odnosno stvaranje biljne mase. To su razlozi zbog kojih treba kontrolirati vodni režim u tlu, i, ako je potrebno, pravovremeno primijeniti adekvatnu melioracijsku mjeru. Pri reguliranju vode u tlu treba poznavati korištenje vode od strane biljke u odnosu na dubinu korijenova sustava (sl. 2). Osim toga, neophodno je osigurati i potreban odnos vode i zraka u tlu, kao i dovoljnu količinu mineralnih hranjiva u pristupačnom obliku. Ova tri vegetacijska faktora, a dobrim dijelom i toplina (temperatura u tlu



Sl. 2. — Korištenje vode od strane korijena biljke u zoni tla u kojoj se razvija

mogu se poboljšavati hidrotehničkim i agrotehničkim mjerama, pa je upravo u tome važnost ovih mjera pri uzgoju poljoprivrednih kultura. Upijanje vode od strane korijena, gibanje vode kroz biljku i ishlapljivanje vode kroz puči lišća usko su povezani. Za ovaj prirodni proces s pravom se može reći da je najsavršeniji automatski mehanizam. Od ukupne količine vode, koju biljka primi iz tla putem svog korijenova sustava troši svega 2% na izgradnju vlastite suhe tvari (izgradnju svog organizma), dok se sva ostala voda gubi putem lišća (transpiracija).

Količina vode koju biljka troši na transpiraciju ovisi o više faktora: vrste i sorte biljke, fazi razvoja, klimatskih prilika, dužine vegetacijskog razdoblja, prinosa biljke, svojstvima tla, agrotehničkih mjera i drugih uvjeta u kojima se uzgaja biljka. Transpiracija se odvija kroz cijelo životno razdoblje biljke, ali uglavnom preko dana. Brzina gibanja vode kroz biljku varira (do 180 cm na sat), ovisno najviše o klimatskim prilikama (veća temperatura, suhi vjetar povećavaju brzinu gibanja vode).

Za uzgoj poljoprivrednih kultura i primjenu melioracijskih mjera značajno je poznavati količinu vode koju biljka, odnosno uzgajana kultura treba u vegetacijskom razdoblju ili u svojem životnom vijeku.

Potreba vode od strane uzgajane poljoprivredne kulture može se u principu odrediti s pomoću koeficijenta transpiracije. Ovaj koeficijent predstavlja količinu vode u litrama koja je potrebna biljci za stvaranje jednog kilograma suhe tvari. S obzirom na to da transpiracija ovisi o više faktora, postoje različiti literaturni podaci transpiracijskog koeficijenta za istu uzgajanu kulturu. Ipak, orijentacijski njegove prosječne vrijednosti iznose za:

— pšenicu	490 l/kg
— kukuruz	360 l/kg
— krumpir	500 l/kg
— pamuk	570 l/kg
— lucernu	850 l/kg
— crvenu djetelinu	570 l/kg

Dakle, različite kulture troše različite količine vode. Isto tako svaka kultura troši različite količine vode u različitim područjima, različitim godinama (klimatskim uvjetima) i različitim fazama rasta i razvoja. Mlade biljke općenito troše manje vode. Na primjer pšenica troši više vode u fazi vlatanja i klasanja, a naročito u fazi nalijevanja zrna, u odnosu na druge faze svoga razvoja (o tome će poslije biti više riječi). Pri nedostatku vode biljka smanjuje svoj razvoj. Smanjuje se i transpiracija, a povećava se snaga upijanja vode od strane korijenja. Smanjuje se gibanje vode kroz biljku, površinu lišća i vegetacijsko razdoblje, a brže se odvija skrućivanje tkiva i zrioba. Posebno je štetno, pa i uništavajuće za biljku, ako suša naglo nastupi. Općenito se transpiracija može regulirati ako se životni faktori biljke dovode u povoljan odnos. Boljom agrotehnikom i primjenom adekvatnih melioracijskih mjera ostvaruje se veća racionalnost u utrošku vode, a isto tako veći i stabilniji prinosi uzgajanih biljaka.

2. TLO

U prirodi tlo čini posebnu specifičnu zonu — pedosferu, koja se formirala između atmosfere i litosfere. To je u biti rastresit supstrat nastao iz litosfere dugotrajnim djelovanjem više faktora kroz pedogenetske procese. Tlo osigurava biljkama prvenstveno vodu i hranjiva, a zatim ih opskrbljuje zrakom i toplinom. U svrhu uspješnog uzgoja poljoprivrednih kultura i pravilnog reguliranja vodozračnog režima potrebno je poznavati tlo i njegova svojstva. Osnovno je da tlo nije homogena masa već porozni medij koji se sastoji od krute (čvrste), tekuće faze, te zraka. Naime, između čestica tla nalaze se makro i mikro pore koje su ispunjene vodom i zrakom. Krutu ili čvrstu fazu, čine, dakle, čestice tla različitih veličina (od čestica kamena, šljunka, pijeska, pa do čestica praha i gline, odnosno koloida). Osim toga, krutu fazu tla čine, pored čestica mineralnog porijekla, i različite organske tvari (ostaci biljnog i životinjskog porijekla, mikroorganizmi). Tekuću fazu u tlu čine voda i vodena para koje sa zrakom ispunjavaju pore tla. Voda se uglavnom drži u kapilarnim a zrak u nekapilarnim porama. Kruta faza tla je relativno ustaljena, dok se količina vode i zraka mijenjaju i u međusobnoj su ovisnosti.

2.1. Osnovna fizikalna svojstva tla

Od fizikalnih svojstava tla tekstura, struktura i porozitet određuju vodozračne uvjete, te su značajni za opskrbu biljaka vodom, kisikom i toplinom, a time i za primjenu melioracijskih mjera, pa će se ovdje samo ta svojstva tla na adekvatan način prikazati.

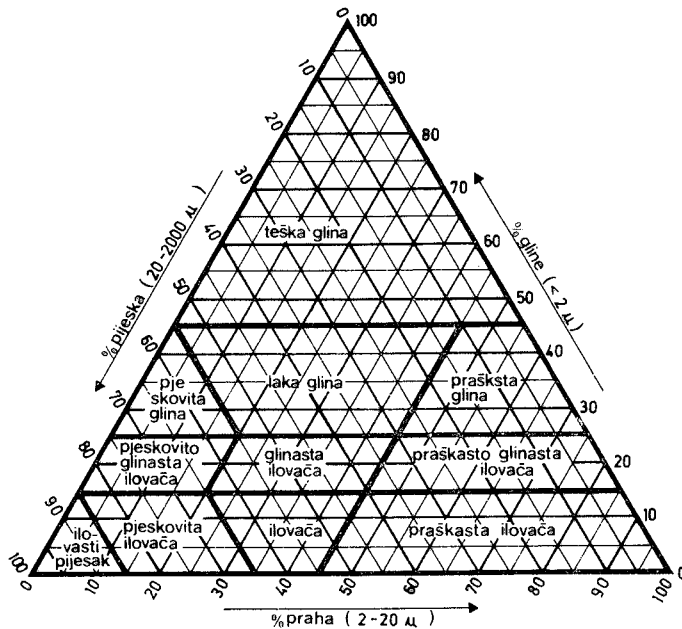
2.1.1. **Tekstura tla.** Čestice tla su različitih dimenzija, a u tlu se nalaze pojedinačno ili međusobno vezane, čineći mikro i makro agregate tla. Kvantitativni odnos pojedinih frakcija određuje teksturni ili mehanički sastav tla. Atterbergova klasifikacija za teksturni sastav tla je međunarodno prihvaćena i kod nas se najčešće primjenjuje:

Dimenzije

— čestice kamena	preko 20	mm
— šljunka	20 —2	mm
— krupnog pijeska	2 —0,2	mm
— sitnog pijeska	0,2 —0,02	mm
— praha	0,02—0,002	mm
— gline	manje od 0,002	mm.

Određivanje količine pojedinih čestica u tlu vrši se orijentacijski na terenu, a detaljnije u laboratoriju. Posebno se primjenjuju različiti postupci u laboratoriju za analizu mehaničkog sastava (Racz, 1971).

Na temelju utvrđenog sadržaja pojedinih frakcija sitnog tla određuje se teksturna oznaka tla. U tu svrhu primjenjuju se brojne klasifikacije, a u našoj zemlji najčešće se primjenjuje klasifikacija na temelju međunarodne podjele mehaničkog sastava (trokut prema Tommerupu, slika 3), američka



Sl. 3. — Određivanje teksture tla prema Tommerupu

klasifikacija i klasifikacija prema Kačinskom (može se vidjeti u više udžbenika i priručnika). Za klasifikaciju skeletnih tala u našoj zemlji se najčešće upotrebljava podjela čestica skeleta prema Gračaninu (1940). Treba napomenuti da su poljoprivredna tla pretežno sastavljena od čestica pijeska, praha i glinastih čestica.

2.1.2. Struktura tla je nakupljanje mehaničkih elemenata u strukturne agregate. Ovi agregati dijele se na mikroagregate i makroagregate. Granica između njih je 0,25 mm.

U našoj zemlji najviše se koristi klasifikacija:

— Kockasti agregati:

praškasti	do 0,5 mm
mrvičasti	0,5— 5 mm
graškasti	5 —10 mm
orašasti	1 — 3,5 cm
grudasti	više od 3,5 cm

— Stubasti (može biti različita dužina vertikalne osi)

— Plosnata:

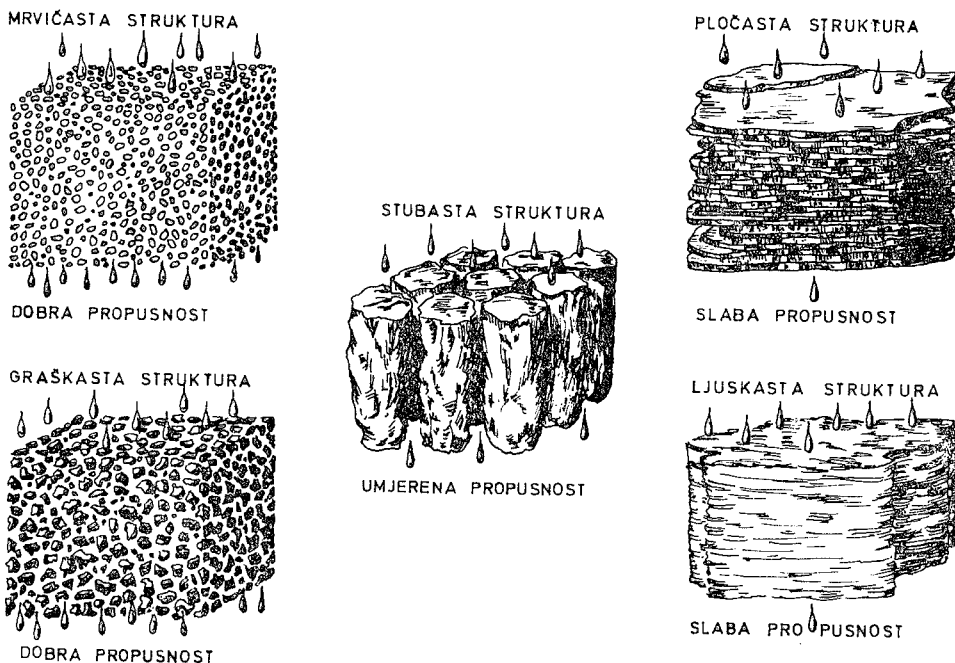
pločasta, agregati deblji od 0,5 cm

ljuskasta, agregati se stanjuju od sredine prema rubu

lisnati, agregati tanji od 0,5 cm.

Na temelju utvrđenog kvantitativnog odnosa raznih veličina agregata određuje se struktura tla (Škorić, Vučić, 1971). Povezivanjem čestica tla ne nastaju mikroagregati. U stvaranju strukturnih mikroagregata najviše pridonosi Ca-jon. Povezivanje mikroagregata u makroagregate vrše humusne tvari (posebno blagi humus) i mineralni koloidi (kod crvenica željezo i aluminij). To dokazuje da se mjerama, koje utječu na sadržaj kalcija, određen karakter humusa i vrstu mineralnih koloida, može utjecati na strukturu tla. Postoje dokazi da agregati veličine 0,25—10 mm (uglavnom mrvičasta struktura tla) povoljno utječu na vodo-zračna svojstva tla (Vučić, 1976). Pored oblika i veličine strukturnih agregata, značajna je i njihova stabilnost (Marinčić, 1971; Vučić, 1971; De Lechner i De Boodt — cit. po Resuloviću i Bišiću, 1971; Vlahinić, 1971). Nestabilna struktura tla smanjuje sposobnost upijanja vode od strane tla i pogoršava aeraciju te propusnost tla za vodu (sl. 4). Prema tome, struktura i stabilnost strukturnih agregata tla vrlo je važno svojstvo o kojem ovisi niz drugih svojstava tla. U svakom slučaju dobra struktura tla nosilac je povoljnih fizikalnih, kemijskih i bioloških svojstava tla. U strukturnom tlu postoje uvjeti za osiguravanje maksimalne količine vode i hranjiva, dovoljno zraka kroz cijelo vegetacijsko razdoblje. Zato strukturu tla treba smatrati ključem za visoku i sigurnu biljnu proizvodnju. Održavanje povoljne strukture tla postiže se pravilnom obradom tla, gnojidbom organskim i mineralnim gnojivima te primjenom pravilnog plodoreda. Intenzivnije popravljivanje strukture tla moguće je primjenom humizacije, kalcizacije, uzgojem višegodišnjih trava i leguminoza, kao i upotrebom različitih organskih i anorganskih preparata (kondicioneri), koji se danas pojavljuju u trgovini u različitim nazivima: Krilium, VAMA, Flotal, Agrotol, JBMA, HPAN i dr.), Škorić et al., 1969).

2.1.3. Porozitet tla nazivamo šupljiniće koje se nalaze između čestica tla i strukturnih agregata, te unutar agregata tla. Količina svih pora u jedinici volumena tla naziva se ukupan porozitet, a najviše ovisi o mehaničkom sastavu, strukturi i količini organske tvari. Vrlo porozna tla imaju ukupni porozitet više od 60%, porozna 45—65%, slabo porozna 30—45% i vrlo slabo porozna manje od 30%. Ova vrijednost se za praktične svrhe određuje obračunom na temelju vrijednosti prave i volumne specifične težine (Vučić, 1971).



Sl. 4. — Strukturni agregati tla i njihovo svojstvo za vertikalnu propusnost vode

Osim vrijednosti ukupnog poroziteta, značajni su (posebno za vodo-zračna svojstva tla) veličina, oblik i odnos među različitim šupljinicama. Za praktične svrhe pore tla se dijele na mikropore (kapilarne pore) u kojima se zadržava voda i krupnije makropore ili nekapilarne pore u kojima se nalazi zrak, dok voda u njima može biti samo kraće vrijeme. Sa stanovišta poljoprivredne proizvodnje važan je sadržaj ukupnih pora i odnos među njima. U porama se kreću plinovi i otopine aktivnih spojeva. O količini i odnosu pora ovisi propusnost tla za vodu, toplinska i biološka svojstva, kapacitet za vodu i zrak. Najpovoljniji je odnos kapilarnih i nekapilarnih pora 3:2 i 1:1. Za stvaranje i održavanje povoljnog poroziteta tla primjenjuju se mjere kojima se popravlja struktura tla i organska tvar u tlu. Određivanje kapilarnih pora moguće je pri određivanju vrijednosti poljskog vodnog kapaciteta. Naime, kapilarna poroznost odgovara volumenu vode pri tom stanju vlažnosti tla, a ostatak do ukupnog poroziteta čine nekapilarne ili makropore tla.

2.1.4. Zrak u tlu. Zračni je kapacitet tla količina zraka koja preostaje u tlu nakon što je ono zasićeno vodom. Tada se u kapilarnim porama nalazi voda, a zrak u ostalim porama. Prema tome, najveći zračni kapacitet imaju pješčana, srednje ilovasta, a najmanji glinenasta tla. Rahla tla stabilne strukture imaju veći zračni kapacitet nego zbijena tla, usprkos jednakom mehaničkom sastavu. Zračni se kapacitet može povećati dodatkom or-

ganskih tvari, pijeska, a novija istraživanja pokazuju da se taj kapacitet može povećati dodatkom polimera i stabilizatora strukture.

Zračni kapacitet može se promijeniti mehaničkom obradom tla, jer se tada povećava poroznost tla, pogotovu nekapilarna poroznost, a ona je mjerodavna za zračni kapacitet. Učestalim usitnjavanjem tla oruđima koja rotiraju može se smanjiti nekapilarna poroznost. To smanjuje i slabi aeraciju, smanjuje mikrobiološku aktivnost u tlu i infiltriranje vode u nj.

Ako je tlo nestabilne strukture duže vremena bilo poplavljeno, zračni kapacitet može postati vrlo malen. Upotrebom teških poljoprivrednih strojeva u nepovoljnim vremenskim prilikama smanjuje se nekapilarna poroznost zbog zbijanja tla.

Istraživanja o djelovanju aeracije na razvoj korijenja pokazuje da postoji optimalni zračni kapacitet koji ovisi o vrsti poljoprivredne kulture. Tako je, na primjer, za sudansku travu optimalni zračni kapacitet 6—10%, za pšenicu i zob 10—15%, a za ječam i šećernu repu 15—20% volumenskih udjela. Bayer i Franswort (1940) utvrdili su da šećerna repa počinje naglo propadati kad zračni kapacitet u tlu iznosi 8%. Isti su istraživači utvrdili da i malo povećanje aeracije tla mnogo povećava prinos kukuruza.

Tlo se opskrbljuje zrakom djelovanjem razlike tlakova i difuzijom zbog razlika u koncentraciji. Utvrđeno je da se difuzijom dovodi najveći dio potrebnog zraka korijenju biljaka, jer je razlika tlakova u tlu malena.

Sastav zraka u tlu mijenja se dubinom. Koncentracija kisika u zraku koji se nalazi u tlu obično je manja nego u atmosferi, dok je koncentracija ugljičnog dioksida veća. I koncentracija kisika i koncentracija ugljičnog dioksida mijenjaju se u toku godine, a ovise o sastavu organskih tvari unijetih u tlo. Povećanje koncentracije ugljičnog dioksida tumači se povećanom aktivnošću mikroorganizama pri razgradnji organskih tvari.

3. VODA

Voda ima značajnu ulogu u životu biljke i za procese u tlu. Može se s pravom reći da bez vode ne bi bilo života, a niti tla. Biljke trebaju velike količine vode za svoje životne procese kroz cijelo vrijeme. Vodu biljka osigurava iz tla putem svog korijenja. S vodom upija i otopljene hranjive tvari, tako da voda služi, osim za biokemijske funkcije, i za transport hranjivih tvari kroz biljku. U tlu voda služi za tvorbu i razgradnju minerala i organske tvari, mikrobiološke procese, odnosno za sve procese koji utječu na tvorbu tla. Tvorba u tlu uglavnom potječe od oborina. Samo u specifičnim uvjetima u rizosferu može voda dospijevati sa strane ili kapilarnim putem od podzemne vode. S obzirom na veliko značenje vode nužno je pri uzgoju poljoprivrednih kultura vršiti dobro gospodarenje vodom u tlu. U tu svrhu izuzetnu veliku korist donose povoljna svojstva tla. Dobra tekstura, a posebno dobra struktura tla i povoljna stabilnost strukturnih agregata temelj su poželjnih uvjeta za upijanje vode, potrebno njezino gibanje i, općenito, dobru opskrbu vodom u cijeloj rizosferi. Održavanjem povoljnog vodnog režima u tlu ostvareni su uvjeti koje zahtijevaju uzgajane biljke za svoje normalno funkcioniranje. Ovdje se neće ulaziti u zakonitosti vodnog režima biljke i tla, već će se razmotriti oni elementi vode tla koji su značajni za odnos biljka — tlo — voda i koje je potrebno poznavati u svrhu reguliranja vodnog režima tla primjenom hidrotehničkih melioracija i agrotehničkih zahvata.

3.1. Vrste vode u tlu

Voda se pojavljuje u više oblika. Postoji više klasifikacija po kojima se ona dijeli u manji ili veći broj grupa, odnosno naziva. Ipak, najčešće se u hidropedologiji voda tla dijeli na: kemijsku, hidroskopnu, opnenu, kapilarnu i gravitacijsku.

3.1.1. **Kemijska voda** je kemijski vezana u kristalnoj mreži minerala i spojeva u tlu, pa je nekorisna za kulturne biljke.

3.1.2. **Higroskopnu vodu** također biljke ne mogu koristiti. Molekule vode su čvrsto vezane za čestice tla molekularnim silama koje iznose od 3 MPa pa do preko 500 MPa. Ova voda nije pokretna, a može se osloboditi iz tla tek zagrijavanjem do 105°C. Zbog toga higroskopska voda nema značenja za praktično reguliranje vodnog režima u tlu primjenom melioracijskih mjera.

3.1.3. **Opnena voda** obavija čestice tla u obliku tanje ili deblje opne. Sila, kojom čestice tla privlače i drže vodu, slabi s povećanjem debljine vodene opne. Na mjestu prijelaza higroskopne vode u opnenu njezina sila držanja je oko 3 MPa, a na periferiji opne sila držanja iznosi 0,3—0,4 MPa. Prema tome, ova voda je samo djelomično korisna za biljke. Opnena voda se vrlo sporo giba od čestice s debljom prema čestici s tanjom opnom djelovanjem adsorpcijskih sila. Količina opnene vode ovisi o fizikalnim svojstvima tla. U pjeskovitim tlama može volumni udio iznositi do 4%, u ilovastim do 10%, u glinastim i do 20%. Ako se količina vode u tlu povećava iznad količine opnene vode, ne povećavaju se opne oko čestica tla, nego ta slabije vezana voda popunjava pore u tlu.

3.1.4. **Kapilarna voda** drži se u kapilarnim porama silama površinske napetosti. Ta se voda giba u svim smjerovima. U sitnijim porama može doseći veću daljinu, a brzina gibanja je veća u krupnijim porama. Kapilarna se voda u tlu drži silama koje odgovaraju tlaku od oko 0,03 MPa pa do oko 0,6 MPa. To je razlog da biljke mogu lako koristiti ovu vodu. Zbog toga je kapilarna voda najkorisnija za uzgoj biljaka.

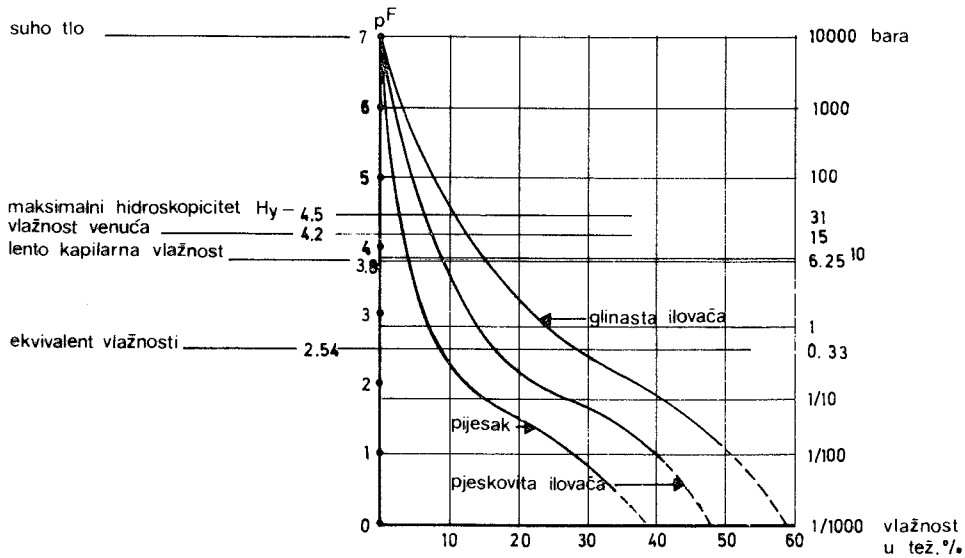
3.1.5. **Gravitacijska ili cijedna voda** je slobodna voda koja se ne zadržava u tlu. Ta se voda giba kroz krupne, nekapilarne pore pod utjecajem sile teže. Pojavljuje se nakon obilnijih oborina i prekomjernog vlaženja tla navodnjavanjem. Biljke je mogu koristiti samo dok je na prolazu kroz rizosferu. Ako ova voda pri cijedenju kroz tlo nailazi na slabije propustan sloj, nastaje suvišna stagnirajuća voda. Ukoliko naiđe na nepropustan sloj tla, formira se podzemna voda koja češće šteti nego koristi biljkama.

Na temelju prikazanih vrsta voda u tlu može se uočiti da se voda u tlu nalazi u dva agregatna stanja (plinovito i tekuće). Međutim, voda se javlja u tlu i u obliku leda. U našim klimatskim uvjetima ne nalazi se dublje od 50 cm. Najlakše se smrzava gravitacijska voda, pa kapilarna i opnena, a znatno teže higroskopna voda.

Posebno je teško odrediti granicu između higroskopne i opnene vode, te opnene i kapilarne vode. Te granice nisu fizički oštre, pa i energija kojom se voda drži u tlu ne može biti precizno razgraničena.

3.2. Osnova energetskog odnosa tla i vode

Svako tlo je sposobno da prima i propušta, odnosno da zadrži određenu količinu vode. Količina i vrsta vode koje su prisutne u tlu ovise u svakom trenutku o više faktora. Tlo u prirodi nije nikada apsolutno suho. U najgorem slučaju, u tlu se može nalaziti bar jedan dio higroskopne vode, odnosno bar stanovita količina vode u obliku vodene pare, a najčešće je prisutna i voda u tekućem obliku. Najveća količina vode koju tlo može primiti odgovara vrijednosti njegovih ukupnih pora. Energija kojom se voda drži u tlu je u uskoj vezi s prisutnom količinom vode. Energija držanja vode povećava se smanjenjem količine vode u tlu (slika 5). Sila privlačenja vode



Sl. 5. — Energetski odnos tla i vode

od strane tla izražava se u centimetrima vodenog stupca. Zapravo, težina vodenog stupca odgovara snagama kojima tlo drži vodu. Sila držanja vode može se izraziti i u barima negativnog tlaka (stupac vode od 1000 cm vode odgovara aproksimativnom tlaku od 1 bara). Uz to koristi se i Scofieldov pF broj koji je u stvari logaritam stupca izraženog u centimetrima. A nakon primjene mjernih jedinica SI upotrebljava se jedinica paskal (Pa). Vodenom stupcu od 1 cm odgovara tlak oko 100 Pa.

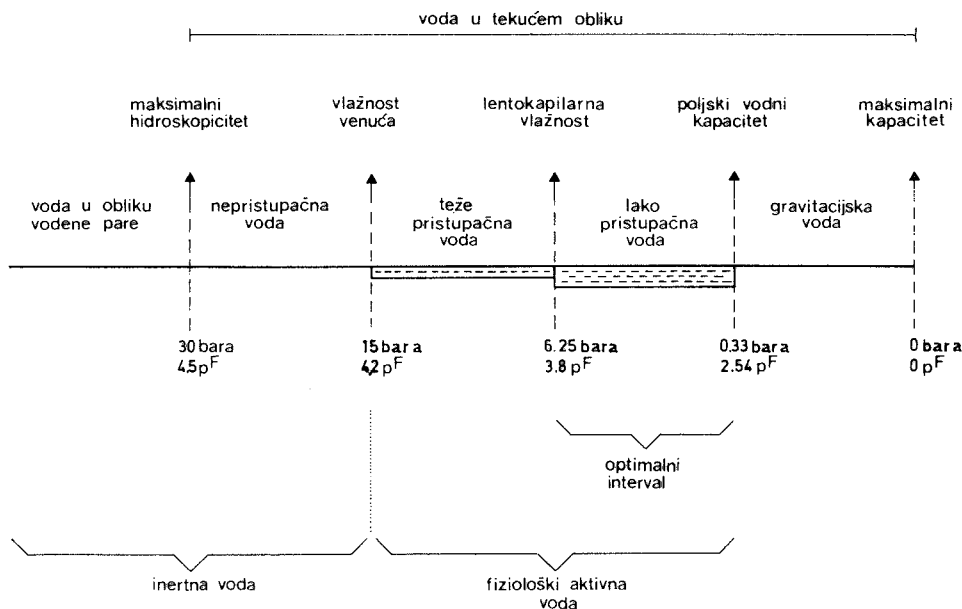
Prvi sloj vode, koji čestice tla prihvaćaju u obliku vodene pare, veže se silom koja odgovara tlaku čak do 10.000 bara, odnosno 1000 MPa, ili pF broju 7. Svaki daljnji sloj molekula vode koje tlo prima drži se slabijim silama.

Pri kontaktu suhog tla sa zrakom koji je zasićen vodenom parom, tlo prihvaća maksimalnu količinu higroskopne vode silama koje odgovaraju 30 bara ili 3,0 MPa, odnosno 4,5 pF.

Nakon toga tlo prima vodu u tekućem obliku (opnena, kapilarna) tako da se povećanjem količine vode smanjuju sile njezina držanja za tlo. Najveću količinu vode tlo je primilo kada su popunjene kapilarne i nekapilarne pore, a sile držanja vode u tom trenutku u stvari ne postoje, te se gravitacijska voda procjeđuje u tlo pod utjecajem sile teže.

3.3. Vodne konstante tla

Vodna konstanta predstavlja sadržaj vode u tlu pod određenim uvjetima čija se količina može odrediti. U razmatranju vodnih konstanti značajno je poznavati vrste vode i pojave vezane za njihovo zadržavanje i gibanje u tlu. Vrijednost vodnih konstanti ovisi o fizikalnim i kemijskim svojstvima tla, kao i o primjeni agrotehničkih mjera. S obzirom na to da su mnoga svojstva tla promjenljiva, to čini dinamičnim i vodne konstante. Za reguliranje vodnog režima u tlu najvažnije su vodne konstante: vlažnost venuća, lentokapilarna vlažnost, poljski vodni kapacitet i maksimalni kapacitet tla za vodu. Između ovih vodnih konstanti nema oštarih granica. One se međusobno preklapaju, jer konstanta s većom kvantitativnom vrijednosti sadrži u sebi ostale koje su manjih vrijednosti (slike 5 i 6).



Sl. 6. — Oblici vode u tlu i odnos vodnih konstanti

3.3.1. Vlažnost venuća je količina vode u tlu uz koju biljka počinje venuti. To su prilike kada korijenje u tlu nema na raspolaganju dovoljno vode za održavanje fizioloških procesa (slika 6). Korijen biljke ima usisnu moć od oko 1,5 MPa, odnosno 15 bara (4,2 pF), pa, kad sila zadržavanja vode u tlu dostigne tu vrijednost, biljka počinje venuti. Vlažnost tla mora se tako održavati da se količina vode u tlu nikada ne spusti na vlaž-

nost venuća. Takvo stanje, naime, vrlo nepovoljno djeluje na prinose, pa čak, ako vlažnost ostane i kraće vrijeme na toj granici, biljka može uginuti. Vlažnost venuća ovisi o vrsti tla, odnosno strukturi agregata u tlu. Više vrsta biljaka vene na tlu od finog pijeska ako je sadržaj vode manji od 2,7 do 3,5%, na tlu od pjeskovite ilovače kad je sadržaj vode manji od 5,6 do 6,9%, a na tlu od glinaste ilovače kad je sadržaj vode manji od 13,0 do 16,6% volumnog udjela. Razlikuje se početna i trajna vlažnost venuća. Ako se pojavi početna vlažnost venuća, biljka će se oporaviti nakon što se stavi u prostor ispunjen zrakom zasićenim vodenom parom. Ako ni tada ne nastanu znaci venuća, bila je dostignuta trajna vlažnost venuća tla. Takvi pokusi omogućuju određivanje početne i trajne vlažnosti venuća. U tu svrhu najčešće se upotrebljavaju ječam i suncokret kao eksperimentalne biljke. Vlažnost venuća može se odrediti i s pomoću uzorka tla zasićenog vodom. Uzorak se održava u »pressure membrane« aparatu pod tlakom od 1,5 MPa u toku 48 sati, a količina vode koja ostaje u uzorku odgovara vlažnosti venuća.

3.3.2. **Lentokapilarna vlažnost** je količina vode koju tlo drži silom što odgovara tlaku od 0,625 MPa ili 6,25 bara (pF 3,8). Tada se voda u tlu giba vrlo sporo, i ona ne osigurava dovoljnu količinu vode potrebnu biljkama. Prema tome, lentokapilarna vlažnost je granica količine vode kad se ona teže i lako giba u tlu, odnosno granica između vezane vode i vode koja se slobodno giba (slika 6). Ta vodna konstanta iznosi 60—70% vrijednosti konstante koja je nazvana poljskim vodnim kapacitetom tla. Ona je važna za navodnjavanje, jer se uzima da je donja granica optimalne vlažnosti, pa je mjera za određivanje početka navodnjavanja. Lentokapilarnu vlažnost je najpraktičnije odrediti u laboratoriju, gdje se vlažni uzorak tla u »pressure membrane« podvrgava tlaku od 0,625 MPa, a preostala količina vode u uzorku odgovara lentokapilarnoj vlažnosti.

3.3.3. **Poljski vodni kapacitet** je količina vode koju tlo u prirodnim uvjetima, nakon obilnog vlaženja i poslije gravitacijskog procjeđivanja, može maksimalno zadržati. Kad je dostignuta vrijednost poljskog vodnog kapaciteta, voda se više ne procjeđuje kroz tlo. Smatra se da je poljski vodni kapacitet gornja granica optimalne vlažnosti, pa ga treba odrediti za svako tlo koje je meliorirano (slika 6). Naziv poljski uveden je zbog toga jer se vodni kapacitet određuje u uvjetima na polju. Obično se ispituje na parceli 1,5 × 1,5 ili 2,0 × 2,0 m. Tlo se na parceli zasiti vodom, a zatim se prekrije slamom da se spriječi ishlapljivanje. Nakon toga se nekoliko dana (1—10 dana) uzimaju uzorci tla po slojevima. Kada se ustanovi da se vlažnost ustalila, ta se vrijednost vlažnosti uzima kao poljski vodni kapacitet. Budući da određivanje u polju traži više vremena i posla, u laboratoriju se određuju njegove alternativne vrijednosti. Najčešće se određuje kao »retencioni kapacitet« i pod tlakom od 0,033 MPa ili 0,33 bara u aparatu »porous plate«. Vrijednost te konstante ovisi o svojstvima tla. Za lakša tla (pjeskovito tlo) iznosi 10—20%, za srednje teška tla 20—30%, za teže ilovače i glinovita tla 30—40% volumnog udjela.

3.3.4. **Maksimalni vodni kapacitet** je maksimalna količina vode koju tlo može primiti, ali je ne može zadržati. U trenutku kada je tlo primilo maksimalnu količinu vode, sve su pore ispunjene vodom. Takvo je stanje tla vrlo nepovoljno za uzgoj biljaka, jer je voda istisnula zrak iz pora, a zrak je za život biljaka isto toliko važan kao i voda. Kad je po-

stignut maksimalan vodni kapacitet, dio vode je slobodan, pa se cijedi djelovanjem gravitacije. Tada se neke od pora oslobađaju od vode, pa u njima ulazi zrak, što opet omogućuje normalne procese u tlu i za biljku.

3.4. Gibanje vode u tlu

Gibanje vode u tlu ovisi o agregatnom stanju vode, o količini vode u tlu i silama koje uzrokuju to gibanje. Voda u tlu se može gibati u svim smjerovima, descendentno, ascendentno i lateralno. Ovo razmatranje o gibanju vode u tlu odnosit će se samo na vodu u tekućem agregatnom stanju jer je taj oblik jedino značajan za reguliranje vode melioracijskim mjerama. Prilikom prirodnog vlaženja oborina i navodnjavanjem voda se giba prema dolje, descendentno, a prema gore ascendentno kada se tlo suši ili vlaži kapilarnim putem od podzemne vode. Osim toga, voda se može gibati i u ostalim smjerovima, lateralno, već prema djelovanju kapilarnih sila. Vlaga se u tlu giba od vlažnije zone (manjeg napona vlažnosti) prema manje vlažnoj zoni (većeg napona vlažnosti). Gibanje vode u tlu uglavnom uzrokuju kapilarne sile, sile gravitacije, te hidrostatski tlak.

U svrhu pravilnog reguliranja vodo-zračnog režima u tlu vrijedno je poznavati osnove kapilarnog gibanja, infiltracije i filtracije, jer su to osnovni oblici gibanja vode u tlu.

3.4.1. Kapilarno gibanje vode uzrokovano je razlikom napona vlažnosti tla. Takvo širenje vode od vlažnije zone prema manje vlažnoj zoni odvija se uglavnom u kapilarnim porama tla. Prema tome, kapilarno gibanje vode ovisi o fizikalnim svojstvima tla. Osim toga, ovisi i o kemijskim svojstvima tla (količini organske tvari, soli) kao i o temperaturi tla.

Pored sila kohezije i adhezije, na kapilarno gibanje utječe i sila gravitacije. Pri descendentnom gibanju gravitacija utječe pozitivno, ali pri ascendentnom gibanju, sila gravitacije se suprotstavlja i usporava ili smanjuje takvo gibanje vode. Samo pri horizontalnom kapilarnom gibanju sila gravitacije je neutralna.

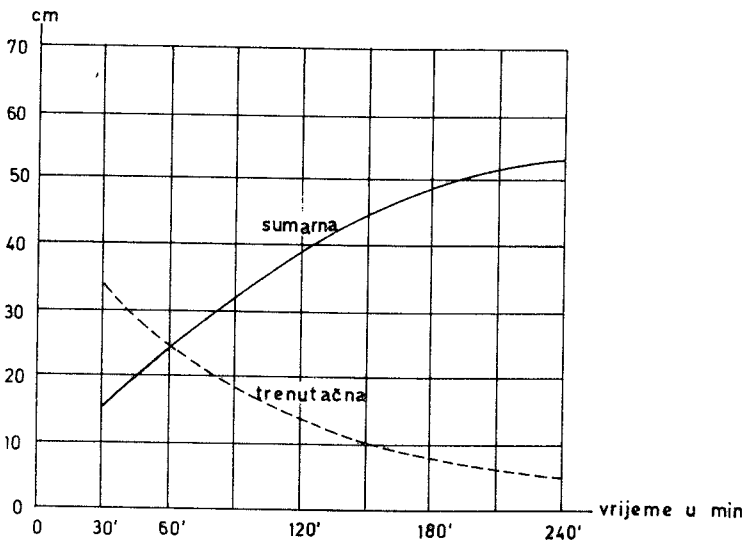
Poznavajući kapilarno gibanje vode za konkretno tlo, mogu se, pri reguliranju vodnog režima, postići veći efekti i veća rentabilnost u primjeni melioracijskih mjera (navodnjavanje). Tako se može prekidom kapilarne veze smanjiti gubitak vode ishlapljivanjem, primjenom pravovremene i pravilne obrade površinskog sloja tla. Visina kapilarnog gibanja u ascendentnom smjeru ovisi prvenstveno o mehaničkom sastavu tla. Što je granulacija tla većeg promjera (pjeskovita tla) i brzina kapilarnog dizanja vode je veća, ali ne i visina do koje se voda dignu. Dakle, brzina dizanja vode je upravno, a visina dizanja obrnuto proporcionalna veličina čestica tla.

VISINA KAPILARNOG DIZANJA VODE IZNOSI ORIJENTACIJSKI

Vrste tla	Kapilarno dizanje vode u m
Laka tla	0,02— 0,35
Srednje teška tla	1,20— 3,50
Teža tla	6,50—12,00

Prema tome, u pjeskovitim tlima kapilarno dizanje vode je neznatno prema dizanju u glinastu tlu.

3.4.2. Infiltracija. Infiltracija je proces upijanja vode u tlo. Poznavanje infiltracije vrlo je važno za reguliranje vode u tlu, jer o vrijednosti infiltracije ovisi da li je tlo uopće pogodno za navodnjavanje, a, osim toga, ona utječe na izbor načina navodnjavanja. Infiltracijom se tlo vlaži od površine prema dubljim slojevima djelovanjem gravitacije, kapilarnih sila i hidrostatskog tlaka (postoji samo dok voda leži na površini tla). U početku upijanja djeluju najveće kapilarne sile, pa je i infiltracija najveća. Međutim, nakon nekog vremena zasiti se određeni sloj tla vodom, pa kapilarne sile postaju manje ili potpuno nestanu. Tada ostaje djelovati samo gravitacija i, eventualno, hidrostatski tlak. U tom času infiltracija se smanjuje i postane stalna veličina. Takvo stalno ujednačeno gibanje vode kroz tlo naziva se filtracijom. Intenzivnost infiltracije ovisi o više faktora. Prvenstveno ovise o fizikalnim i kemijskim svojstvima tala (mehaničkom sastavu, strukturi, porozitetu, stanja vlažnosti, količini organske tvari i soli). Ako tlo ima krupnije čestice, bolju strukturu, veći ukupni porozitet, manju količinu vode, više organske tvari, više kalcijevih a manje natrijevih soli, bit će veća infiltracija. Osim toga, bolja obrada tla, manji nagib, biljni pokrivač, viša temperatura tla i vode, također povećavaju upijanje vode u tlo. Ovo je dokaz da se infiltracija mijenja tokom godine, tj. da je dinamična veličina, a dobivene njezine vrijednosti, pri mjerenju, predstavljaju trenutačno stanje upijene vode od strane tla. Infiltracija može biti »trenutačna« (izražava količinu vode koja se upija u jedinici vremena, obično u cm/ha) i »sumarna« (količina vode u cm koja se upija kroz određeno vrijeme), (slika 7).



Sl. 7. — Infiltracija u lakšem tlu

Intenzivnost infiltracije izračunava se iz relacije

$$W_t = W_1 \cdot t^{1-d}$$

- W_t — sloj vode u cm koji se upije u vremenu t
 W^1 — sloj vode u cm koji se upije u prvom satu mjerenja
 d — koeficijent stupnja infiltracije
 t — vrijednost u satima

Vrijednost koeficijenta stupnja infiltracije (d) ovisi o svojstvima tla. Za poljoprivredna tla iznosi 0,3—0,8 a određuje se matematičkom interpolacijom i grafičkim putem na osnovi eksperimentalnih vrijednosti. Vučić (1976) odredio je da njegova vrijednost za černoziem lesne terase u Vojvodini, iznosi oko 0,55 a za livadske crnice oko 0,4. Određivanje infiltracije može se vršiti s pomoću više metoda. Za praktične svrhe u melioracijama najviše se koristi terensko mjerenje infiltrimetrima. Oni mogu biti tehnički različito izvedeni. Najčešće su to dva cilindra ili kvadratna okvira različitog promjera koji se jednim dijelom utisnu u tlo. Održavajući vodu u cilindrima ili okvirima (nadolijevajući do određene visine) dobiju se vrijednosti upijene vode u cm/određeno vrijeme. Mjerenje se vrši najčešće kroz četiri sata. Vrijednost infiltracije u četvrtom satu može predstavljati maksimalno dozvoljeni intenzitet kišenja pri navodnjavanju. Uzima se da tlo nije pogodno za navodnjavanje ako je upijanje vode manje od 0,25 cm/ha. Inače, maksimalna infiltracija je u početku upijanja vode a minimalna se pojavljuje nakon nekog vremena (najčešće 3—5 sati — ovisno o tlu) i prelazi u filtraciju. Prema Čerkosovu (1952) infiltracija u prvom satu iznosi: u težim tlima 1—7 cm, srednje teškim 7—15, a u lakim tlima više od 15 cm.

3.4.3. Filtracija. Filtracija je gibanje vode kroz tlo djelovanjem sile gravitacije i eventualno hidrostatskog tlaka. Filtracija nastupa nakon završene infiltracije, a to je vrijeme kad se mikropore i kapilarne pore tla zasite vodom, odnosno kad kapilarne sile prestanu djelovati na gibanje vode. Pri filtraciji voda se uglavnom kreće kroz makropore. Filtracija (identično značenje imaju termini: brzina vodoprovodljivosti, propusnost tla za vodu, koeficijent filtracije, vodopropusnost tla) ovisi o braju, oblicima i rasporedu makropora u tlu, kao i o svim onim faktorima o kojima ovisi infiltracija. U pjeskovitim tlima filtracija može biti veća od očekivane, pa ako se ne pazi na vrijeme navodnjavanja, može doći do nepoželjnih posljedica. Naime, osim gubitka vode koja se ocijedi, dolazi i do ispiranja hranjivih tvari iz površinskog sloja (rizosfere). Suprotno tome, u težim tlima infiltracija je vrlo malena. To treba uzimati u obzir pri određivanju intenziteta dodavanja vode tlu, odvodnji i pri ocjeni gubitaka vode iz dovodnih kanala.

Filtracija se može odrediti na više načina, a najčešće u laboratoriju na principu Darcyava aparata i na terenu metodom bušotine ili Auger Hole metodom.

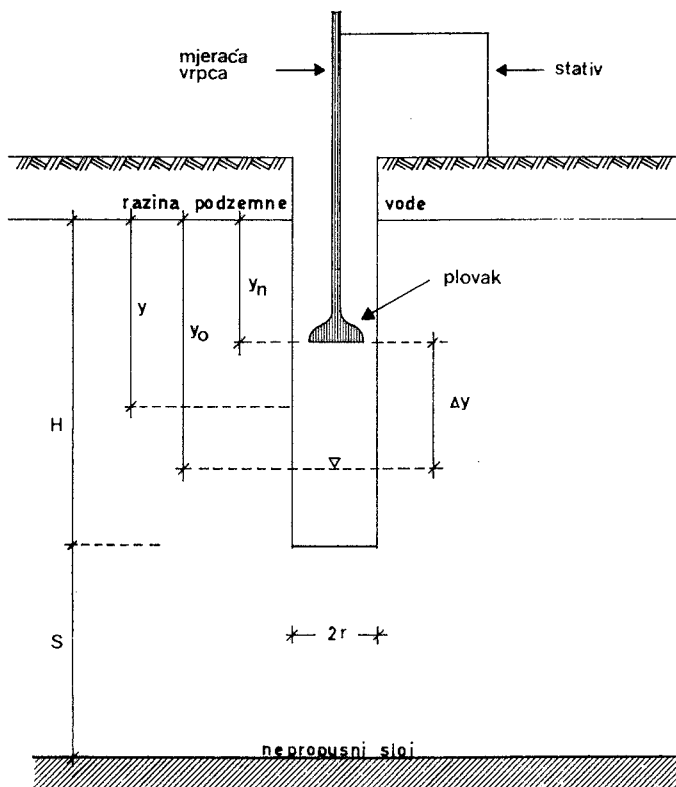
Za određivanje u laboratoriju koristi se stalan ili promjenjiv tlak vode. Upotrebljavajući konstantan tlak vode određuje se filtracija u prirodno uzetom uzorku tla, koristeći formulu:

$$k = \frac{Q \cdot L}{h \cdot F \cdot t}$$

- k — filtracija u cm/sec
 Q — količina filtrirane vode u cm^3
 L — visina uzorka tla (cilindra) u cm
 h — visina vodenog stupca (konstantan tlak) u cm

F — površina presjeka uzorka tla (cilindra) u cm²

t — vrijeme mjerenja u sec.



Sl. 8. — Mjerenje filtracije Auger Hole metodom

Metoda bušotine (Auger-Hole) upotrebljava se za mjerenje filtracije u slojevima ispod razine podzemne vode (slika 8), a oblik formule koji se upotrebljava za računanje njezine vrijednosti ovisi o uvjetima u kojima se vrši mjerenje. Evo formule:

$$k = \frac{4000 r}{(H - 20 r) \cdot \left(2 - \frac{Y}{H}\right)} \cdot \frac{r}{y} \cdot \frac{\Delta y}{\Delta t}$$

k — filtracija u m/dan

H — dubina bušotine ispod razine podzemne vode u cm

r — polumjer bušotine u cm

y — $\frac{y_0 - y_n}{2}$, tj. srednja dubina plovka u intervalu vremena t, u cm

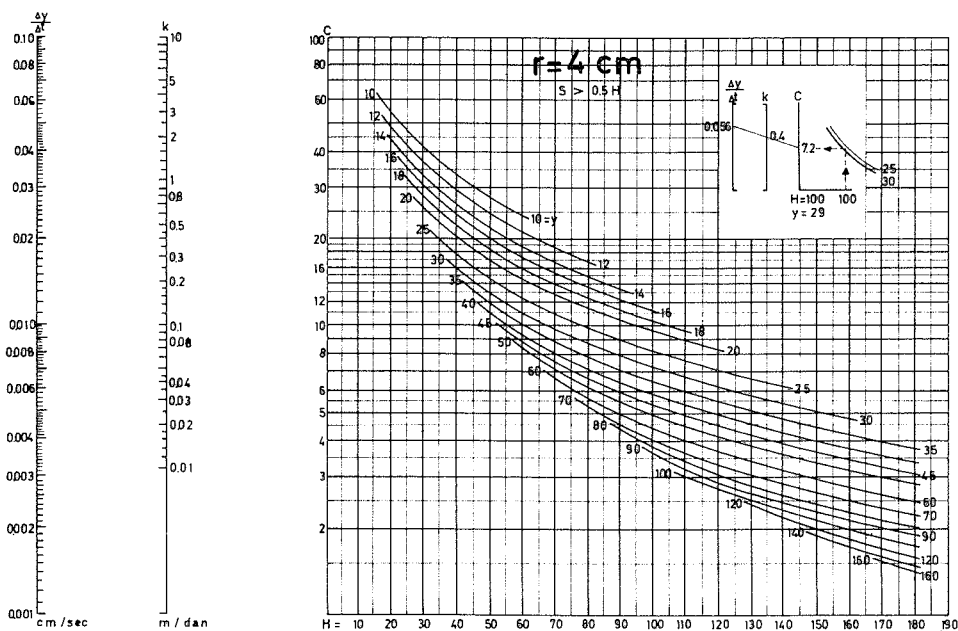
Δy $y_0 - y_n$, razlika između prvog i zadnjeg očitavanja u cm
 Δt interval vremena između prvog i zadnjeg očitavanja u sec
 S dubina nepropusnog sloja ispod dna bušotine u cm.
 Ovaj oblik formule se upotrebljava u slijedećim uvjetima:

$$\begin{aligned} 3 \text{ cm} < r < 7 \text{ cm} \\ 20 \text{ cm} < H < 200 \text{ cm} \\ y > 0,2 H \\ y \leq \frac{1}{4} y_0 \\ S \geq \frac{1}{2} H \end{aligned}$$

Ako je $S = 0$, tj. dubina bušotine jednaka dubini nepropusnog sloja ,u tom se slučaju upotrebljava formula:

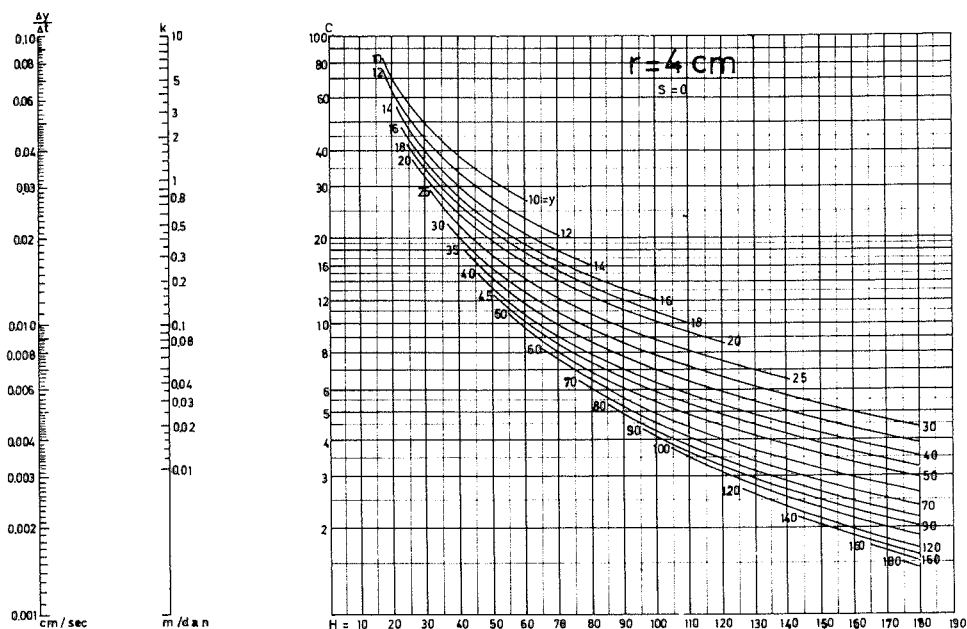
$$k = \frac{3600 r}{(H - 10 r) \cdot \left(2 - \frac{Y}{H}\right)} \cdot \frac{r}{y} \cdot \frac{\Delta y}{\Delta t}$$

Za praktične svrhe može se koeficijent filtracije odrediti i s pomoću nomograma. Jedan oblik nomograma prikazan je na slici 9, a drugi na slici 10.



Sl. 9. — Nomogram za određivanje koeficijenta filtracije (k)

Princip mjerenja filtracije u slojevitu tlu prikazan je na slici 11. S tim da se vrijednost k_1 određuje na temelju podataka iz pliće bušotine i nomograma na slici 9 ($S \geq \frac{1}{2} H$). Vrijednost k_2 se određuje iz elemenata dublje bu-



Sl. 10. — Nomogram za određivanje koeficijenta filtracije (k)

šotine i, u ovom slučaju, nomograma na slici 10 ($S = 0$). Naime, općenito treba reći da korištenje nomograma za dublju bušotinu ovisi o položaju nepropusnog sloja. Ako nema podzemne vode u bušotini, filtracija se može odrediti inverznim postupkom, tj. s pomoću nalijevanja vode u bušotinu, slika 12. U ovom slučaju koeficijent filtracije se računa po formuli:

$$k = \frac{1,15 r}{\Delta t} \left[\log \left(h + \frac{r}{2} \right) - \log \left(h_1 + \frac{r}{2} \right) \right]$$

gdje je:

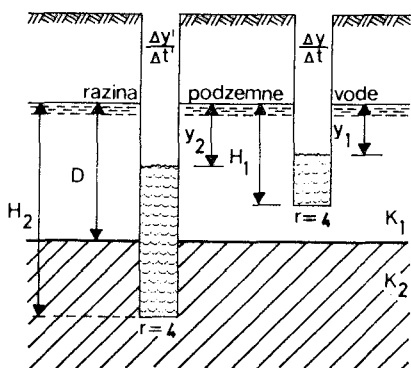
k — filtracija u cm/sec

r — polujer bušotine u cm

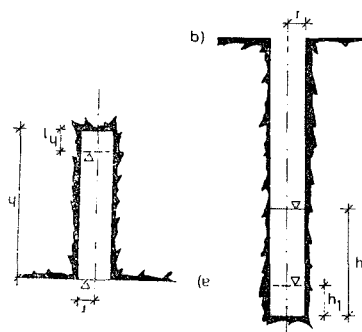
h i h_1 — visina vode u bušotini na početku i kraju mjerenja u cm

t — vanjski interval mjerenja u sec.

Vrijednost filtracije jedan je od osnovnih elemenata u melioracijama. Posebno je važna za reguliranje suvišnih voda u tlu, odnosno za određivanje rješenja i normativa odvodnje. Postoji više klasifikacija filtracije, ali se najčešće primjenjuje po O'Nealu, pa je stoga navodimo (tablica 1).



Sl. 11. — Mjerenje filtracije u slojevitom tlu



Sl. 12. — Mjerenje filtracije nalijevanjem vode u bušotinu
a) u površinskom sloju
b) za slojevita tla (u dubljim slojevima)

Tablica 1.

FILTRACIJA PO O'NEALU

Klasa filtracije ili propusnosti tla za vodu	Filtracija (k)	
	10^{-5} cm/sec	m/dan
vrlo mala	3	0,026
mala	3— 15	0,026—0,13
umjereno mala	15— 60	0,13 —0,52
umjerena	60—170	0,52 —1,42
umjereno brza	170—350	1,42 —3,0
brza	350—700	3,0 —6,0
vrlo brza	700	6,0

4. INTERVAL VLAŽNOSTI TLA PRI UZGOJU POLJOPRIVREDNIH KULTURA

Poznato je da je pristupačna voda u tlu ona voda koja pripada intervalu između poljskog vodnog kapaciteta i vlažnosti trajnog venuća. Međutim, u praksi biljne proizvodnje vrlo je važno pitanje da li ima razlika u prisvajanju vode od strane biljaka dok se vlažnost tla nalazi između navedenih vodnih konstanti i koja je vlažnost tla unutar tog intervala optimalna. Mišljenje Veihmeyera i Hendricksona da je voda tla u spomenutom intervalu jednako pristupačna biljkama, potpuno je pobijeno većim brojem novijih istraživanja. Ova se istraživanja temelje na tvrdnji da se sila držanja vode u tlu povećava što se tlo više suši, pa će biljka trošiti sve više energije za apsorpiranje vode što se stanje vlažnost tla više približava točki stalnog ve-

nuća (Vukašinić, 1960. i Vučić, 1964). Ovom spoznajom nastala je potreba da se riješi pitanje graničnih vrijednosti optimalnog intervala vlažnosti tla. Za primjenu melioracijskih mjera posebno je važno poznavati donju granicu optimalne vlažnosti. Veći broj istraživača, prilikom razmatranja ovog problema, ima različita mišljenja. Tako po Furru i Reeveu (cit. po Vučiću, 1964) donja granica optimalne vlažnosti ili »first permanent wilting point« odgovara 50—60% od poljskog vodnog kapaciteta. Po Rodeu (1955) ova vrijednost je »vlagih zamedlenija rasta«, a po Abromovoj (cit. prema Rodeu, 1960) »vlažnosti razriva kapilarnoj svjazi« i predstavlja vlažnost 60—70% od vrijednosti poljskog vodnog kapaciteta. Windtsoe i McLihlin (cit. po Izraelsenu, 1955) navode da je ova vrijednost nešto veća od »lento capillary moisture«. Mišljenje Vučića (1964) jest da početak navodnjavanja treba uslijediti kod vlažnosti 60—70% od poljskog vodnog kapaciteta. Identično mišljenje ima i Vukašinić (1964) za normalna tla, a za zaslanjena tla 70—80% PVK, što, u stvari, odgovara lentokapilarnoj točki, odnosno točki prekida kapilarne veze. Navodi Stojičevića (1964) znatno se razlikuju od navedenih. Po njemu donja bi granica optimalne vlažnosti odgovarala količini vode koju tlo drži kapilarnim silama u iznosu od jednog bara. U vezi s gornjom granicom optimalne vlažnosti tla mišljenja istraživača znatno su ujednačenija. Po Rodeu (1960) ova vrijednost odgovara poljskom vodnom kapacitetu koji je određen nakon prvog dana, uz uvjet da je niski vodostaj podzemne vode. Ovakvo mišljenje zastupa i Vučić (1964). Neugebauer (1960) iznosi da se gornja granica optimalne vlažnosti nalazi, u dobro areiranim tlima, nešto iznad poljskog vodnog kapaciteta. Također i Vukašinić (1964) razmatra ovu vrijednost u odnosu na svojstva tla. Za laka i srednje teška tla gornja granica odgovara poljskom vodnom kapacitetu, međutim, u teškim tlima mora biti nešto ispod poljskog kapaciteta, jer treba osigurati potreban kapacitet za zrak. Iz ovoga kratkog prikaza mišljenja o optimalnom intervalu vlažnosti tla, odnosno o njegovim graničnim vrijednostima, može se vidjeti da ovaj problem još uvijek, iako dosta razmatran, nije do kraja istražen. Potreba da se određenje zna o intervalu optimalne vlažnosti tla još je veća zato što biljna proizvodnja sve više zahtijeva suvremeniju i precizniju tehnologiju, koja, između ostalih faktora, u znatnoj mjeri ovisi i o pravilnu reguliranju vode u tlu. Stoga su istraživanja ove naravi i dalje neophodna, pa želimo iznijeti rezultate i naših nekih istraživanja toga problema.

4.1. Rezultati vlastitih istraživanja

Osnovni cilj ovih istraživanja bio je da se odredi kako određeni intervali vlažnosti tla utječu na prinos kultura koje su uzgojene u različitim uvjetima. Tako smo u poljskim uvjetima, na osnovi pokusa sa stočnim keljom, ispitali utjecaj prisutnosti različite količine vode u tlu na prinos ukupne zelene mase (tabela 2).

Tabela 2.

PRINOS UKUPNE ZELENE MASE STOČNOG KELJA U KG/10 m²

Interval vlažnosti tla	Prosječni prinos	Izračnati t	Tablični t
100—80% PVK	59,94	7,27	0,20
100—60% PVK	55,33	6,07	0,39
100—40% PVK standard	49,75	1,19	29,70

Rezultati dokazuju da su prinosi ukupne zelene mase stočnog kelja izrazito veći s intervalom vlažnosti 100—80% PVK i 100—60% PVK, u odnosu na varijante s intervalom vlažnosti 100—40% PVK i standard. Varijanta na kojoj je održavana vlažnost tla u intervalu 100—80% PVK signifikantna je u odnosu na onu s intervalom vlažnosti 100—60% PVK. U uvjetima zatvorenog prostora vršena su istraživanja intervala vlažnosti tla pri uzgoju karanfila i gerbera. Utjecaj određenih intervala može se vidjeti u tabelama 3, 4. i 5, gdje su iznijeti prinosi ovih kultura.

Tabela 3.
BROJ UBRANIH CVJETOVA KARANFILA U STAKLENIKU
NA POVRŠINI 2,62 m²

Vremensko razdoblje	Interval vlažnosti tla				LSD	
	100— —90% PVK	100— —75% PVK	100— —60% PVK	100— —45% PVK	5%	1%
Prva god. vegetacije	524,92	574,58	497,00	458,83	61,09	87,85
Druga god. vegetacije	651,25	673,92	556,17	517,50	61,15	87,95
Ukupno* vrijeme berbe	1.311,08	1.393,80	1.155,50	1.062,42	132,08	189,93

* Ovdje je uvrštena berba cvjetova, osim iz navedenih dvaju intervala, još i cvjetovi ubrani u posljednja dva mjeseca vegetacije.

Iz tabele 3. vidljivo je da je varijanta s intervalom vlažnosti tla 100—75% PVK dala najbolje rezultate. U sva tri vremenska razdoblja ovaj je interval vlažnosti visoko signifikantan u odnosu na interval 100—45% PVK, a u odnosu na interval 100—60% PVK u dva je slučaja visoko signifikantan, dok je u jednom vremenskom razdoblju signifikantan. Broj cvjetova ostvaren pri održavanju vlažnosti tla u intervalu 100—90% PVK također je statistički opravdan, u sva tri razdoblja, u odnosu na interval vlažnosti 100—45% PVK, a u dva slučaja u odnosu na interval 100—60% PVK.

Ni u jednom vremenskom razdoblju nije se pojavila statistička opravdanost između intervala vlažnosti 100—60% PVK i 100—45% PVK, kao ni između intervala 100—90% PVK i 100—75% PVK.

Tabela 4.
BROJ UBRANIH CVJETOVA KARANFILA U STAKLENIKU
NA POVRŠINI 6 m²

	Interval vlažnosti tla		LSD	
	100— —80% PVK	100— —60% PVK	5%	1%
Broj ubranih cvjetova u prvom mjesecu berbe	676	414	72,45	94,32

Iako se rezultati iz tabele 4. odnose samo na prvi mjesec dana berbe cvjetova karanfila, ipak mogu poslužiti za uočavanje izrazito boljeg utjecaja intervala vlažnosti 100—80% PVK u odnosu na održavanje vlažnosti u intervalu 100—60% PVK pri uzgoju karanfila u zatvorenom prostoru.

Tabela 5.

PRINOS CVJETOVA GERBERA U STAKLENIKU
NA POVRŠINI 9 m²

	Interval vlažnosti tla		LSD	
	100— —80% PVK	100— —60% PVK	5%	1%
Broj ubranih cvjetova u prvi tri mjeseca berbe	257	226	19,24	28,02

Rezultati berbe cvjetova gerbera, u prva tri mjeseca, određeno dokazuju da se pri održavanju vlažnosti tla u intervalu 100—80% PVK dobije znatno veći broj cvjetova u odnosu na interval 100—60% PVK. Pored navedenih istraživanja u poljskim uvjetima i zatvorenom prostoru, u svrhu određivanja povoljnosti intervala vlažnosti tla, postavljen je i model pokus u vegetacijskim posudama s ozimom pšenicom, tabela 6.

Tabela 6.

PRINOS OZIME PŠENICE
PO VEGETACIJSKOJ POSUDI U gr.

	Interval vlažnosti tla u barima			LSD	
	0,33—1,00	0,33—6,25	0,33—15,00	5%	1%
Prinos zrna	24,00	19,97	21,63	1,76	2,41

Iz rezultata se vidi da se pri intervalu vlažnosti tla 0,33—1,00 bara postigao statistički opravdan veći prinos u odnosu na održavanje vlažnosti tla u ostala dva intervala vlažnosti. Razlika u prinosu između drugog i trećeg intervala nije signifikantna. Za model pokus, umjesto poljskog kapaciteta, korištena je vrijednost određena nakon tlaka od 0,33 bara. Iako se ova vrijednost ne može poistovjetiti s poljskim vodnim kapacitetom, ipak se često u praksi, radi jednostavnijeg određivanja, koristi kao njegova alternativna vrijednost. Kako je ovaj pokus bio u vegetacijskim posudama s prilično narušenim tlom, bilo je normalno, za gornju granicu intervala vlažnosti, uzeti ovu vrijednost. Prema tome, i u ovom pokusu bila je različita dinamika vlažnosti tla na pojedinim varijantama analogno donjim granicama njihovih intervala vlažnosti.

Problem optimalne vlažnosti tla, mora se reći, još uvijek je diskutabilan. Mišljenja Čerkasova (1950) jest da optimalna vlažnost tla ovisi o više fak-

tora (tlu, kulturi, klimi, agrotehnici, gnojidbi i ciljevima proizvodnje), te da se njena vrijednost orijentacijski nalazi oko sredine između koeficijenta venaća i 85—90% vrijednosti od apsolutnog kapaciteta tla za vodu. Slično ovom mišljenju su i navodi Marasovića (1962). Prema Kohnkeu (1968) sve je bolji rast biljaka što su vlažniji uvjeti, uz prisustvo dovoljne količine zraka. Vlažno tlo smatra onda kada je pF u intervalu 2,5—4,5. Po Alpatievu (1954) optimalna vlažnost također ovisi o tlu. Kod pjeskovitih tala njena vrijednost je između retencionog kapilarnog kapaciteta i 50% njegove vrijednosti, odnosno 70% za glinovita tla. Richards i Richards (1957) ističu da je za optimalni rast biljaka potrebno održavati vlažnost tla u intervalu od 50% do 80% od poljskog vodnog kapaciteta. Međutim, Izraeslen (1955) navodi da je optimalna zona između poljskog kapaciteta i lentokapilarnosti. Na osnovi ovih različitih gledišta danas je uglavnom prihvaćeno mišljenje da je gornja granica optimalne vlažnosti vrijednost poljskog vodnog kapaciteta, a donja lentokapilarna vlažnost, odnosno prekid kapilarne veze, što odgovara 60—70% od vrijednosti poljskog vodnog kapaciteta (Rode, 1955, 1960; Vučić, 1964; Vukašinić, 1964), slika 6.

Ako naša istraživanja dovedemo u vezu s navedenim mišljenjem, uočava se stanovita razlika. Razlika se nazire u vezi s donjom granicom najpovoljnije vlažnosti tla. Rezultati naših pokusa (u poljskim uvjetima, zatvorenom prostoru i model pokusu) pokazali su da je najpovoljnije na prinos navedenih test kultura utjecala vlažnost tla, kada je održavana u intervalu, između poljskog vodnog kapaciteta i 80%, odnosno 75% od njegove vrijednosti.

U vezi s tim želimo potvrditi da se voda u tlu drži slabijim silama kad se stanje vlažnosti približava poljskom vodnom kapacitetu. Ovo pojava uvjetuje da voda nije jednako pristupačna za biljku ni unutar intervala lako pristupačne vode, tj. između poljskog kapaciteta i lentokapilarne vlažnosti. S obzirom na to da biljka troši više energije za primanje vode dok stanje vlažnosti opada u odnosu na poljski vodni kapacitet, smatramo da je potrebno u uvjetima suvremene proizvodnje održavati tla bliže vrijednosti poljskog vodnog kapaciteta.

No, u tom pogledu ne bismo smjeli ići u drugu krajnost. Jer, zbog dinamičnih promjena fizikalnih osobina tla, kontinuirano stanje visoke vlažnosti može prvenstveno poremetiti optimalan odnos vode i zraka u tlu i nepovoljno utjecati na rast i razvoj biljke. U prilog ovoj konstataciji idu i naši rezultati dobiveni u pokusu s karanfilom. Naime, pri održavanju vlažnosti tla u intervalu 100—90% PVK ne samo da nije postignut veći prinos, već je broj ubranih cvjetova bio manji u odnosu na varijantu gdje se vlažnost tla održavala u intervalu 100—75% PVK. Osim toga, treba imati u vidu da je visoku vlažnost u tlu ili uski interval vlažnosti, zbog njene velike dinamičnosti, praktično vrlo teško održavati. Dakle, navedeni razlozi upućuju da je nepotrebno i otežano održavati vlažnost tla u neposrednoj blizini poljskog vodnog kapaciteta. Smatramo stoga da bi bilo korisno za donju granicu vlažnosti tla uzimati 75—80 postotnu vrijednost poljskog vodnog kapaciteta.

Mislimo da su gornju granicu najpovoljnijeg intervala vlažnosti tla za uzgoj poljoprivrednih kultura dosadašnja istraživanja zadovoljavajuće riješila, te da se za praksu, kao i do sada, koristi vrijednost poljskog vodnog kapaciteta (Rode, 1960; Vučić, 1964). Međutim, za teoretska razmatranja i pri daljnjim istraživanjima neophodno je uzimati u obzir i mišljenja drugih autora.

5. KRITIČNI PERIOD BILJKE ZA VODU

Održavanje optimalne vlažnosti u tlu značajan je uvjet za normalno funkcioniranje uzgajanih biljaka. Jedino se u tim uvjetima mogu ostvariti visoki i stabilni prinosi. Međutim, pored toga je bitno poznavati i pojam kritičnog perioda za vodu uzgajanih kultura.

U ovom periodu, svake biljke, nedostatak vode najčešće se odražava na sniženje prinosa. Kritični period može biti duži ili kraći, te se javlja u različitim fazama razvoja pojedinih biljaka. Prema tome, i pored ispravne Williamsove konstatacije da je biljci u toku cijele vegetacije (života) potrebna pristupačna voda, ipak će nedostatak vode u kritičnom periodu više utjecati na niže prinose u odnosu na nedostatak u ostalim periodima. Dakle, nedostatak vode i u drugim periodima smanjit će prinos uzgajane kulture, ali će to smanjenje biti u manjem iznosu. Kod jednogodišnjih biljaka kritični period je vezan za formiranje generativnih organa. Višegodišnje biljke najosjetljivije su u vrijeme najvećeg stvaranja organske tvari i formiranju generativnih organa.

Za različite poljoprivredne kulture Skazni, 1961 (cit. po Vučiću, 1976) iznosi kritični period za vodu (tabela 7).

Tabela 7.

KRITIČNI PERIOD NEKIH POLJOPRIVREDNI HKULTURA

Kultura	Kritični period za vodu
Ozima pšenica i raž	vlatanje — klasanje
Jara pšenica, ječam, zob	vlatanje — klasanje
Sirak, proso	metličanje — nalijevanje zrna
Kukuruz	cvatnja — mliječna zrioba
Leguminoze, kikiriki, heljda	cvatnja
Suncokret	formiranje glavice — cvanja
Pamuk	cvatnja — stvaranje ploda
Šećerna repa za sjeme	rast stabljike — cvatnja
Krumpir	cvatnja — formiranje gomolja
Rajčica	cvatnja — formiranje plodova

U kritičnom periodu za vodu smanjuje se koncentracija staničnog soka. Osmotski tlak u lišću za vrijeme cvatnje također se smanjuje, dok se kod generativnih organa povećava. Povećano je disanje, fotosinteza, te sinteza i hidroliza bjelančevina dušika. Značajno je da se formiranje generativnih organa može normalno vršiti samo u prisutnosti visoke vlažnosti u tlu, biljci i atmosferi. Navedene konstatacije od velike su važnosti za primjenu melioracijskih mjera u svrhu reguliranja vodnog režima u tlu.

6. UMJESTO ZAKLJUČKA

Za reguliranje vodnog režima tla primjenom hidromelioracijskih i agromelioracijskih mjera neophodno je poznavati biljku i tlo. Posebno je potrebno voditi brigu o zahtjevima biljke s obzirom na vodu, jer upravo ovaj

faktor najčešće je ograničavajući u biljnoj proizvodnji. Vrlo često se u našoj praksi odnos tlo — voda — biljka zanemaruje, tako da se reguliranje vode u tlu samo djelomično primjenjuje ili je prepušteno stihiji. Temeljne promjene u tretmanu vode kao vegetacijskog faktora su nužne. To će dovesti i do adekvatnijeg stručnog i znanstvenog pristupa pri reguliranju vodnog režima u tlu, u svrhu uspješnog uzgoja poljoprivrednih kultura, odnosno, visoke i stabilne proizvodnje ljudske hrane.

LITERATURA

1. *Alpatiev, A. M.* (1954): Blagohorot kulturnih rastenih, Gidrometeoizdata, Lenjingrad.
2. *Butorac, A., Tomić, F., i Turšić, I.* (1975): Specifična volumna težina i interval vlažnosti tka kao faktori u uzgoju ozime pšenice, Agronomski glasnik, br. 7—8, Zagreb.
3. *Čerkasov, A. A.* (1950): Melioracije i snabdevanje poljoprivrednih gazdinstava vodom (prijevod s ruskog), Beograd.
4. *Čerkasov, A. A.* (1952): Priručnik za praktične radove pri melioracijama (prijevod s ruskog), Beograd.
5. *Gračanin, M.* (1940): Klasifikacija skeletnih tala, Poljoprivredna naučna smotra br. 2, Zagreb.
6. *Izraelsen, O. W.* (1955): Irrigation Principles and Practice, New York.
7. *Kohnke, H.* (1968): Soil Physics, McGraw — Hill Book Company, New York.
8. *Marasović, A.* (1972): Osnovi navodnjavanja kišenjem, Novi Sad.
9. *Marinčić, I.* (1971): Određivanje stabilnosti mikroagregata, Priručnik za ispitivanje zemljišta, Knjiga V, Metode istraživanja fizičkih svojstava zemljišta, JDZPZ, Beograd.
10. *Nejgebauer, V.* (1960): Pedologija, Savez studenata Poljoprivrednog fakulteta, Novi Sad.
11. *Racz, Z.* (1971): Određivanje mehaničkog (teksturnog, granulometrijskog) sastava tla, Priručnik za ispitivanje zemljišta, Knjiga V, Metode za istraživanja fizičkih svojstava zemljišta, JDZPZ, Beograd.
12. *Resulović, H. i Bišić-Hajro, Dž.* (1971): Određivanje stabilnosti strukturnih agregata po metodi De Lecneera i De Boodta, Priručnik za ispitivanje zemljišta, Knjiga V, Metode istraživanja fizičkih svojstava.
13. *Richards, L. A. i Richards, S. J.* (1957): Soil moisture, Yearbook of agriculture Soils, US Dept of Agric.
14. *Rode, A. A.* (1955): Vodnie svojstv počv i gruntiv, Akademia nauk SSSR, Moskva.
15. *Rode, A. A.* (1960): Metodi izučenija vodnogo režimi počvi, Akademia nauk SSSR, Moskva.
16. *Stojičević, D.* (1964): Navodnjavanje, Beograd.
17. *Škorić, A.* (1961): Pedološka istraživanja (Priručnik), Zadržna knjiga, Zagreb.
18. *Škorić, A., Mihalić, V. i Antić, J.* (1969): Osnovi agrikulture, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
19. *Tomić, F.* (1966): Interval vlažnosti tla pri uzgoju poljoprivrednih kultura, Vodoprivreda br. 39, Beograd.
20. *Tomić, F.* (1976): Utjecaj kontroliranog navodnjavanja za uzgoj kultura u staklenicima, Poljoprivredna smotra, Zagreb.
21. *Tomić, F., Brnetić, I. i Milas, S.* (1975): Voda i hranjiva za intenzivni uzgoj rajčice u stakleniku, Kongres o proizvodnji ljudske hrane, Novi Sad.

22. *Vlahinić, M.* (1971): Određivanje stabilnosti strukture tla po Zajdelmanu, Priručnik za ispitivanje zemljišta, Knjiga V, Metode istraživanja fizičkih svojstava zemljišta, JDŽPZ, Beograd.
23. *Vlahinić, M.* (1971): Određivanje filtracije, Terenske metode, Priručnik za ispitivanje zemljišta, Knjiga V, Metode istraživanja fizičkih svojstava zemljišta, JDŽPZ, Beograd.
24. *Vučić, N.* (1964): Vodne osobine černozema i livadske crnice i njihov značaj za navodnjavanje na irigacionom području Bačke, Savremena poljoprivreda, posebno izdanje br. 1, Novi Sad.
25. *Vučić, N.* (1971): Struktura analiza suvim prosejavanjem, Priručnik za ispitivanje zemljišta, Knjiga V, Metode istraživanja fizičkih svojstava zemljišta, JDŽPZ, Beograd.
26. *Vučić, N.* (1976): Navodnjavanje poljoprivrednih kultura, Poljoprivredni fakultet Novi Sad.
27. *Vukašinić, S.* (1961): Visoki prinosi i odnos biljke i vode u zemljištu, Vodoprivreda Jugoslavije, br. 1—2, Beograd.
28. *Vukašinić, S.* (1964): Principi navodnjavanja, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.

POTREBE VODE KULTURNOG BILJA

Dr ZORKO KOS, sveuč. prof.

1. UVOD

Jedan od osnovnih parametara, neophodan za projektiranje hidromelioracijskog sustava, o kojem u najvećoj mjeri ovisi valjanost, efikasnost i ekonomičnost sustava u pogonu, jest potreba vode pojedinih usjeva za vrijeme vegetacijskog perioda. Od prvih pokušaja koji potječu još od Lawesa iz 1848. godine, pa sve do danas, provedena su i provode se mnogobrojna istraživanja s ciljem pravilnog utvrđivanja ove vrijednosti.

Još su Briggs i Shants (1913—1916) ukazali na čvrstu korelativnu vezu između transpiracije bilja i meteoroloških faktora kao što su vlažnost zraka, isparavanje sa slobodne vodne površine i temperature zraka. S druge, pak, strane, Manzoni i Puppo su poslije (1944) utvrdili da transpiracija u najvećoj mjeri ovisi o globalnoj radijaciji, dok su klimatski faktori, kao što je temperatura, relativna vlaga zraka i vjetar ovisnosti drugog reda. Tu okolnost treba u prvom redu pripisati različitim klimatskim uvjetima pod kojima su se ti pokusi zbivali. Manzoni i Puppo eksperimentirali su pod uvjetima sub-humidne klime velike geografske širine (Conegliano Veneto), dok su Briggs i Shantz to činili u aridno-vrućem ambijentu male geografske širine (Akson, Colorado, USA). U svakom slučaju, ta su istraživanja dala poticaj za čitav niz sličnih zahvata poslije, a koji se i danas poduzimaju širom svijeta. Danas je sa sigurnošću utvrđeno da je potrebna količina vode ovisna o vladajućim klimatskim uvjetima, vrsti i stadiju rasta biljke, kapacitetu tla za vodu, te razvoju korijena bilja, što opet ovisi o vrsti bilja, stupnju vegetacije i tlu.

Za utvrđivanje količine vode koju bilje troši na evapotranspiraciju, do danas je širom svijeta predloženo više desetaka formula i metoda, od kojih je svega nekoliko našlo širu primjenu u inženjerskoj praksi. Inače, ova se veličina može odrediti na dva bitno različita načina, i to: direktnim mjerenjem ili indirektnim proračunom, pa sve postojeće metode možemo prema tom kriteriju uvrstiti među te dvije skupine.

2. NEKE OSNOVNE DEFINICIJE

Potrošnjom vode nekog usjeva smatra se količina vode koja je utrošena na evapotranspiraciju radi dobivanja optimalnih prinosa u određenom vremenskom periodu (vegetacijska sezona, mjesec, itd.). Izražava se u m^3/ha ili u mm kiše. Evapotranspiraciju (ET) definiramo kao kombinirani proces kojim se transferira voda iz površine zemlje u atmosferu. Uključuje isparavanje vode s površine bilja i tla (E), kao i transpiraciju kroz biljno tkivo (T)

izraženu u vidu količine utrošene vode po jedinici površine. Ona obično čini oko 99% od ukupno apsorbirane količine vode. Isparavanje (evaporacija) uglavnom ovisi o klimatskim faktorima (temperatura, sunčeva radijacija, kišnost, vlažnost zraka, vjetrovi i sl.), pedološkim karakteristikama (tekstura, struktura, sadržaj organske materije), hidrološkom režimu (sposobnost sadržaja vode, kapilarnost, dubina podzemne vode) i agrofiziološkom sklopu (vrsta usjeva, obrada tla i sl.). S druge, pak, strane, istraživanja utjecaja pojedinih faktora na veličinu transpiracije nisu još do danas sasvim riješena i sada su u punom toku. U svakom slučaju od bitnog je značenja globalna radijacija, zatim temperatura i vlaga zraka i drugo. I odnos između transpiracije i isparavanja $\left(\frac{T}{E}\right)$ nije još sasvim izučen i razriješen. Taj odnos uglavnom ovisi o klimi, vrsti usjeva i sl. Prema istraživanjima Manzonija i Puppoa $\frac{T}{E}$ varira između 2 i 6,5. Druga istraživanja u Utahu (USA) dala su slijedeće odnose $\frac{T}{E}$:

pšenica	1,17
kukuruz	2,33
grašak	3,00

Evapotranspiracija se najčešće dijeli na potencijalu (ET_p) i realnu (ET_r). ET_p je količina vode koju bi bilje utrošilo iz tla i površine biljnih organa u optimalnim uvjetima uzgoja. ET_r je stvarno utrošena količina vode nekog usjeva po jedinici površine. Na taj način ET_p se bitno razlikuje od ET_r i postaje neovisna o faktoru biljke, s obzirom na to da je uvjetovana isključivo sposobnošću isparavanja atmosfere, odnosno faktora klime.

ET_p je uvijek veća, ili u najboljem slučaju jednaka ET_r . U američkoj literaturi se za ET_p često upotrebljava izraz »potencial consumptive use« ili samo »consumptive use«. Uveo ga je John Field prije oko 70 godina, i tada je definiran kao razlika između ulaza i izlaza u bilanci voda za velike natapne sustave. Nedavno je taj pojam Criddle definirao kao »suma volumena vode utrošene na određenoj površini u određenom vremenskom intervalu za transpiraciju, za izgradnju biljnog tkiva i na isparavanje s površine tla«.

Odnos između ET nekog određenog usjeva u određeno vrijeme njegova razvoja i potencijala ET je od velike važnosti za projektiranje i pogon nekog hidromelioracijskog sustava, jer se procjene ET najčešće izvode iz potencijalne ET . To dovodi do pojma koeficijenta usjeva (kulture), koji se definira:

$$K_c = \frac{ET}{ET_p}$$

gdje K_c predstavlja koeficijent usjeva koji uključuje utjecaj stadija razvoja biljke, sklop i druge faktore koji utječu na ET . Ovako definiran koeficijent usjeva (K_c) razlikuje se od K faktora koji se primjenjuje u originalnoj verziji Blaney-Criddleove formule.

Netto potrebna količina vode za natapanje razumijeva onu količinu vode koja se dobije kada se od ukupnog volumena odbiju korisne (efektivne) oborine, magazinirana voda u tlu, poniranje i drugi gubici. Pri tome se efek-

tivne oborine definiraju kao onaj postotak kiše koji može biti korišten u bilo kojoj fazi razvoja biljke.

Brutto norma natapanja je netto potrebna količina vode uvećana za sve gubitke. To je zapravo količina vode koja je na raspolaganju polju na izlazu iz ispusta natapne mreže (rasprskivač).

Vršni ili maksimalni protok je količina vode za koju mora biti osposobljena natapna mreža da bi se zadovoljila maksimalna potreba.

3. ODREĐIVANJE EVAPOTRANSPIRACIJE

Veličinu ET može se dobiti ili izravnim mjerenjem u poljskim uvjetima ili procjenom na bazi klimatoloških podataka i vrsti usjeva. Izravna mjerenja u poljskim uvjetima jako su skupa i najčešće se poduzimaju radi prikupljanja podataka za kalibriranje metoda izrađenih na bazi klimatskih parametara.

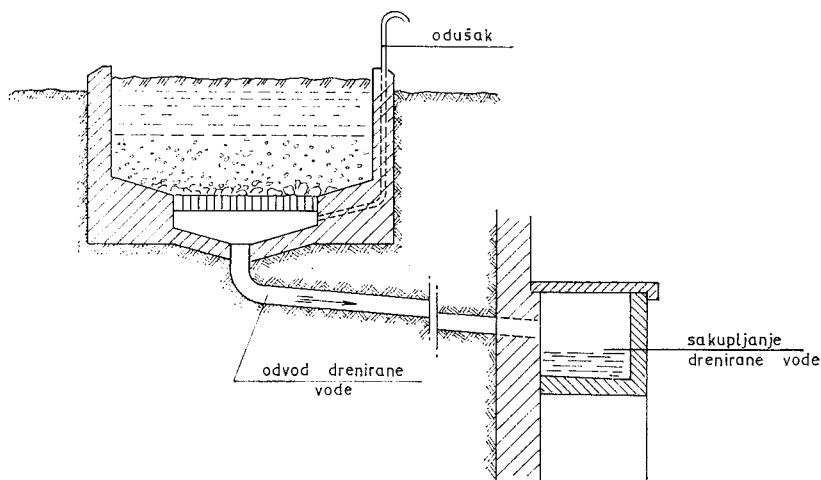
3.1. Izravna mjerenja evapotranspiracije (ET)

Najpoznatije metode izravnog mjerenja ET su: mjerenje bilance voda u poljskim uvjetima, ili tzv. metoda lizimetara, kao i druga mjerenja u poljskim uvjetima, zatim metoda dotjecanja-otjecanja i druge.

3.1.1. Metoda lizimetara

Princip se sastoji u uzgoju ispitivanih usjeva u većim, najčešće betonskim posudama (lizimetri) u poljskim uvjetima, s tim da su osnovni parametri bilance voda (oborine, natapanje, drenaža) pod kontrolom.

Problemi koji se ovdje pojavljuju su: veličina lizimetra (rezervoara), debljina sloja tla u njemu, stanje tla, način opskrbe vodom i utjecaj sredine. Bitna pretpostavka uspjeha je da uvjeti rasta bilja u lizimetru moraju biti potpuno jednaki uvjetima rasta istog bilja u okolici, odnosno na poljskoj parceli gdje se nalazi.



Sl. 1. Shema lizimetra uz volumetrijsku kontrolu drenažne vode

Lizimetri su obično površine 2×2 m i dubine 1 m. Ispune se zemljom istih karakteristika kao i okolno polje i zasiju istim usjevima. U toku čitave vegetacijske sezone mjeri se bilanca voda, i to ulaz (oborine, natapanje), izlaz (drenirana voda), te stanje vlažnosti tla (sadržaj vlage), na temelju čega se računa utrošak vode na ET, bilo za cijelu sezonu ili za manje vremenske jedinice.

Po konstrukciji, lizimetara ima više tipova. Kod nekih se sadržaj vlage može neprekidno pratiti, jer se baziraju na principu vaganja. Važno je napomenuti da se uz lizimetarsku mora nalaziti i agrometeorološka stanica, kako bi se sprovela korelacija mjerenih vrijednosti ET i klimatskih parametara okoline.

3.1.2. Mjerenja na poljskim parcelama

Prva mjerenja utroška vode na poljskim parcelama, i to za 14 kultura proveo je I. A. Widstoe još u vremenu od 1902. do 1911. Israelson i Hansen (1926) navode da su vrijednosti ET mjerene na eksperimentalnim poljskim parcelama pouzdanije i točnije od onih dobivenih u lizimetrima, jer su u cijelosti osigurani prirodni uvjeti. Bitno je izabrati takav položaj parcela gdje se može kontrolirati prihod vode od oborina i gdje podzemna voda nema utjecaja. Danas se rijetko primjenjuje.

3.1.3. Mjerenje vlage tla

Ova se metoda bazira na mjerenju sadržaja vlage u tlu za vrijeme čitava vegetacijskog perioda, i to prije i poslije svake promjene (kiša, natapanje). Na taj se način utvrđuje bilanca vode, odnosno dobiva se zbirna krivulja prihoda i rashoda. Poteškoće se javljaju kod definiranja optimalnog vodnog režima, efektivnih oborina, otjecanja itd.

Druge metode izravna mjerenja, kao što je integralna bilanca voda nekog sliva, metoda dotjecanja-otjecanja i sl. rijetko služe za ove namjene, jer se više odnose na analizu bilance voda nekog sliva i pripadaju hidrologiji.

3.2. Procjena ET iz klimatskih podataka

Danas su najviše u upotrebi metode određivanja utroška vode koje se baziraju na korelaciji klimatskih parametara i evapotranspiracije. Sve su empirijske, izuzev metode Penmann koja je poluempirijska. Istraživanja te vrste u punom su jeku širom svijeta i svake godine pojavljuju se nove metode i nove formule. Prema vrsti korištenih parametara sve se metode mogu podijeliti u četiri osnovne skupine:

- a) Metode Hedke, Lowey-Johnson, Thornthweite, Blaney-Criddle, Quijano baziraju se na ovisnosti evapotranspiracije o temperaturi zraka;
- b) Metode Hargreaves, Olivier, Bouchet, Rycha, Tombesi-Luciani izražavaju ovisnost evapotranspiracije i isparavanja;
- c) Metode Haude, Papadakis, Helstead, Hamon i Alpatjev bazirane su na korelaciji između evapotranspiracije i deficita vlage u zraku;
- d) Metode Turc, Makkink i Jensen-Hoise baziraju se na energetske bilanci, dok se Penmannova metoda bazira na kombinaciji energetske i aerodinamične bilance.

Nadalje, u metodama Blaney-Criddle, Hargreaves i Rycha uzima se u obzir i utjecaj usjeva uvođenjem odgovarajućih faktora o pojedinom usjevu u proračun.

Iako je ET ključni element u određivanju potrebne količine vode za navodnjavanje, ovdje treba naglasiti da gubici prilikom uskladištenja, dovoda i razvoda vode, te eventualna potreba ispiranja i utjecaj nejednolikosti u raspodjeli treba posebno razmatrati, i izračunati, te dodati potrebi evapotranspiracije.

3.2.1. Penmannova metoda

Penmann je 1949. objavio prvu verziju svoje formule za proračun ET koja se bazira na dva osnovna faktora: energiji (radijacija) i aerodinamici (vjetar i vlažnost zraka). Polaznu osnovu predstavlja proračun isparavanja sa slobodne vodene površine, koji označuje s ET_o , te prijelaz na ET_p uvođenjem faktora redukcije za referentne usjeve k_c , koji je po njemu za zimske mjesece iznosio 0,6, a za ljetne 0,8. Prema tome imamo:

$$ET_p = k_c ET_o$$

Iako je Penmann svoja istraživanja provodio u Velikoj Britaniji, poslije se dokazalo da su mu rezultati primjenjivi mnogo šire, moglo bi se reći gotovo u svim geografskim širinama.

Poslije je Penmann, a i neki drugi istraživači, publicirao metodu u izmijenjenu obliku uvodeći neke parametre i olakšavajući postupak proračuna, tako da danas postoji nekoliko verzija ove formule. Poznata je tzv. pojednostavljena verzija iz 1963. U nastavku ćemo prikazati verziju formule obrađene u FAO publikaciji ID-24 iz 1977. godine. Ona glasi:

$$ET_o = C [WR_n + (1 - W) f_u (e_a - e_a)]$$

gdje je:

ET_o — ET referentnog usjeva u mm/dan

W — faktor ponderacije o utjecaju temperature

R_n — netto radijacija kao ekvivalent isparavanja u mm/dan

f_u — utjecaj vjetra

$e_a - e_a$ — razlika tlaka saturirane vodene pare kod srednje temperature zraka i stvarnog prosječnog tlaka vodene pare; sve u mbarima

C — faktor korekcije radi izravnjanja dnevnih i noćnih meteoroloških uvjeta.

Ovom metodom se najčešće računaju dekadne ili mjesečne vrijednosti, a kao rezultat dobivaju se prosječne dnevne vrijednosti za razmatrani period.

S obzirom na nezavisnost promjenljivica, koje ulaze u formulu, vrlo je važna pravilna primjena jedinica u kojima se one izražavaju. Tako npr. utjecaj vjetra mora biti izračunat na bazi ukupnog prohoda vjetra na visini od 2 m (U_2) kroz 24 sata, koji se može izračunati po formuli

$$f_u = 0,27 \left(1 + \frac{U_2}{100} \right)$$

Nadalje, često se događa da pojedini parametri koji ulaze u formulu nisu raspoloživi. To nas, međutim, ne treba obeshrabriti, jer specijalizirana stručna literatura (npr. FAO publ. ID-24) daje odgovarajuća uputstva za proračun svih ulaznih parametara na temelju minimalno raspoloživih podataka. U svakom slučaju moramo raspolagati podacima o temperaturi zraka

(min., max.), nadmorskoj visini, zemljopisnoj širini i brzini vjetera (bilo gdje u profilu). Primjenom raspoloživih tablica, formula i grafikona možemo vrlo lako i brzo izračunati sve ostale veličine.

3.2.2. Metoda Turca

Francuski istraživač Turc, predložio je 1960. god. svoju formulu za proračun evapotranspiracije koja glasi:

$$ET_p = 0,40 (I_g + 0,50) \frac{t}{t + 15}$$

u kojoj je:

ET_p — potencijalna evapotranspiracija u mm/mjesec

I_g — globalna radijacija u razmatranom mjesecu u malim kalorijama po cm^2 i po danu na vodoravnoj površini

t — srednja mjesečna temperatura u $^{\circ}C$.

Proračun se vrši po mjesecima. Ako se ET_p računa dekadno, onda se umjesto koeficijenta 0,40 uzima 0,13. S obzirom na to da je I_g rijetko raspoloživ iz direktnih mjerenja, to je Turc predložio formulu za posredan proračun, koja glasi:

$$I_g = I_{gA} \left(0,18 + 0,62 \frac{h}{H} \right)$$

gdje je:

I_{gA} — maksimalna radijacija prema Angotovim tablicama uz providnost atmosfere jednaku 1

$\frac{h}{H}$ — relativna insolacija u satima (H — trajanje mjeseca u satima;

h — efektivno trajanje insolacije u mjesecu).

Kako I_{gA} i H ovise samo o zemljopisnoj širini, to se njihove vrijednosti uzimaju iz tablica (vidi priloge). Ova je metoda višestruko testirana na lizi-metarskim stanicama u Versaillesu, kao i u brojnim hidrološkim bilancama širom svijeta, te je pokazala vrlo dobre rezultate.

Ovo je, inače, tzv. druga Turcova formula; prva je objelodanjena još 1951. godine, ali kako se danas sve manje koristi, to ovdje nije ni prikazana.

3.2.3. Metoda Thornthwaite

Američki istraživač Thornthwaite, na osnovi velikog broja ispitivanja provedenih u subhumidnom i semiaridnom klimatu, predložio je slijedeću empirijsku formulu (1944—1948):

$$ET_p = ct^a$$

gdje je:

ET_p — potencijalna evapotranspiracija za »teoretski« mjesec od 30 dana i »teoretsko« trajanje osunčanja u danu od 12 sati

t — prosječna temperatura za razmatrani period

c i a — koeficijenti ovisni o »godišnjem toplinskom indeksu«, ali konstantni za određeni klimat i mjesto.

Vrijednosti c i a se obično daju tabelarno ili grafički. Druga verzija ove metode ima osnovni oblik formule:

$$ET_p = 1,6 \left(\frac{.10 t}{I} \right)^a p$$

pri čemu je:

I — godišnji toplinski indeks; $I = \Sigma 12 i$ (suma mjesečnih indeksa)
 $a = 675 \times 10^{-9} \times I^3 + 771 \times 10^{-7} \times I^2 + 1782 \times 10^{-5} \times I + 0,498$, ili
 $a = \frac{1,6}{100} I + 0,5$ (Serrà)

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514}, \text{ odnosno } i = 0,9 t^{\frac{3}{2}}$$

Ta metoda uzima kao bazu trajanje dnevnog svjetla od 12 sati, pa, da bi se mogla koristiti na svim zemljopisnim širinama, popravljena je korekcijskim faktorom p prikazanim u tabeli. To je zapravo odnos između trajanja dana u satima i polovice sati u danu (12 sati).

Tabela 1.

SREDNJE MJESEČNE VRIJEDNOSTI I_{GA} U MALIM KALORIJAMA
 PO cm^2 I PO DANU (FORMULA TURCA)

Mjesec	Sjeverna zemljopisna širina						
	38	40	42	44	46	48	50
Siječanj	393	364	335	306	278	250	222
Veljača	521	495	468	441	414	287	360
Ožujak	692	673	651	629	607	585	562
Travanj	743	833	820	806	792	778	764
Svibanj	946	944	940	935	930	925	920
Lipanj	983	985	985	984	984	983	983
Srpanj	958	958	954	950	946	942	938
Kolovoz	865	858	847	836	824	812	800
Rujan	726	710	690	670	649	628	607
Listopad	561	536	510	484	458	431	404
Studeni	418	390	362	333	304	275	246
Prosinac	352	323	294	265	236	208	180

Tabela 2.

MJESEČNO TRAJANJE DANA H U SATIMA PO MJESECU
 (FORMULA TURCA)

Mjesec	Sjeverna zemljopisna širina						
	38	40	42	44	46	48	50
Siječanj	306	301	294	287	280	273	266
Veljača	304	301	298	295	292	288	284
Ožujak	371	371	370	370	370	369	369
Travanj	395	398	401	404	407	410	413
Svibanj	441	446	452	458	465	472	479
Lipanj	443	449	457	465	473	481	490
Srpanj	449	455	462	469	476	484	492
Kolovoz	442	425	429	434	439	444	449
Rujan	373	374	375	376	377	378	379
Listopad	348	346	344	342	340	337	334
Studeni	304	300	295	290	284	278	272
Prosinac	297	291	283	286	269	261	253

Tabela 3.

VRIJEDNOST KOREKCIJSKOG FAKTORA p
U FORMULI THORNTHWAITEA

Zemljopisna širina — sjever	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan
0	1,04	1,04	1,04	1,01	1,04	1,04	1,01
5	1,03	0,02	1,06	1,03	1,06	1,05	1,01
10	1,03	1,03	1,08	1,06	1,08	1,07	1,02
15	1,03	1,04	1,11	1,08	1,12	1,08	1,02
20	1,03	1,05	1,13	1,11	1,14	1,11	1,02
25	1,03	1,06	1,15	1,14	1,17	1,12	1,02
30	1,03	1,08	1,18	1,17	1,20	1,14	1,03
31	1,03	1,08	1,18	1,18	1,20	1,14	1,03
32	1,03	1,08	1,19	1,19	1,21	1,15	1,03
33	1,03	1,09	1,19	1,20	1,22	1,15	1,03
34	1,03	1,09	1,20	1,20	1,22	1,16	1,03
35	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03
36	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	1,03
37	1,03	1,10	1,22	1,23	1,25	1,17	1,03
38	1,03	1,10	1,23	1,24	1,25	1,17	1,04
39	1,03	1,11	1,23	1,24	1,26	1,18	1,04
40	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04
41	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04
42	1,03	1,12	1,26	1,27	1,28	1,19	1,04
43	1,02	1,12	1,26	1,27	1,29	1,20	1,04
44	1,02	1,13	1,27	1,28	1,30	1,20	1,04
45	1,02	1,13	1,28	1,29	1,31	1,21	1,04
46	1,02	1,13	1,29	1,31	1,32	1,22	1,04
47	1,02	1,14	1,30	1,32	1,33	1,22	1,04
48	1,02	1,14	1,31	1,33	1,34	1,23	1,05
49	1,02	1,14	1,32	1,34	1,35	1,24	1,05
50	1,02	1,15	1,33	1,36	1,37	1,25	1,06

Postupak računanja je slijedeći: najprije se odredi vrijednost mjesečnog toplinskog indeksa, bilo iz tablica ili proračunom po formuli, zatim se utvrdi

$I = \sum_{i=1}^{12}$ zbroj svih mjeseci u godini. Ta se vrijednost potraži u nomogramu

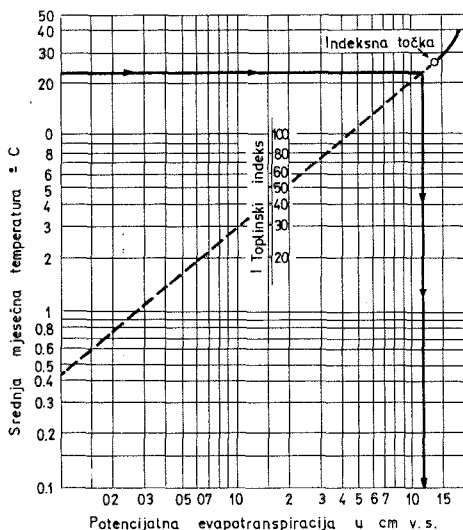
(skala termičkog indeksa — lijeva strana), potom se ide do debele vertikalne crte, zatim se ta točka spaja s točkom konvergencije koja se nalazi u desnom gornjem kutu (26,5°C). S pomoću te crte na nomogramu se izravno čitaju vrijednosti evapotranspiracije za svaki mjesec, i to na taj način, što se na desnoj ordinati bira srednja mjesečna temperatura, ide se vodoravno do prije povučenog pravca, i na toj točki se na apscisi čitaju vrijednosti ET_p .

Tabela 4.

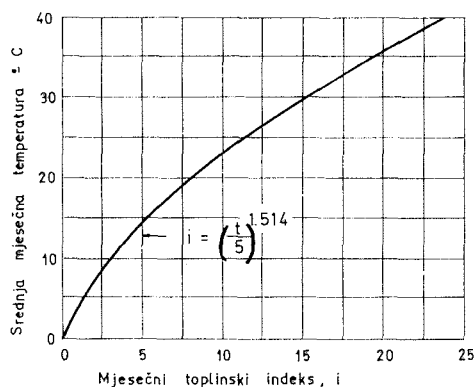
VRIJEDNOSTI MJESEČNOG TOPLINSKOG INDEKSA
I U FORMULI THORNTHWAITEA

°C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	—	—	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
1	0,09	0,10	0,12	0,13	0,15	0,16	0,18	0,20	0,21	0,23
2	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39	0,42	0,44
3	0,46	0,48	0,51	0,53	0,56	0,58	0,61	0,63	0,66	0,69
4	0,71	0,74	0,77	0,80	0,82	0,85	0,88	0,91	0,94	0,97
5	1,00	1,03	1,06	1,09	1,12	1,16	1,19	1,22	1,25	1,29
6	1,32	1,35	1,39	1,42	1,45	1,49	1,52	1,56	1,59	1,63
7	1,66	1,70	1,74	1,77	1,81	1,85	1,89	1,92	1,96	2,00
8	2,04	2,08	2,12	2,15	2,19	2,23	2,27	2,31	2,35	2,39
9	2,44	2,48	2,52	2,56	2,60	2,64	2,69	2,73	2,73	2,81
10	2,86	2,90	2,94	2,99	3,03	3,08	3,12	3,16	3,21	3,25
11	3,30	3,34	3,39	3,44	3,48	3,53	3,58	3,62	3,67	3,72
12	3,76	3,81	3,86	3,91	3,96	4,00	4,05	4,16	4,15	4,20
13	4,25	4,30	4,35	4,40	4,45	4,50	4,55	4,60	4,65	4,70
14	4,75	4,81	4,86	4,91	4,96	5,01	5,07	5,12	5,17	5,22
15	5,28	5,33	5,38	5,44	5,49	5,55	5,60	5,65	5,71	5,76
16	5,82	5,87	5,93	5,98	6,04	6,10	6,15	6,21	6,26	6,32
17	6,38	6,44	6,49	6,55	6,61	6,66	6,72	6,78	6,84	6,90
18	6,95	7,01	7,07	7,13	7,19	7,25	7,31	7,37	7,43	7,49
19	7,55	7,61	7,67	7,73	7,79	7,85	7,91	7,97	8,03	8,10
20	8,16	8,22	8,28	8,34	8,41	8,47	8,53	8,59	8,66	8,72
21	8,78	8,85	8,91	8,97	9,04	9,10	9,17	9,23	9,29	9,36
22	9,42	9,49	9,55	9,62	9,68	9,75	9,82	9,88	9,95	10,01
23	10,08	10,15	10,21	10,28	10,35	10,41	10,48	10,55	10,62	10,68
24	10,75	10,82	10,89	10,95	11,02	11,09	11,16	11,23	11,30	11,37
25	11,44	11,50	11,57	11,64	11,71	11,78	11,85	11,92	11,99	12,06
26	12,13	12,21	12,28	12,35	12,42	12,49	12,56	12,63	12,70	12,78
27	12,85	12,92	12,94	13,07	13,14	13,21	13,28	13,36	13,43	13,50
28	13,58	13,65	13,72	13,80	13,64	13,94	14,02	14,09	14,17	14,24
29	14,32	14,39	14,47	14,54	14,62	14,69	14,77	14,84	14,92	14,99
30	15,07	15,15	15,22	15,30	15,38	15,45	15,53	15,61	15,68	15,76
31	15,84	15,92	15,99	16,07	16,15	16,23	16,30	16,38	16,46	16,54
32	16,62	16,70	16,78	16,85	16,90	17,01	17,09	17,17	17,25	17,30
33	17,41	17,49	17,57	17,65	17,73	17,81	17,89	17,97	18,05	18,13
34	13,22	18,30	18,38	18,46	18,54	18,62	18,70	18,79	18,87	18,95
35	19,03	19,11	19,20	19,28	19,36	19,45	19,53	19,61	19,66	19,78
36	19,86	19,95	20,03	20,11	20,20	20,28	20,36	20,45	20,53	20,62
37	20,70	20,79	20,87	20,96	21,64	21,13	21,21	21,30	21,38	21,47
38	21,56	21,64	21,73	21,81	21,90	21,99	22,07	22,16	22,25	22,23
39	22,42	22,50	22,59	22,68	22,77	22,86	22,95	23,03	23,12	23,21
40	23,30	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Treba napomenuti da se Thornthwaiteova metoda bazira na pretpostavci da je ET_p ovisna po eksponencijalnom zakonu o temperaturi sve dok se ova nalazi ispod $26,5^\circ\text{C}$. Nakon toga ovisnost je linearnog tipa, pa se ET_p izravno čita na priloženoj tabeli 5. Ovako dobivene vrijednosti predstavljaju »nekorigirane vrijednosti« i treba ih množiti s koeficijentima p u ovisnosti o geografskoj širini, koji se uzimaju iz priložene tabele.



Sl. 2. Nomogram za određivanje vrijednosti ET_p po Thornthwaiteu



Sl. 3. Dijagram za određivanje mjesečnog toplinskog indeksa i po Thornthwaiteu

Tabela 5.

VRIJEDNOSTI POTENCIJALNE MJESEČNE EVAPOTRANSPIRACIJE
ZA SREDNJE MJESEČNE TEMPERATURE IZNAD $26,5^\circ\text{C}$

t °C	ET_p	t °C	ET_p
26,5	13,50	32,5	17,53
27,0	13,95	33,0	17,72
27,5	14,37	33,5	17,90
28,0	14,78	34,0	18,05
28,5	15,17	34,5	18,18
29,0	15,54	35,0	18,29
29,5	15,89	35,5	18,37
30,0	16,21	36,0	18,40
30,5	16,52	36,5	18,47
31,0	16,80	37,0	18,49
31,5	17,07	37,5	18,50
32,0	17,31	38,0	18,54

3.2.4. Metoda Blaney-Criddle

Jedna od najviše korištenih formula širom svijeta, a istovremeno vrlo jednostavna — koristi samo jedan meteorološki faktor, i to temperaturu — bez sumnje je formula američkih istraživača H. F. Blaney i W. D. Criddlea. Zbog te činjenice, u nastavku će se dati svi potrebni elementi radi brze, jednostavne i pravilne primjene u svim karakterističnim uvjetima.

Iako je introdukcija ove formule u nas izvršena relativno brzo nakon njene publikacije od strane autora, treba napomenuti da se njena primjena vrlo često i danas provodi na pogrešan ili neadekvatan način. U međuvremenu ona je pretrpjela značajne promjene tako da upotreba prvobitne formule nije više prikladna.

Prema definiciji autora, konzumna potreba (consumptive use), koja se često naziva i evapotranspiracija, je količina vode utrošena za razvoj vegetacije određenog područja na transpiraciju i građu biljnog tkiva, te isparavanje s okolnog tla ili lisne površine u doba kiše za bilo koji vremenski period. Često se ovaj način proračuna zove i metodom ukupne potrošnje.

Prvu verziju ove formule objavili su H. F. Blaney i K. V. Morin 1942. godine u obliku

$$V = K F (114 - H)$$

koristeći podatke temperature, dužine dana i vlage zraka. Godine 1950. Blaney i Criddle pojednostavili su formulu eliminirajući član $(114 - H)$, s obzirom na to da su došli do zaključka kako promjene vlage zraka nisu značajne.

Na početku se metoda koristila samo za izračunavanje sezonske potrebe vode, dok se utvrđivanje potrebe za manje vremenske jedinice od 5 do 30 dana uvelo u praksu poslije, nakon što su bila izvršena mjerenja utroška vode za takve intervale. Prema tome prvotna namjena formule bila je utvrđivanje sezonske vrijednosti koeficijenta K u $U = K F$, gdje je F zbir nekih mjesečnih faktora potrebe vode. Da bi se mogle proračunati vrijednosti za kraće vremenske jedinice, formula je morala biti modificirana u slijedećem:

a) uvođenjem klimatskih koeficijenata koji su direktno proporcionalni srednjoj temperaturi zraka za svaki taj kraći vremenski period;

b) dopunom s parametrom koji odražava promjenu utroška vode ovisno o fazama rasta biljke.

Ne ulazeći u pojedinosti, potrošnja vode ovisi o temperaturi, dužini dana i raspoloživoj količini vlage u tlu bez obzira na porijeklo. Osnovna je formula slijedeća:

$$U = K \times F = \sum (k \times f), \text{ i} \quad (2)$$

$$f = \frac{p \times t}{100} \quad (3)$$

gdje je:

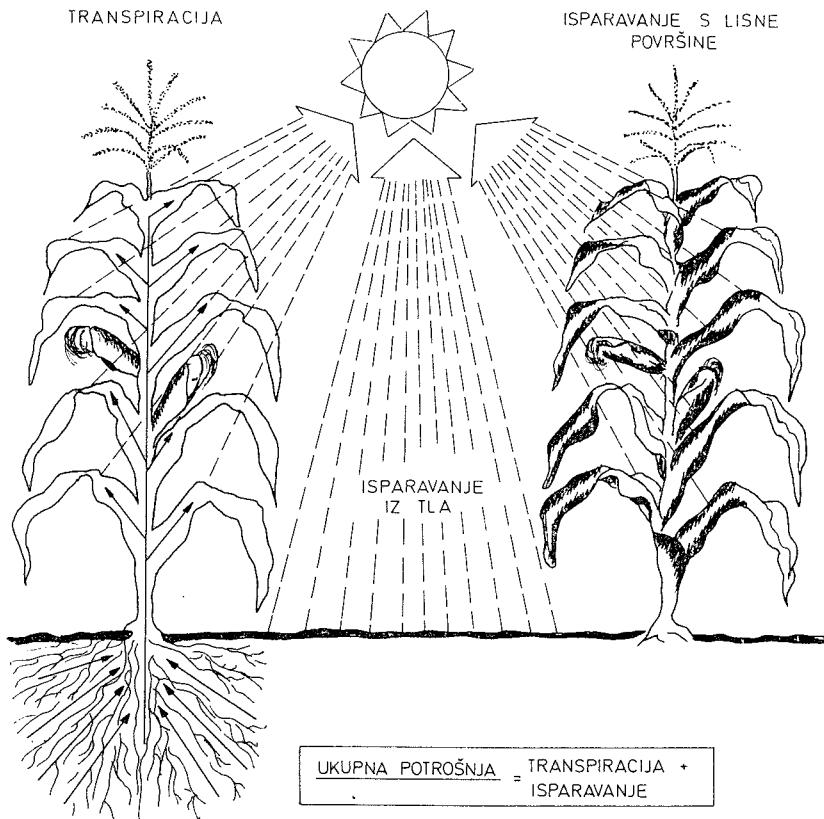
U — evapotranspiracija u in.

K — godišnji empirijski faktor ovisan o vrsti usjeva i klimatskoj zoni

F — zbroj mjesečnih faktora evapotranspiracije (f), koji u metarskom sustavu glasi:

$$f = 0,46 p (t + 18), \text{ f u mm, t u } ^\circ\text{C, ili} \quad (4)$$

$$f = p (0,46 t + 8) \quad (4a)$$



Sl. 4. Pojam »consumptive use«

k — mjesečni empirijski faktor
 t — srednja mjesečna temperatura u °C
 p — mjesečni postotak dnevne svjetlosti od ukupnog godišnjeg zbroja, ovisan o geografskoj širini.

U izvornoj formuli izvršena je promjena uvođenjem

$$k = k_t \times k_c \quad (5)$$

gdje je:

k_t — neki klimatski koeficijent ovisan o srednjoj mjesečnoj temperaturi zraka, izražen odnosom:

$$k_t = 0,0173 t - 0,314; t \text{ u } ^\circ\text{F} \quad (6)$$

k_c — koeficijent ovisan o fazi razvoja biljke, obično se predočuje grafički u obliku krivulje.

Uzimajući u obzir i opisanu dopunu formule, njen konačni oblik za mjesečnu evapotranspiraciju »U« u metarskom sustavu glasi:

$$u = 1,424 k_c (t + 7,69) (t + 17,78) \frac{p}{100} \quad (7)$$

3.2.4.1. Proračun ET pomoću referentnog usjeva

Da bi se koliko-toliko uzeo u obzir i utjecaj različitih klimatskih čini-
laca na veličinu ET, kao što su vlaga zraka, stvarna insolacija i utjecaj vjetera,
razrađena je metoda za takav postupak — formula (4a) koju pišemo u obliku:

$$ET_0 = cp(0,46t + 8) \text{ mm/dan} \quad (8)$$

gdje je:

ET_0 — evapotranspiracija za referentni usjev u mm/dan

c — korekcijski faktor ovisan o minimalnoj relativnoj vlazi, sati sijanja
sunca i dnevne jačine vjetera.

Za proračun vrijednosti ET_0 razrađena je grafička metoda, koja je pri-
kazana na slici 5, s time što se prethodno izračunata vrijednost $p(0,46t + 8)$
postavi na osi x i ET_0 čita na odgovarajućem grafikonu na osi y . Grafikon
je razrađen za tri nivoa relativne vlage (RH_{\min}), tri nivoa sijanja sunca

$\left(\frac{n}{N}\right)$ i tri nivoa varijacija dnevnog vjetera na visini od 2 m iznad tla.

Općenito se klasifikacija ovih veličina uzima kako slijedi:

Minimalna relativna vlaga, RH_{\min}

niska	< 20%
srednja	20—50%
visoka	> 50%

Sijanje sunca (osunčanje) $\frac{n}{N}$

nisko	< 0,6
srednje	0,6—0,8
visoko	> 0,8

Brzina vjetera (po danu)

mala	< 2 m/s
srednja	2—5 m/s
velika	5—8 m/s
vrlo velika	> 8 m/s

Treba naglasiti da za RH_{\min} moramo uzeti minimalnu dnevnu vlagu, te
da se podaci o vjetru odnose samo za vrijeme dnevne svjetlosti. Ako postoje
podaci za vjetar samo za 24-satni period, treba ih preračunati u dnevne ve-

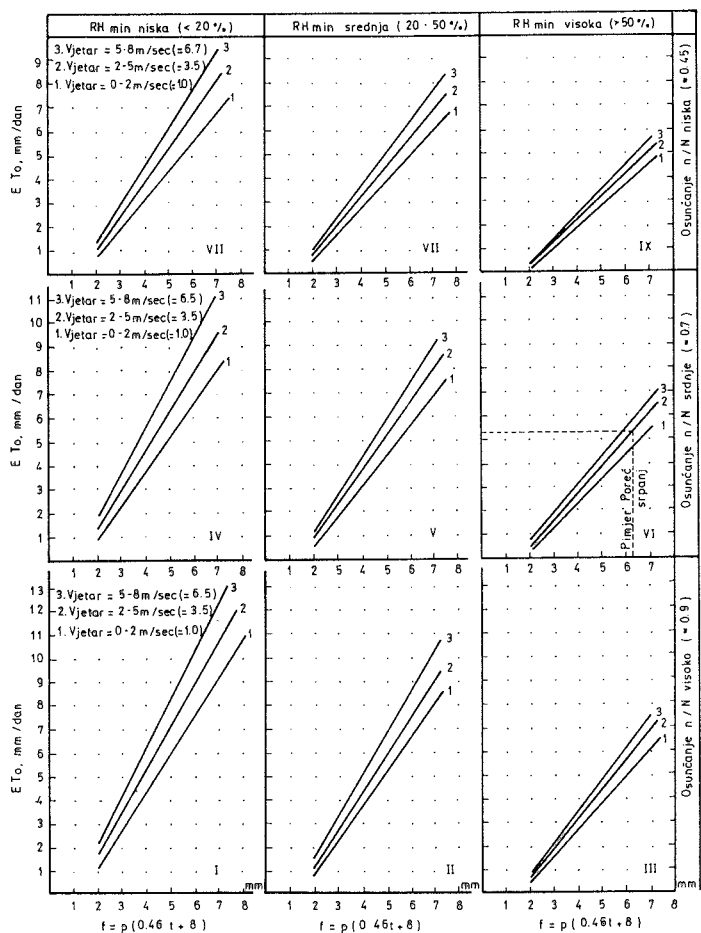
ličine. Općenito je odnos $\frac{V_{\text{dan}}}{V_{\text{noć}}} = 2$, pa prosječne 24-satne vrijednosti treba

pomnožiti s 1,33 da bi se dobili podaci po danu. Nakon što se utvrdi ET_0 ,
proračun ET određenog usjeva izračuna se koristeći koeficijent tog usjeva
 k_c , odnosno

$$ET_{\text{usjev}} = k_c ET_0 \quad (9)$$

Ovim postupkom može se računati ET za bilo koji period vremena, tj.
počevši od dnevne, pa sve do čitave sezone.

Srednji dnevni postoci (p) od godišnjeg trajanja dana za geografske
širine u kojima se nalazi Jugoslavija dati su u slijedećoj tabeli:



Sl. 5. Proračun ET po Blaney-Criddeu, uzimajući u obzir relativnu vlagu, osunčanje i brzinu vjetra

Tabela 6.

Sjeverna zemljopisna širina	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
50	0,19	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,28	0,24	0,20	0,18
48	0,20	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,28	0,24	0,21	0,19
46	0,20	0,23	0,27	0,30	0,34	0,35	0,34	0,32	0,28	0,24	0,21	0,20
44	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,35	0,34	0,31	0,28	0,25	0,22	0,20
42	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21
40	0,22	0,24	0,27	0,30	0,32	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21
35	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,32	0,30	0,28	0,25	0,23	0,22
30	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,31	0,30	0,28	0,26	0,24	0,23

Za slučaj stanice Poreč, koristeći dijagrame iz slike 5, dobit ćemo za mjesec srpanj:

$$T = 22,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$p = 0,34$$

$$p(0,46 \times t + 8) = 0,34(0,46 \times 22,3 + 8) = 6,2 \text{ mm/dan}$$

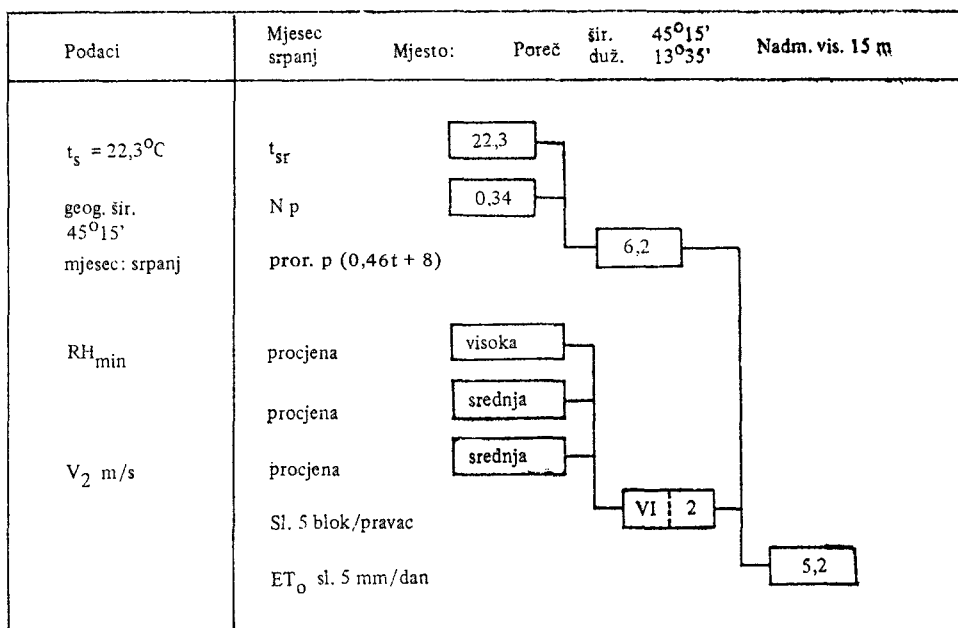
$$RH_{\min} = 70\% \text{ — visoka}$$

$$n/N = 0,7 \text{ — srednje}$$

$$V_2 \text{ dnevni ukupno } 3,35 \text{ m/s — srednje}$$

$$ET_0 \text{ (iz grafikona sl. 5) } = 5,2 \text{ mm/dan}$$

Redoslijed operacija proračuna ET_0 po ovom postupku dat je na dijagramu toka slike 6.

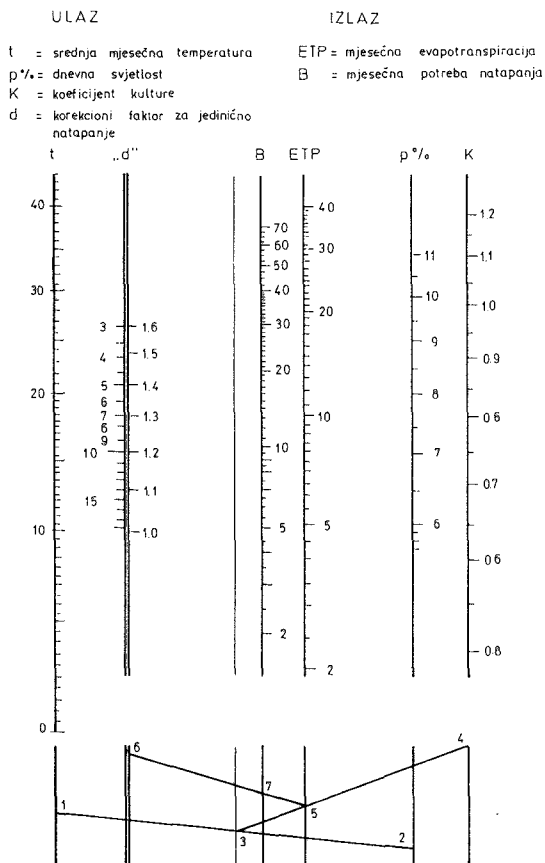


Sl. 6. Slijed operacija proračuna dnevne ET_0 po metodi Blaney-Criddlea

Francuski istraživač G. Guyon izradio je nomogram za određivanje mjesečne ET_0 po ovoj metodi. Nomogram služi da se na temelju potrebnih i raspoloživih podloga izračuna ukupna mjesečna evapotranspiracija, te mjesečna norma natapanja. Neophodni ulazni podaci za ovaj proračun su: srednja mjesečna temperatura (t), trajanje dnevnog svjetla ($p\%$) koeficijent usjeva (K) i korekcijski faktor »d« za jedinično natapanje.

3.2.4.2. Analiza parametara formula (1) do (7)

Sezonski faktor potrošnje P može se izračunati za svako područje za koje nam stoje na raspolaganju podaci o srednjoj mjesečnoj temperaturi i postotak trajanja dana iz astronomskih tablica. Konzumna potreba se zatim dobije množeći F sa sezonskim empirijskim faktorom K, dakako uz uvjet da je K poznat.



Sl. 7. Nomogram G. Guyona za određivanje mjesečne ET po Blaney-Criddeu

Sezonski empirijski faktor K utvrđen je za sve važnije usjeve na većem broju eksperimentalnih stanica na Zapadu u SAD, i to tako što je mjerena mjesečna potrošnja vode na evapotranspiraciju, a zatim uspoređena s temperaturom i fazom uzrasta biljke. Vrijednost koeficijenta je zatim izraču-

nata iz jednostavnog odnosa $K = \frac{U}{F}$. Tako dobiveni rezultati se međusobno

unekoliko razlikuju, što se pripisuje različitosti uvjeta pod kojima su pokusi vršeni, ikao što je tlo, opskrba vodom i sl. S druge strane, slični pokusi vršeni u humidnim zonama Istoka SAD ne upućuju na zaključak da postoji iole značajnija razlika. Prema tome, K treba shvatiti kao parametar ovisan prvenstveno o biljci, a ne o klimi i geografskom području, pa se može »prenositi« iz jedne zone u drugu. Osnovne vrijednosti ovog faktora za glavne natapne usjeve daju se u tabeli 7:

Tabela 7.

Kultura	Trajanje vegetacije	Vrijednost koeficijenta K
1. Riža	3—5 mjeseci	1,00—1,10
2. Lucerna	između mrazeva	0,80—0,90
3. Kukuruz	4 mjeseca	0,75—0,85
4. Grah	3 mjeseca	0,60—0,70
5. Krumpir	3—5 mjeseci	0,65—0,75
6. Pamuk	7 mjeseci	0,60—0,70
7. Sorghum	4—5 mjeseci	0,70—0,80
8. Uljana repica	3—5 mjeseci	0,65—0,75
9. Lan	7—8 mjeseci	0,60
10. Livade	između mrazeva	0,75—0,85
11. Soja	140 dana	0,65—0,70
12. Šećerna repa	6 mjeseci	0,65—0,75
13. Duhan	4 mjeseca	0,70—0,80
14. Rajčica	4 mjeseca	0,65—0,70
15. Vinogradi	5—7 mjeseci	0,50—0,60
16. Voćnjaci	7 mjeseci	0,50—0,65

Vrijednosti u tabeli su predložili Blaney i Criddle. Vidi se da su vrijednosti date u rasponu, što je rezultat opažanja. Po pravilu niže vrijednosti se odnose na humidnu, a više na aridnu klimu, no, međutim, nisu isključena odstupanja od ovih veličina. Trajanje vegetacije ovisi o sorti i vremenu u godini kada se biljka uzgaja. Mjesečni ili kratkoročni empirijski koeficijent k pokazuje još veća odstupanja nego sezonski K. Ova se pojava pripisuje većem broju utjecaja, od kojih su najvažniji temperatura i faza razvoja biljke, pa će se ti elementi nastavno i obraditi.

Još 1954. Phelan je pokušao uspostaviti korelativnu vezu između mjesečnog empirijskog faktora k i srednje mjesečne temperature. Naime, promatranja su pokazala da su dobivene vrijednosti za k iste temperature bile veće u proljeće nego na kraju sezone. Zbog toga je i uveden koeficijent faze razvoja biljke, k_c .

Utjecaj temperature je uključen s pomoću temperatunog koeficijenta k_t , koji je već prije opisan.

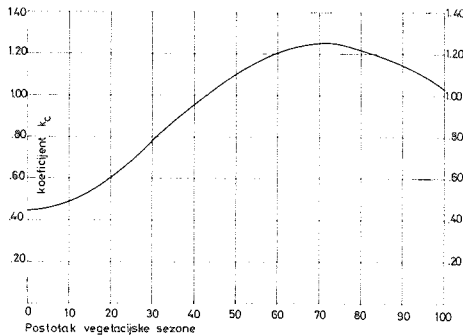
Kao što je već naglašeno, jedan od glavnih faktora koji uzrokuje promjenu potrošnje vode za vrijeme vegetacijske sezone je faza razvoja biljke. Nema nikakve sumnje da će neki usjev kod istih klimatskih uvjeta trošiti više vode u nekoj višoj razvojnoj fazi nego kod nicanja. Po istom principu razlikuju se višegodišnje od jednogodišnjih biljaka.

Da bi se uzela u obzir karakteristika te varijacije, uveden je u formulu koeficijent faze razvoja biljke, k_c . Ovaj je koeficijent dobiven mjerenjem na odgovarajućim eksperimentalnim stanicama. Kad se vrijednosti ovog koeficijenta postave u odnos prema vremenu, odnosno fazi razvoja biljke, dobiju se krivulje prikazane na slikama 8 i dalje, koje obuhvaćaju naše osnovne natapne usjeve.

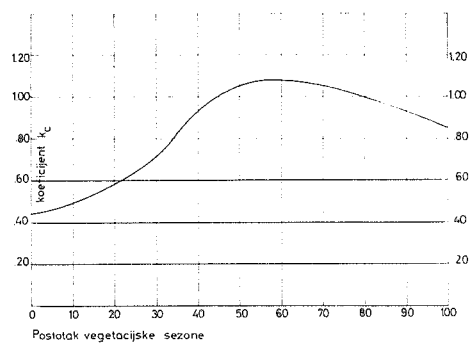
Nema sumnje da na veličinu ovog koeficijenta utječu i neki drugi faktori, pa su u pojedinim zonama moguća odstupanja od navedenih vrijednosti. Bez obzira na to, korištenje podataka iz navedenih krivulja može biti samo korisno u svakoj prilici.

3.2.4.3. Primjena formule na druga područja

Jedna od osnovnih karakteristika ove metode proračuna je u tome da je njena primjena moguća gotovo u svim klimatskim područjima. Struktura formule je takva, da se od lokalnih parametara traži samo p (trajanje dnevnog svjetla), što je svugdje i svima lako dostupno, i srednja temperatura zraka t , što je obično između svih meteoroloških parametara, u najvećoj mjeri raspoloživo.



Sl. 8. Koeficijenti faza razvoja za šećernu repu



Sl. 9. Koeficijenti faza razvoja za kukuruz za zrno

Ostale parametre, vezane uz razvoj biljke, moguće je prenositi na velike udaljenosti, u potpuno drugačije klimatske uvjete bez bojazni da dođe do krupnijih odstupanja u rezultatima. Dakako, ako u danom području postoje podaci o potrošnji vode za pojedine kulture, te ćemo podatke kao mjerodavne i koristiti. Ipak, pri korištenju formule i drugih podataka u takvim drugačijim uvjetima od onih u kojima je formula izvedena, treba uzeti u obzir slijedeće:

a) sezonska potreba vode U direktno je proporcionalna faktoru konzumne potrebe F;

b) Rast i prinosi bilja nisu ograničeni pomanjkanjem vode u bilo kojem stadiju razvoja;

c) Višegodišnji i neki drugi usjevi troše vodu i iza mrazeva, no u proračunu se, međutim, to ne uzima u obzir.

Radi potpunosti podataka ovdje se daju vrijednost za p samo za područje Jugoslavije i susjednih zemalja.

Tabela 8.

TRAJANJE DUŽINE DANA PO MJESECIMA
U % OD GODIŠNJEG ZBROJA

Sjeverna zemljopisna širina	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
47	6,25	6,45	8,27	9,14	10,45	10,63	10,73	9,84	8,44	7,54	6,32	5,93
46	6,33	6,50	8,28	9,11	10,38	10,53	10,63	9,79	8,43	7,58	6,37	6,05
45	6,40	6,54	8,29	9,08	10,31	10,48	10,57	9,75	8,42	7,61	6,43	6,14
44	6,48	6,57	8,29	9,05	10,25	10,39	10,49	9,71	8,41	7,64	6,50	6,22
43	6,55	6,61	8,30	9,02	10,19	10,31	10,42	9,66	8,40	7,67	6,56	6,31
42	6,61	6,65	8,30	8,99	10,13	10,24	10,35	9,62	8,40	7,70	6,62	6,39
41	6,68	6,68	8,31	8,96	10,07	10,16	10,29	9,59	8,39	7,72	6,68	6,47

3.2.4.4. Računski primjer

Da bismo pokazali konkretno značenje pojedinih parametara formule Blaney-Criddle, te da bi izlaganje i razumijevanje primjene bilo što zornije, u nastavku ćemo izraditi jedan računski primjer. Za ovu smo priliku uzeli kukuruz za zrno u području doline rijeke Mirne, za koju vrijede podaci meteorološke stanice Poreč. Usvojena je dužina vegetacijske sezone od 120 dana s početkom 10. travnja. Potreba vode je računata za intervale od mjesec dana. U tabeli 9 dati su svi značajni podaci proračuna. Unošenje vrijednosti u pojedine kolone tabele uglavnom je jasno. Proračun mjerodavne temperature uglavnom se obavlja linearnom interpolacijom, s tim što se smatra da se promatrana vrijednost (srednja) odnosi na 15-ti u mjesecu. Npr. srednje temperature u Poreču su za travanj 11,7 °C, svibanj 16,1 °C, itd., pa će za 20. travanj biti:

$$t_{20} = 11,7 + \frac{5 (16,1 - 11,7)}{30} = 12,4 \text{ °C}$$

Slično se radi i za dužinu dana. Uzmimo isti primjer

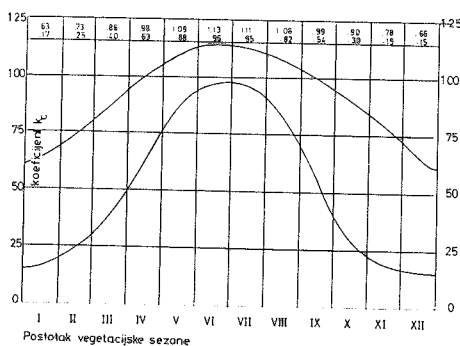
$$p = \left[9,09 + \frac{20 (10,33 - 9,09)}{30} \right] \frac{20}{30} = 6,06\%$$

Tabela 9.

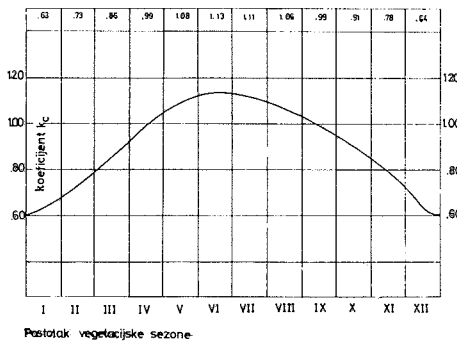
PRORAČUN PROSJEČNE DNEVNE, MJESEČNE
I SEZONSKE POTROŠNJE VODE ZA KUKURUZ
ZA PODRUČJE DONJE MIRNE (POREČ)

Vegetacijski period	Sredina perioda	Zbroj dana do sredine	% vegetacije sezone	Srednja dnevna temperatura °C	% trajanja svjetla	Faktor kulture	Mjesečna potrošnja vode mm	Dnevna potrošnja vode mm
1	2	3	4	5	6	7	8	9
travanj 10.	travanj 20.	10	8,8	12,4	6,06	0,48	25,09	1,25
svibanj	svibanj 15.	35	29,2	16,1	10,33	0,70	83,01	2,68
lipanj	lipanj 15.	66	55,0	20,0	10,48	1,08	168,62	5,62
srpanj	srpanj 15.	96	80,0	22,3	10,59	1,00	181,26	6,04
kolovoz	kolovoz 15.	116	96,6	21,9	2,56	0,80	37,66	4,70
kolovoz 8.							495,64	

Vrijednosti za mjesečnu potrebu vode u koloni 8 računane su po formuli (7), dok su vrijednosti za klimatski koeficijent očitane iz dijagrama.



Sl. 10. Koeficijenti faza razvoja
za listopadno voće



Sl. 11. Koeficijenti faza razvoja
za lucernu

Količina jednodnevne potrošnje dobivena je tako, što je mjesečna potreba navedena u koloni 8 podijeljena s brojem dana u mjesecu.

3.2.4.5. Maksimalna dnevna potrošnja

Maksimalna dnevna potrošnja je jedan od ključnih parametara za planiranje natapanja, kao i za utvrđivanje pravila natapanja cijelog vodoprivrednog sustava.

Općenito uzevši, ove veličine ne nastupaju kod svih usjeva u isto vrijeme, međutim, bitan je ukupni maksimum za čitavo melioracijsko područje. Iz iskustva je poznato da ova vrijednost u najvećoj mjeri ovisi o temperaturi zraka i o čestini i normi natapanja. Shodno tome Criddle je izradio formulu za proračun maksimalnih dnevnih potreba, čiji su rezultati brojčano prikazani u tabeli 10.

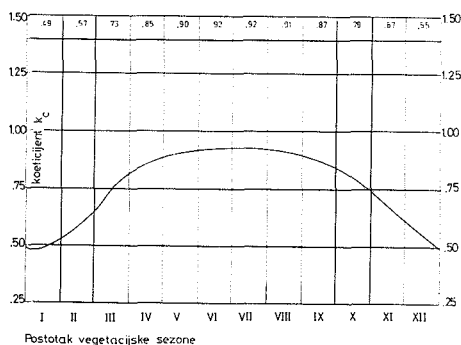
Tabela 10.

VRIJEDNOSTI MAKSIMALNE DNEVNE POTROŠNJE U MJESECU
NAJVEĆE IZRAČUNATE ET_p U OVISNOSTI O NORMI ZALIJEVANJA

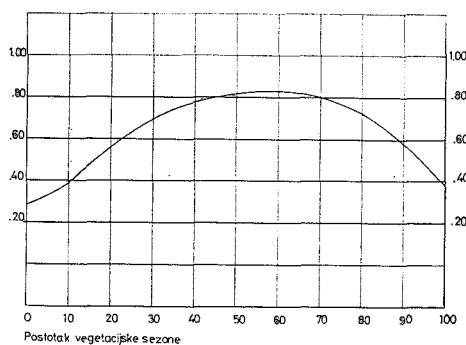
Norma zalijevanja mm	ET za mjesec najveće potrošnje					
	100	120	140	160	180	200
	Maksimalna dnevna potrošnja mm					
25	5,4	6,6	7,6	8,6	9,7	10,8
50	4,6	5,5	6,4	7,3	8,2	9,1
75	4,1	4,9	5,7	6,6	7,4	8,2
100	3,8	4,6	5,4	6,2	6,9	7,3
125	3,6	4,3	5,0	5,7	6,5	7,2
150	3,5	4,2	4,8	5,5	6,2	6,9
175	3,4	4,0	4,6	5,3	5,9	6,5

3.2.4.6. Efektivna oborina

Opskrba vodom poljoprivrednih usjeva vrši se iz dvaju izvora: natapanjem i iz efektivne oborine. Koji će od ovih dvaju izvora biti prevladavajući, ovisi o klimatskim karakteristikama područja. S obzirom na to da gotovo nigdje u svijetu ne postoje podaci o efektivnim oborinama, to ih treba izračunati iz ukupnih oborina.

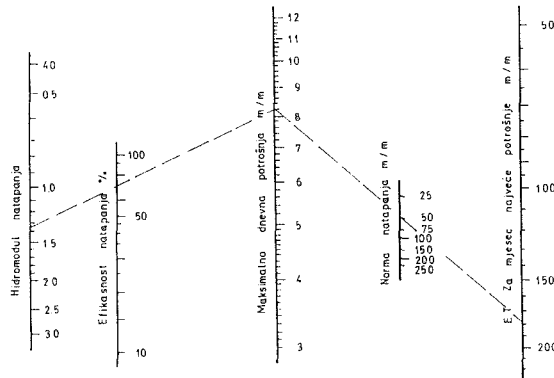


Sl. 12. Koeficijenti faza razvoja za livade



Sl. 13. Koeficijenti faza razvoja za povrće

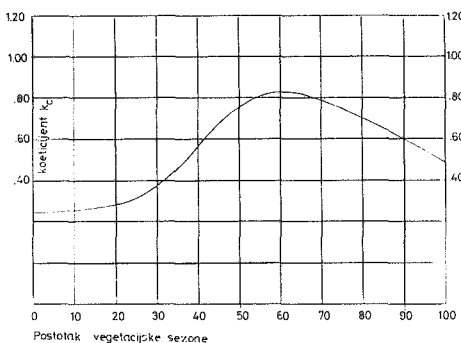
Ima više faktora koji utječu na ovu veličinu, od kojih su najznačajniji ukupne oborine, evapotranspiracija i norma natapanja.



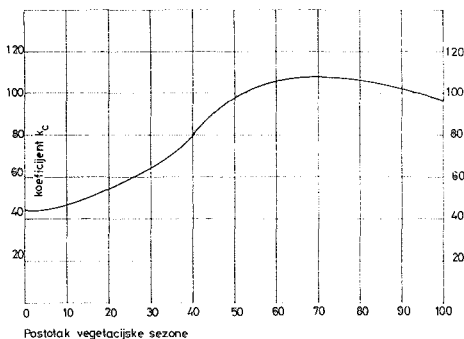
Sl. 14. Nomogram za proračun hidromodula natapanja na bazi podataka koji su vidljivi na grafikonu (prikazan numerički primjer)

O količini i učestalosti oborina ovisi koji će biti udio efektivne oborine u odnosu prema ukupnoj, odnosno iskoristivosti, poniranju i otjecanju. Odlučujuću ulogu u tome imaju klimatske karakteristike: odatle vrlo visok postotak efektivnih oborina u aridnom ambijentu, i obrnuto, nizak u humidnom.

Visok stupanj evapotranspiracije ima također značajan utjecaj na iskoristivost oborina. Što je potrošnja veća, to je veća vjerojatnost boljeg korištenja kiše, jer se zalihe vode u tlu intenzivnije troše, pa postoji mogućnost većeg skladištenja od eventualnih oborina.



Sl. 15. Koeficijenti faza razvoja za rajčicu



Sl. 16. Koeficijenti faza razvoja za silažni kukuruz

Netto-norma natapanja je direktno ovisna o kapacitetu tla za vodu. Očigledno je da je učestalost i visina oborine koja može biti uskladištena u aktivnom sloju tla, direktno proporcionalna i ovisna o kapacitetu tla za vodu.

Na temelju mnogobrojnih promatranja provedeni hu SAD, Soil Conservation Service izradio je empirijske izraze za proračun ovih veličina, ovisno o parametrima koji su opisani. Na temelju ovih izrađena su potrebna pomagala u obliku grafikona i tabela, koji se vrlo jednostavno primjenjuju. U tabeli 11 dat je jedan od intervala proračunatih efektivnih oborina (svedeno na metarski sustav). U nedostatku drugog materijala ovo može korisno poslužiti u svakodnevnoj praksi. Sve vrijednosti u tabeli izračunate su uz pretpostavljenu netto-normu natapanja (jedan obrok) od 76 mm. Za neku drugu vrijednost podatke iz tabele treba reducirati sa slijedećim faktorima:

Netto-norma (mm)	19,0	25,4	38,1	50,8	63,5	76,2	101,6
Faktor (f)	0,72	0,77	0,86	0,93	0,97	1,0	1,02

Tabela 11.

PEOSJEČNA MJESEČNA EFEKTIVNA KIŠA
U OVISNOSTI O SREDNJOJ MJESEČNOJ OBORINI
I EVAPOTRANSPIRACIJI (ZAKRUŽENO)

Srednja mjesečna oborina P_t mm	Srednja mjesečna evapotranspiracija ET u mm								
	0,0	25	51	76	102	127	152	178	203
	Prosječna mjesečna efektivna oborina, P_e u mm								
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	15,0	16,0	16,8	17,8	18,8	19,8	21,1	22,4	23,6
51	28,9	30,7	32,2	34,3	36,3	38,3	40,4	42,9	45,2
76		43,9	46,5	49,3	52,1	55,1	58,2	61,5	65,0
102		56,6	59,9	63,2	66,8	70,9	74,9	79,2	83,6
127			72,6	76,7	81,3	85,8	90,7	96,0	101,6
152				89,6	95,0	100,3	106,2	112,3	118,6
178				102,3	108,2	114,5	121,2	128,0	135,4
203					121,4	128,3	135,6	143,5	151,6

Jedina ograničenja upotrebe tabele 11 su da efektivna oborina ne može prekoračiti prosječnu mjesečnu evapotranspiraciju ET, odnosno srednju oborinu P_t . Ukupna količina efektivne oborine za čitavu sezonu dobiva se zbrajanjem svih mjeseci i njihovih dijelova za period trajanja vegetacije razmatranog usjeva.

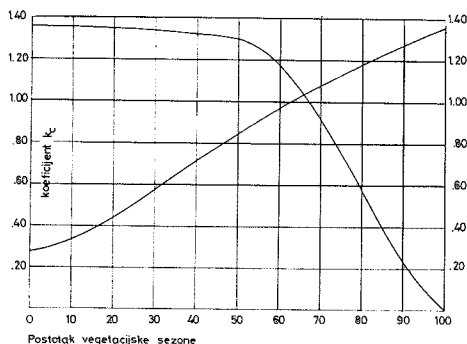
Dok je evapotranspiracija podvrgnuta minimalnim varijacijama iz godine u godinu, dotle su prosječne oborine, a s tim u vezi i efektivne, podložne značajnim godišnjim odstupanjima. Shodno tome, iste takve značajne varijacije nastupit će u potrebi dodavanja netto-volumena vode natapanjem.

Na temelju navedenog očigledno je da se sustav za navodnjavanje ne može projektirati na bazi prosječnih vrijednosti, jer bi on zadovoljio samo

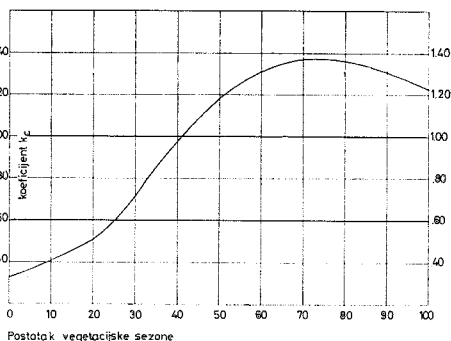
po prilici u 50% vremena. Zbog toga se pojavljuje nužnost da se procjena efektivne oborine i norme natapanja vrši na bazi vjerojatnosti, pri čemu se postotak pojave određuje na osnovi ekonomskih kriterija. Npr., dok će za neku visokovrijednu kulturu, kao što je jagoda ili drugo voće osiguranje od 90% biti potpuno gospodarski opravdano, dotle će npr. za pašnjake ili sl. vrijednost od 60% biti sasvim zadovoljavajuća.

Pri utvrđivanju raspodjele vrijednosti polazi se od pretpostavke da se za određenu lokaciju i period vegetacije efektivna oborina mijenja iz godine u godinu, po istom zakonu kao i varijanca ukupnih oborina. Dakako, pri tome se uzima da su drugi utjecajni faktori neizmijenjeni. Analiza vjerojatnosti se zatim provodi po uobičajenom postupku, vodeći pri tome računa o tome da treba koristiti niz promatranja od 25 ili više godina. Postupak je vrlo jednostavan ako se koristi papir logaritamske normalne raspodjele. Nakon toga se iz grafikona bira, ovisno o postotku osiguranja, odgovarajuća vrijednost oborine na temelju prosječne za vegetacijski period dane kulture.

Za manje površine i približne proračune, gdje želimo izbjeći dugotrajan posao na izradi raspodjele vjerojatnosti oborina u vegetacijskoj sezoni za svaku pojedinu kulturu, možemo se poslužiti i približnim postupkom. Sa stoji se u tome da se primjenjuje prosječan odnos za prosječnu efektivnu oborinu u vegetacijskoj sezoni, da bi se dobila prosječna sezonska efektivna oborina za svaki postotak osiguranja. U tabili 12 dati su podaci za najčešće područje primjene.



Sl. 17. Koeficijenti faza razvoja za ozima žitu



Sl. 18. Koeficijenti faza razvoja za krumpir

Vratimo se opet na prijašnji računski primjer, tj. natapanje kukuruza za zrno na dolini rijeke Mirne. Ukupna godišnja prosječna oborina u Poreču je 957 mm. Iza tabele 13, u kojoj su prikazani i ostali rezultati proračuna, vidi se da za osiguranje od 80% mjerodavna efektivna oborina za ovu kulturu, koju treba uzeti u obzir kod proračuna, iznosi 161,2 mm.

Potrebna količina vode za navodnjavanje u prvom redu ovisi o evapotranspiraciji, zatim o prihodu od efektivne oborine, skladištenju zimske vlage i eventualnom doprinosu podzemne vode.

Tabela 12.
 PROSJEČNI ODNOSI
 ZA IZRACUNAVANJE EFEKTIVNIH IZ UKUPNIH OBORINA

Prosječna godišnja oborina mm	Postotak osiguranja				
	50	60	70	80	90
457	0,95	0,89	0,82	0,74	0,65
508	0,96	0,90	0,83	0,75	0,67
558	0,96	0,90	0,84	0,77	0,69
610	0,97	0,91	0,84	0,78	0,70
660	0,97	0,92	0,85	0,79	0,71
711	0,97	0,92	0,86	0,80	0,72
762	0,97	0,93	0,87	0,81	0,73
889	0,98	0,93	0,88	0,82	0,75
1.016	0,98	0,94	0,89	0,83	0,77
1.143	0,98	0,94	0,90	0,84	0,78
1.270	0,98	0,95	0,91	0,85	0,79
1.397	0,99	0,95	0,91	0,86	0,80
1.523	0,99	0,95	0,91	0,87	0,81

Doprinos od zimskih oborina je vrlo teško procijeniti, jer ovisi o velikom broju faktora, a znatno varira iz godine u godinu. Najčešće se ova vrijednost za naše prilike kreće oko 50 mm.

Doprinos podzemne vode kao prihod vlage u aktivnom sloju tla je također vrlo teško procijeniti. Za ovu kategoriju gotovo je nemoguće dati bilo kakvu preporuku, jer to može varirati od nule do vrlo visokih vrijednosti. Analizu treba izvršiti za svaki konkretni slučaj posebno.

Općenito uzevši, netto-norma natapanja, odnosno netto potrebna količina vode dobiva se, kada se od izračunate potrebe za evapotranspiracijom odbiju količine dobivene iz drugih izvora (efektivna oborina, doprinos od zimske vlage, itd.).

U tabeli 13 netto-norma natapanja računata je s osiguranjem od 80% (može biti prekoračena 2 puta u 10 godina). Pretpostavlja se da je doprinos od zimske vlage 50 mm, i da je to ujedno poljski vodni kapacitet. Dopušta se spuštanje postotka vlage na 50% poljskog vodnog kapaciteta, odnosno 25 mm, s tim da se na kraju sezone iskoristi u cijelosti.

Iz iskustva znamo da efikasnost natapanja ne može nikada dostići 100%. Glavni su gubici na isparavanje, poniranje i otjecanje. Kod tala s visokim vrijednostima infiltracije značajni će gubici biti na poniranju, dok obratno, u slabo propusnih tala, prevladavat će gubici na površinsko otjecanje.

Kod naglašene topografije značajni gubici na poniranju mogu se pojaviti primjenom gotovo svih vrsta površinskog natapanja. Kod tala s malim padom ovi su gubici obično bitno manji.

Klimatski su faktori ponegdje također od bitnog utjecaja. Tako se kod aridnog klimata s visokim temperaturama i jakim vjetrovima mogu pojaviti visoki gubici na isparavanje, naročito kod natapanja kišenjem.

Tabela 13.

PRORAČUN MJESEČNIH I SEZONSKE POTREBE VODE
ZA NAVODNJAVANJE ZA KUKURUZ U DONJOJ MIRNI (POREČ)

Mjesec	Pro- sječ- na mje- sečna evapo- trans- pira- cija m/m	Pro- sječ- na mje- sečna o- bo- rina P _t m/m	Pro- sječ- na mje- sečna e- fek- tivna obori- na P _e m/m	Do- pri- nos od zim- ske vlage (pre- nos) m/m	Pro- sječ- na net- nor- nata- panja m/m	Pro- cije- nena sječ- nost brut- nata- panja (par- cela) m/m	Pro- sječ- na to- nost m/m	80% vri- jed- nost mje- sečne obo- ri- ne m/m	80% vri- jed- nost efek- tivne obo- ri- ne m/m	80% vje- rojat- nost do- nosa zim- ske vlage m/m	Net- to- ma nata- nja m/m	Brut- to- ma nata- nja m/m
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
				50,0						50,0		
Travanj 10.	25,1	(71)	28,6	50,0	0	70	0	(58,9)	21,2	46,2	0	
Svibanj	83,0	73	44,7	25,0	14,3	70	20,4	60,6	36,8	25,0	25,0	35,7
Lipanj	168,6	75	55,1	25,0	113,5	70	162,1	62,2	48,2	25,0	120,0	171,4
Srpanj	181,3	66	50,8	25,0	130,4	70	186,3	54,8	42,7	25,0	138,6	198,0
Kolovoz	37,7	(83)	14,2	(1,6)	—	70	—	(67,9)	12,3	0,0	0,4	0,6
Ukupno	495,7	368	193,4	50,0	258,2	70	368,8	305,4	161,2	50,0	284,0	405,7

Pravilan izbor vrste natapanja, naročito s obzirom na pedološke i topografske karakteristike tla, može dosta utjecati na efikasnost pogona. Tako npr. prelijevanje na ravnoj površini s gustim sklopom biljaka može biti znatno efikasnije od kišenja, ali zato kišenje može biti znatno efikasnije na tlu s većim nagibom, pogotovo ako nema vjetra, itd.

Ima još čitav niz faktora koji utječu na efikasnost, kao npr. pravilno projektirani i montirani elementi za dovod i kontrolu raspodjele vode, kvalificiranost i obučenosť radnika u pogonu, ponovna upotreba viškova, vode itd.

Što se pak tiče gubitaka vode u dovodnom sustavu, treba naglasiti da između zahvata i mjesta potrošnje, oni mogu biti toliko značajni da mogu doseći polovinu od ukupno kaptirane količine vode. Ovi se gubici uglavnom sastoje od:

- procjeđivanja iz cjevovoda, kanala i jarkova;
- procjeđivanja kod zapornica i drugih građevina u mreži;
- utroška freatičke vegetacije.

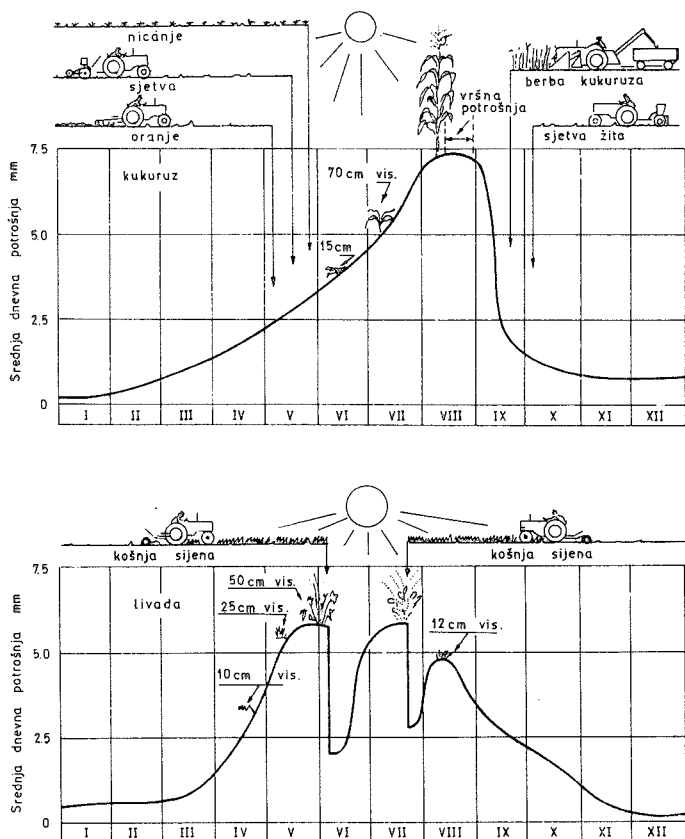
Prve dvije skupine mogu se u značajnoj mjeri reducirati, gotovo i sasvim eliminirati kvalitetnim projektnim rješenjima i solidnim održavanjem sustava. U svakom slučaju, kontrolna mjerenja koja treba povremeno poduzimati dat će dobar uvid u stanje stvari, kako bi se mogle poduzeti određene akcije.

Gubici u objektima za uskladištenje vode, koji se najčešće sastoje od akumulacija ili drugih vrsta rezervoara, mogu se također uvrstiti u nekoliko grupa od kojih su najznačajniji:

a) procjeđivanje koje je najčešće uzrokovano slabim zaštitnim slojem nepropusnog materijala po dnu, kao i velikom dubinom vode;

b) isparavanje sa slobodne vodne površine koje se može procijeniti i s pomoću nekog prikladnog izraza ili s pomoću podataka s isparitelja, obično klase A ako takvi u tom području postoje.

Pogonski gubici uglavnom nastaju od ispuštanja vode, zatim uslijed raznih kvarova u vodu, te viška dotoka vode nad potrošnjom koji je obično uzrokovan iznenadnim kišama. Ovi gubici uvelike variraju od slučaja do slučaja i ovise o tipu sustava i projekta. Oni se obično kreću u granicama od 5 do 30% od zahvaćene vode. U dobro projektiranim i upravljanim sustavima mogu se držati u granicama do 10%.



Sl. 21. Slikovita predodžba toka ukupne potrošnje za vrijeme vegetacijske sezone: gore kukuruz, dolje livada

Nekoliko objašnjenja uz tabelu 13:

- Vrijednosti u koloni (2) uzete su iz kolone (8) tabele 9.
- Vrijednosti iz kolone (3) čine prosječne mjesečne oborine za stanicu Poreč u periodu 1954—1973.

— Kolona (4) izračunata je tako što su korištene vrijednosti kolona (2) i (3) tabele 13 zajedno s tabelom 10 (korišten je faktor redukcije za normu od 50 mm, tj. f 0,93). Vrijednosti u tabeli 11 samo su za cijeli mjesec, pa je potrebno oborinu i ET najprije preraditi na cijeli mjesec, tj. 25, 51, 76, onda izračunati efektivnu oborinu uzimajući linearnu interpolaciju. Dobivamo 46,1 mm. To pomnožimo s faktorom redukcije za primijenjenu normu, tj. $46,1 \times 0,93 = 42,9$. Ovu vrijednost sada vratimo opet na vegetacijski period, tj. 20 dana, i dobivamo 28,6 mm.

— Vrijednosti u koloni (5) mijenjaju se tako da se donos zimske vlage uzima do visine poljskog vodnog kapaciteta (50 mm). S obzirom na to da se dopušta smanjenje nivoa vlage do 50%, to stalno držimo na nivou od 25 mm, koju na kraju u cijelosti potrošimo.

U ovom kratkom prikazu dat je uglavnom cjelokupni tok proračuna potrebne količine vode za navodnjavanje koji se danas u svijetu vrlo mnogo primjenjuje. Dakako da će vrijednostima iz tabele 13 trebati dodati gubitke koji mogu nastati kod dovoda i razvoda vode, a koji su ukratko prije opisani.

Ova je metoda posebno prikladna u našim uvjetima, s obzirom na to da se traži minimum podloga, odnosno promatranih podataka. Zbog toga, uputno je da se u nas i dalje koristi, pogotovo u onim područjima gdje se raspolaze s oskudnim meteorološkim podlogama.

L I T E R A T U R A

1. *FAO Bulletin d'irrigation et de drainage N° 24*: Les besoins en eau des cultures, Rome 1975.
2. *FAO Bulletin d'irrigation et de drainage N° 25*: Précipitations efficiaces, Rome 1977.
3. *Kos, Z.*: Proračun potrebne količine vode za navodnjavanje metodom Blaney-Criddle, Građevinar 11/78.
4. *Ollier, Ch., Poirée, M.*: Irrigation, 5° Edition, Eyrolles, Paris 1981.
5. *U. S. Dept. of Agr., Soil Conservation Service*: National Engineering Handbook, Section 15: Irrigation, Washington D. C.
6. *U. S. Dept. of Agr., Soil Conservation Service*: Technical Release N° 21: Irrigation Water Requirements, Washington D. C.
7. *Trisoldi, A. L.*: L'irrigazione, Edizioni agricole Bologna, 1965.
8. *Vučić, N.*: Navodnjavanje poljoprivrednih kultura, Poljoprivredni fakultet Novi Sad, 1976.

PREKOMJERNA VLAŽNOST I PROIZVODNA SPOSOBNOST TLA

Dr FRANE TOMIĆ, sveuč. prof.

Štete u biljnoj proizvodnji koje nastaju od suvišnih voda su ogromne. Suvišne vode, ne samo da uvjetuju lošije uvjete uzgoja biljaka i smanjenju prinosa, već i otežavaju izvođenje agrotehničkih zahvata od predstajvene obrade tla do berbe, 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 tako se prosječno godišnje ne uspijeva pobrati usjev na oko 7% zasijanih površina. Problemi i štete, koje nastaju u poljoprivredi, mogu se uočiti i s pomoću podatka da je u Hrvatskoj zbog suvišnih voda nesigurna biljna proizvodnja na čak oko 70% obradivih površina.

Suvišna voda može biti površinska i podpovršinska. Podpovršinska se može podijeliti na stagnirajuću i podzemnu vodu.

1. SUVIŠNA POVRŠINSKA VODA

Prema porijeklu suvišna površinska voda može biti oborinska ili vlastita i voda koja dolazi sa strane. Oborinska ili vlastita potječe od oborina koje padnu na proizvodnu površinu. Voda koja dolazi sa strane potječe iz susjednih područja i vodotoka. S viših susjednih područja voda se može 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 čak stalno stagnirati na površini. To su uglavnom močvarna tla, a ima ih samo u SR Hrvatskoj više od 100.000 ha. U zoni korijenova sustava ovih tala prevladavaju anaerobni uvjeti, pa je na njima otežan, ili, bolje rečeno, nemoguć uzgoj poljoprivrednih kultura.

2. SUVIŠNA PODPOVRŠINSKA VODA

To su vode koje tlo saturiraju periodično ili trajno iznad vrijednosti poljskog vodnog kapaciteta. Ovo prevlaživanje može biti u dijelu ili cijelom profilu tla. Po porijeklu vode također mogu biti vlastite ili oborinske i vode koje nailaze sa strane. Međutim, treba razlikovati dvije grupe ovih voda: stagnirajuće suvišne vode iznad slabije propusnog sloja tla koji se nalazi blizu površine terena i podzemne vode. Problem ovih suvišnih voda pojavljuje se na hidromorfnim tlima.

2.1. Stagnirajuća voda

Suvišna stagnirajuća voda na slabije propusnom sloju je karakteristična za pseudoglejna tla, epiglej i amfiglej, kojih ukupno ima u SR Hrvatskoj oko 1,300.000 ha. Kod amfigleja, na suvišnu vodu tla utječe, osim površinske i stagnirajuće vode, još i previsoka razina podzemne vode. Samo u SR Hrvatskoj ima oko 380.000 ha tala s kombiniranim prevlaživanjem. Stagnirajuće vode iznad slabije propusnog sloja uglavnom se pojavljuju u zoni korijenova sustava biljke. 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 što su topivi u vodi) koji utječu ne samo na promjenu boje tla, već su nepovoljni za strukturu tla i za samu biljku. Ova vlažna faza iz zimskog perioda 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 tla s različitim svojstvima. Osnovni cilj melioracija ovih tala je odvođenje suvišne vode iz zone korijenova sustava biljke. Time se regulira vodozračni režim u tlu i onemogućavaju posljedice prekomjerne vlažnosti tla, odnosno izmjene vlažnih i suhih faza.

2.2. Podzemna voda

U širem smislu pod pojmom »podzemna voda« smatra se sva voda koja se nalazi ispod površine tla, odnosno u tlu. S hidrološkog gledišta podzemnom vodom se smatra uglavnom ona koja se u obliku zalihe (slobodna ili voda pod tlakom) nalazi na manjoj ili većoj dubini ispod površine tla. Međutim, s poljoprivrednog gledišta podzemna je ona voda koja je ispunila sve pore tla, tj. saturirala tlo do maksimalnog kapaciteta. Ovdje se misli na vodu koja se nalazi u slojevima tla ispod površine, i to na slobodnu podzemnu vodu, a ne onu koja je na većim dubinama ili pod tlakom (artešku vodu). Ovakvo definirana podzemna voda često se pojavljuje ili je čak stalno prisutna u tlima nekih poljoprivrednih površina. Pojava slobodne podzemne vode nedaleko od površine terena uvjetovana je prisustvom sloja, koji je, zbog malog volumena pora (kompaktne stijene) ili malih dimenzija pora (glina), nepopusan za vodu. Nakon saturiranja površinskog sloja tla, do poljskog vodnog kapaciteta, sva voda koja dolazi od oborina ili pritječe sa strane (iz bližih vodotoka ili uzvišenih terena) procjeđuje se kroz makropore do nepropusnog sloja i, popunjavajući sve pore, formira podzemnu vodu. Ovisno o specifičnim uvjetima, dubina njene razine može biti različita. U našim nekim područjima dospijeva i do površine, pa je riječ o podvodnom ili močvarnom terenu.

Dubina podzemne vode može biti različita, a u mnogim tlima u toku godine oscilira. Ako je stalno prisutna ili se povremeno pojavljuje na dubini manjoj od 2 m, u tom slučaju može uvelike utjecati na tlo i biljnu proizvodnju. U semiglejnom tlu (livadsko tlo) podzemna se voda uglavnom nalazi ispod 1 m dubine i kao takva često utječe na prevlaživanje rizosfere. U ritskoj crnici (humoglej) cijeli profil tla (sve do površine) zasićen je 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 anfiglejnim tlima. Na promjene njezine razine direktno ili

indirektno neminovno utječu količina i raspored oborina, a mogu utjecati i hidrotehnički zahvati koji se namjenski izvode. S obzirom na to da podzemna voda, koja je prisutna u površinskim slojevima tla, uvjetuje u poljoprivredi direktne i indirektno teškoće kao i koristi, u ovom radu će se iznijeti opširnije razmatranje o njoj.

2.2.1. Problemi i koristi koji nastaju prisustvom podzemne vode

Ako se slobodna podzemna voda nalazi u neposrednoj blizini površine tla, dolazi ne samo do određenih teškoća biljne proizvodnje već dolazi u pitanje i mogućnost uzgoja kulturnog bilja na takvim površinama. Poznato je da uspješan uzgoj poljoprivrednih kultura zahtijeva, između ostalih uvjeta i povoljan vodno-zračni režim u rizosferi. Optimalan odnos vode i zraka u zoni korijenova sustava biljaka ovisi o više faktora, a ponajviše o vrsti tla i kulture, te uvjeta uzgoja. Na osnovi mišljenja većeg broja autora: Rode (1960), Vukašinović (1961), Vučić (1964), Tomić (1976), optimalna vlažnost tla za uzgoj poljoprivrednih kultura uglavnom je u intervalu između vrijednosti poljskog vodnog kapaciteta i lentokapilarne vlažnosti. Pri vlažnosti tla u ovom intervalu prisutna je lako pristupačna voda (voda se u tlu drži snagom od 0,33 do 6,25 bara) i potrebna količina zraka za kulturne biljke. Voda se nalazi u mikroporama, pa su time osigurani osnovni uvjeti za fiziološke procese biljke kroz vegetacijsko razdoblje, tj. uspješan uzgoj poljoprivrednih kultura. Međutim, ako su sve pore tla, u dijelu rizosfere ili u cijeloj rizosferi saturirane vodom (prisutna je podzemna voda) dolazi do djelomičnog, odnosno do potpunog nedostatka zraka u zoni korijena što uvjetuje anaerobne uvjete, i, biljka teže vegetira ili čak potpuno ugiba. Prema tome, za normalan uzgoj kulturnih biljaka potrebno je reguliranjem vodnog režima, osigurati da razina podzemne vode ne pređe granicu koju uzgajana kultura tolerira. Problem tolerantne dubine podzemne vode (pojava zamočvarivanja) i problem kritične dubine (pojava zaslanjivanja) tla razmatralo je više autora u svijetu i našoj zemlji. Nama su bili dostupni podaci: Neugebauer (1949), Kovda (1968), Marjanov i Vučić (1961), Milošev (1967), Miljković et al. (1977), Vučić (1976).

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 promjena u biokemijskim procesima i mineralizaciji organske tvari. S tim u vezi, hranjivi elementi u tlu se ne transformiraju u oblike pristupačne biljkama već u oblike koji mogu biti znatno štetni za kulturne biljke (Shaw, 1952, cit. po Vučiću, 1976). Rezultat toga je da se korijenov sustav slabije razvije, biljke zaostaju u razvoju i 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 u svrhu 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 uopće primjenom agrotehničkih mjera pripremiti i zasijati, pa se već početkom vegetacije nameće neuspjeh u proizvodnji.

Ako je podzemna voda koja se nalazi u neposrednoj dubini slana, to još više otežava mogućnost uzgoja kulture. U tom slučaju dolazi do pojave zaslanjivanja rizosfere, što je znatno štetnije od pojave zamočvarivanja. Razmatrajući pojavu zamočvarivanja i zaslanjivanja vrlo značajno je poznavati koja je dubina podzemne vode tolerantna u vezi sa zamočvarivanjem, odnosno, koja dubina je kritična pri zaslanjivanju rizosfere. I tolerantna i kritična dubina podzemne vode ovisi o više činilaca, a najviše: o svojstvima tla, karakteristikama klime, vrsti uzgoja kulture, a kritična dubina još i o stupnju zaslanjenosti podzemne vode (Neugebauer, 1949). Zbog utjecaja većeg broja faktora još uvijek ove vrijednosti nisu u potpunosti razjašnjene. Marjanov i Vučić (1961) iznose da se općenito smatra da najpliću podzemnu vodu, koja sadrži soli, toleriraju livade i pašnjaci, i to na dubini 50—70 cm. Neke povrtne kulture dobro podnose podzemnu vodu ako je njezina razina na 60—80 cm dubine. Navodi Marjanova (1964) pokazuju da većina ratarskih i industrijskih kultura (pšenica, kukuruz, šećerna repa, suncokret i duhan) toleriraju podzemnu vodu na dubini 1,0—1,5 m, a djeteline, uljana repica i voćarske kulture (šljive i kruške) na 1,5 m dubine. Međutim, ako je podzemna voda slana, postoji mogućnost da se, uslijed kapilarnog dizanja, tlo u području rizosfere zaslanji, pa je u tom slučaju kritična dubina znatno veća.

Budući da kapilarno dizanje podzemne vode znatno ovisi o klimatskim prilikama (veća temperatura uvjetuje intenzivnije ishlapljivanje, a time se pospješuje i kapilarno dizanje vode u tlu), Kovda (1968) je, na bazi temperature zraka, dao formulu za grubo određivanje kritične dubine razine podzemne vode:

$$y = 170 + 8 t \pm 15$$

y = kritična dubina podzemne vode u cm

t = srednja godišnja temperatura zraka u °C

Prema tome, gdje su srednje godišnje temperature zraka oko 10 °C (kao što je u većem dijelu naše zemlje), kritična dubina podzemne vode iznosi 235—265 cm.

Mišljenje je Miljkovića et al. (1977) da kritična razina podzemne vode ovisi, pored spomenutih faktora, i o brzini kretanja podzemne vode i o kapilarnom potencijalu.

Razmatrajući podatke iz literature, isti autori navode formulu za određivanje kritične dubine podzemne vode:

$$z = \int \frac{\Delta\Psi}{1 + \frac{V_m}{k}}$$

z = kritična dubina pri kojoj ne postoji opasnost od zaslanjivanja podzemnom vodom u cm

Ψ = kapilarni potencijal u cm

V_m = kritična brzina kapilarnog dizanja u cm/dan

k = kapilarni konduktivitet, u cm (u stvari, to je funkcija kapilarnog potencijala, $k = f(\Psi)$, odnosno:

$$V_m = \frac{10 \cdot Q}{C_s \cdot T}$$

Q = kritična količina topivih soli u vodi, koeficijent solnog režima ili prirodni potencijal ispiranja tla u t/ha

C_s = prosječna koncentracija rastvora tla koji se kapilarno kreće u g/l ili kg/cm^3

T = trajanje vertikalnog kapilarnog dizanja za dati vremenski period u danima.

S obzirom na to da brzina gibanja podzemne vode, a pogotovo kapilarni potencijal — zbog dinamike vlažnosti tla u toku godine varira, kritična dubina nije statična već promjenljiva vrijednost. U vezi s tim i pojam »kritična dubina podzemne vode« autori definiraju kao »kritični režim podzemne vode«.

Poznavajući postojeće ili moguće opasnosti od zamočvarivanja i zaslanjivanja tla, pouzdanim određivanjem tolerantne, odnosno kritične razine podzemne vode, moguše je na pravilan način primjenjivati preventivne i meliorativne mjere u svrhu uspješnog uzgoja poljoprivrednih kultura.

Nasuprot štetnom djelovanju, podzemna voda može i korisno utjecati na poljoprivredne kulture. Ako je u određenim uvjetima njezina razina na povoljnoj dubini u odnosu na rizosferu, njen koristan utjecaj pri uzgoju biljaka može biti vrlo značajan. Poznato je da se iznad razine podzemne vode, uslijed kapilarnog dizanja, vlaži manji ili veći sloj tla. Na taj se način pore tla, iznad same razine vode, najviše saturiraju vodom, a prema površini tla saturiranost u porama opada. Ako se u toku vegetacije poljoprivrednih kultura ili samo u nekim njezinim razdobljima pojavljuju suše, prisustvo podzemne vode na povoljnoj dubini predstavlja, u stvari, potreban izvor vode za rast i razvoj kultura. Koja je dubina podzemne vode korisna, odnosno optimalna u svrhu uzgoja, poljoprivrednih kultura, još uvijek zbog udjela više faktora, nije na potreban način izražena. U svakom slučaju, u sušnim razdobljima u toku vegetacije potrebno je da dubina vode bude (ako nije zaslanjena) u blizini glavne mase normalno razvijenoga korijenova sustava biljke. Po Marjanovu i Vučiću (1961) ova dubina bi iznosila, za većinu kulturnih biljaka, oko 2 m ispod površine.

Milošev (1967) navodi da je za normalni razvoj biljke potrebno da u porama rizosfere ima dovoljno vode i zraka. Ako je razina podzemne vode u neposrednoj blizini rizosfere, odnosno ukoliko se sloj rizosfere vlaži kapilarnim putem od podzemne vode, tada je vrlo značajan odnos vode i zraka u području korijenova sustava. Po Rodeu (1955) ovaj odnos se može izraziti određivanjem poroziteta aeracije:

$$A = P - KV$$

A = porozitet aeracije u vol. %

P = ukupan porozitet u vol. %

KV = kapilarna vlažnost u vol. %

Poznato je da su tla, koja imaju porozitet aeracije iznad 10 vol. % dobro aerirana. Od 10 do 6 vol. % aerirana, a na tlima koja imaju porozitet aeracije ispod 6 vol. % uzgoj mnogih poljoprivrednih kultura dolazi u pitanje. Vrijednost poroziteta aeracije ovisi, osim dubine podzemne vode, u znatnoj mjeri i o svojstvima tla. Istraživanja Miloševa (1967) su pokazala da je tlo Novosadskog rita i pored dubine podzemne vode na svega oko 50 cm, dovoljno aerirano u cijeloj dubini (do 50 cm) uz prosječan porozitet aera-

cije oko 18 vol. %. Ovakav slučaj je rezultat zaoravanja površinskog sloja bogatog humusom (10—12%) i činjenica da je tlo lakšeg mehaničkog sastava, pa je kapilarno vlaženje manje izraženo a veće dimenzije pora u tlu uvjetovale su povoljan porozitet aeracije i iznad same razine podzemne vode. Na drugom lokalitetu, dubina podzemne vode bila je na oko 85 cm, a povoljna areacija (oko 14 vol. %) samo u sloju do oko 50 cm dubine. Na oba lokaliteta postignuti su dobri prinosi ratarskih kultura. Međutim, Marjanov i Vučić (1961) iznose da je u Morošinskom ritu na težem tlu, pri dubini podzemne vode na oko 60 cm, porozitet aeracije (do 40 cm dubine) iznosio svega 3—4 vol. %, pa je nastupilo gušenje biljaka suncokreta. S obzirom na to da se dobar dio naših poljoprivrednih površina nalazi kroz cijelu vegetaciju ili u nekim njenim 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 je tlima prvenstveno potrebno primjenom drenaže sniziti dubinu podzemne vode ispod njezine tolerantne, odnosno kritične dubine.

2.2.2. Korištenje podzemne vode u poljoprivredi i njezina kvaliteta

Osim toga što je u toku vegetacije koristi korijen biljke, u poljoprivredi se podzemna voda često koristi za navodnjavanje i kao izvor za gospodarske potrebe (za domaćinstva, napajanje stoke i druge potrebe). Budući da se u ovom radu razmatra podzemna voda s gledišta biljne proizvodnje i njezin utjecaj na biljku, a ne kao izvor vode za gospodarske svrhe, s toga će se stanovišta iznijeti i pitanje kvalitete vode. Podzemne vode su uglavnom mineralizirane, i to znatno više od površinskih. Ako podzemna voda, utjecajem kapilarnog dizanja vlaži rizosferu ili se treba koristiti za navodnjavanje, potrebno je ispitati i njena kemijska svojstva, s posebnim osvrtom na stupanj njene slanosti. Što je voda mineraliziranija, to može s veće dubine utjecati na pojavu zaslanjivanja tla. U aridnim uvjetima, da se površinski sloja tla ne zaslane, podzemna voda (koja sadrži 10—15 g/l soli) mora biti 250 cm ispod površine tla (Kovda, 1968). Ako je slanost manja, može razina podzemne vode biti i na manjoj dubini. Prilikom koncentracije soli od 1 do 2 g/l njena dubina može biti 150 cm, bez veće opasnosti od zaslanjivanja tla. Svakako da se u ovom slučaju uzima u obzir samo stupanj slanosti podzemne vode, dok je o utjecaju tla, klime i drugih faktora na kritičnu dubinu podzemne vode već prije rečeno.

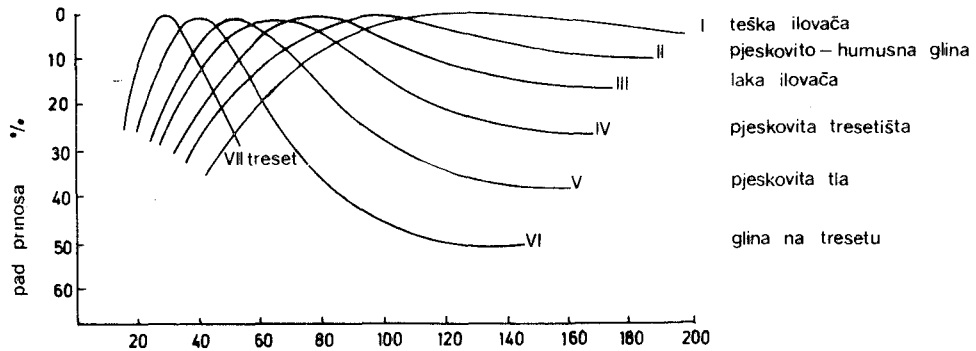
Ako se podzemna voda koristi ili se želi koristiti za navodnjavanje, također je potrebno poznavati sadržaj soli u vodi. Jer, pri navodnjavanju slanom vodom, soli se unose u tlo i kroz određeno vrijeme ga zaslane. Na osnovi sadržaja soli i natrija u vodi postoji više klasifikacija u vezi s upotrebljivošću (kvalitete) vode za navodnjavanje, o čemu će biti riječi u jednom od slijedećih brojeva ovog priručnika.

2.2.3. Reguliranje suvišne vode u svrhu optimalizacije biljne proizvodnje

Poljoprivredne kulture se međusobno razlikuju u odnosu na uvjete vlaženja u zoni korijena. Visoka razina podzemne vode štetno djeluje na biljku indirektno pogoršavanjem aeracije, toplinskih svojstava, mineralne ishrane

i mikrobioloških aktivnosti u tlu. Posljedica toga najčešće su slabiji rast i razvoj biljke kao i smanjenje prinosa.

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 o utjecaju podzemne vode na sedam klasa tla, na relativni prinos (sl. 1). Kod svake klase tla u uvjetima plitke podzemne vode dolazi do



Sl. 1. Prosjek dubine vode u cm ispod površine za vrijeme vegetacijskog razdoblja za razne tipove tala

rasta prinosa pri povećanju razine vode do određene granice. Ova granica ili optimalna dubina pri kojoj se ostvaruju najveći prinosi sve je veća što su tla sitnijeg teksturnog sastava (optimalna dubina podzemne vode puno je manja na klasi tla VII u odnosu na klasu I). Nakon toga prinos opada s povećanjem dubine vode, s tim da krivulja naglje pada što su teksturne čestice tla krupnije. Objašnjenje za ovakav odnos nalazi se u tome da kod plitke vode biljka trpi od nedostatka kisika, dok kod duboke razine pad prinosa uzrokuje manjak vode u rizosferi. Da krupna tekstura tla zahtijevaju pliću razinu podzemne vode u odnosu na fino teksturna (za optimalne prinose), potvrđuju i Fedesovi podaci (1971). Prema Fedesu, optimalna razina podzemne vode za pjeskovita tla kreće se 60—90 cm, a 100—150 cm za glinasta. Dubina između ovih vrijednosti ovisi o tipu tla, kulturi i klimatskim uvjetima. To je logično, jer biljkama s plitkim korijenom odgovara plića razina podzemne vode, a obratno je s biljkama koje imaju razvijeniji korijen.

Williamson i Kriz (1970), na osnovi podataka iz literature navode (tab. 1) odnos prinosa određenih poljoprivrednih kultura i dubine podzemne vode. Podaci pokazuju da pojedine kulture (trava i djetelina) postižu najveće prinose pri plitkoj razini podzemne vode, dok neke kulture kao što su žitarice, grašak, grah i šećerna repa, ostvaruju najveći prinos pri dubini podzemne vode od 150 cm. Ovi rezultati dobiveni su iz eksperimenata gdje su održavane konstatne dubine podzemne vode.

Međutim, Sieben (1964) ukazao je na utjecaj visoke fluktuirajuće podzemne vode, iz razdoblja listopad — travanj, na prinos ozimih i jarih kultura. Pri SEW_{30} , vrijednosti 100—200 prinos žitarica opada.

T a b e l a 1.

RELATIVNI PRINOS KULTURA U POSTOTKU
PRI RAZLIČITIM DUBINAMA PODZEMNE VODE (PREMA WILLIAMSONU)

Kultura	Tlo	Vlaženje	Dubina podzemne vode u cm											
			15	30	40—50	60	75	80—90	100	120	150			
Pšenica	glina	kombinirano	—	—	58	77	89	95	—	—	—	—	—	100
Ječam	glina	kombinirano	—	—	58	80	89	85	—	—	—	—	—	100
Zob	glina	kombinirano	—	—	49	74	85	95	—	—	—	—	—	100
Bijela djetelina	glina	kombinirano	100	97	88	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Trave	glina	podzemno	100	90	92	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Lucerna	ilovača	kombinirano	—	—	—	100	—	—	—	—	—	—	97	—
Kukuruz	ilovača													
	pjeskovita ilovača	kombinirano	45	45	67	70	—	100	—	—	—	—	—	—
Grašak	zamuljena glinašta	kombinirano	—	—	60	90	—	100	—	—	—	—	100	100
Grah	ilovača	kombinirano	—	—	79	84	—	90	—	—	—	—	94	100
Soja	glina	podzemno	64	63	78	100	86	—	—	—	—	—	—	—
Rajčica	glina	kombinirano	9	28	47	60	—	100	—	—	—	—	—	—
Šćerna repa	pjeskovita ilovača	kombinirano	—	—	71	84	—	92	—	—	—	—	97	100
Ulijana repica	pjeskovita ilovača	kombinirano	—	—	77	93	—	94	—	—	—	—	100	98

$$SEW_{30} = \frac{\sum_{i=1}^n (30 - X_i)}{n}$$

Dakle, Sieben je proračunao tzv. SEW_{30} vrijednost, uzimajući da je kritična 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 razine vode od 30 cm.

Izlaganja Tomića et al. (1977) pokazala su 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 mnogo nepovoljnija.

Iz ovog kraćeg prikaza jednog dijela literature o problemu podzemne vode može se uočiti da prvenstveno fizikalne karakteristike tla, klimatski uvjeti i vrsta kulture utječu na dozvoljenu dubinu podzemne vode. Upravo zbog utjecaja više faktora na prinos kultura u odnosu na odstupanja razine podzemne vode od optimalnih granica, teško je koristiti i primjenjivati rezultate iz pojedinih područja za druge lokalitete. U svakom slučaju, glavna svrha ovih istraživanja jest da se određena dozvoljena dubina podzemne vode koristi kao polazni normativ za njeno reguliranje primjenom drenaže u odgovarajućem području.

Danas se smatra da je i u našim uvjetima cijevna drenaža, kao sustav, najefikasnija za reguliranje visoke razine podzemne vode. U posljednje vrijeme u našoj su zemlji provedeni određeni eksperimenti i objavljeno je više radova o sustavima reguliranja prekomjerne vlažnosti tla, a osobito o reguliranju visoke razine podzemne vode (Planenac i Timarić, 1967); Plamenac, 1973; Pejović, 1974; Tomić, 1976; Milošev, 1977; Stojšić, 1977. Istraživanja Vukušića i Čovića (1974), Plamenca i Pejovića (1977), Tomića et al. (1977), Plamenca i Uzelca (1977), Tomaša i Tomića (1977) pokazala su da se uređenje vodnog režima tla, na površinama nizinskog teritorija, gdje je prisutna podzemna voda, najefikasnije rješava primjenom crijevne drenaže.

Višegodišnji eksperimenti koje je proveo Plamenac (1976) na euglejnim tlima Slavonije pokazali su da se primjenom cijevne drenaže ostvaruje pravovremeno odvođenje suvišne vode iz tla, te da se postiže visok efekt pri uzgoju pšenice i kukuruza. Levaković (1976) iznosi da su meliorirane površine primjenom cijevne drenaže na području Vinkovaca, gdje je prisutna visoka podzemna voda, postale vrlo produktivne, te da se cijeli zahvat može vrlo brzo ekonomski isplatiti. Na osnovi grubog proračuna autor iznosi da bi se povećanjem prinosa osigurao povrat uloženi sredstava za 3,59 godina. Po Vukušiću (1976) sustav odvodnje cijevnom drenažom na 15 m razmaka, u težem tlu Posavine, uspješnije je regulirao fluktuirajuću podzemnu vodu u odnosu na druge ispitivane sustave (drenaža na razmaku 46 m, drenaža na razmaku 46 m + krtičenje i slogovanje), a uz to je na toj varijanti postignut najviši i najstabilniji prinos ratarskih kultura. Ostvareni dokazi o pozitivnom utjecaju cijevne drenaže na reguliranje vodo-zračnog režima (posebno u uvjetima visoke podzemne vode), oplemenjivanje tla (poboljšanje fizikalnih svojstava) i povećanje prinosa uvjetovali su da se danas cijevna drenaža kao meliorativna mjera u nas sve više primjenjuje. U ovom trenutku više radnih organizacija posjeduje specijalne strojeve za postavljanje drenova. Dosadašnja iskustva i rezultati ohrabruju.

Na mnogim površinama gdje je do sada, uslijed neuređenog vodnog režima, bila ograničena proizvodnja, ostvareni su uvjeti za napredniju poljoprivrednu proizvodnju. O potrebi reguliranja vodo-zračnog režima u aktivnom profilu tla na većem dijelu poljoprivrednih površina u SR Hrvatskoj, pokazuju podaci u tabeli 2, koje je iznio Pušić (1975) na osnovi pedološke karte.

Prema podacima u SR Hrvatskoj ima oko 786.000 ha na kojima je potrebno primijeniti intenzivnu odvodnju radi reguliranja visoke razine podzemne vode koja još uvijek ograničava ili čak potpuno onemogućuje biljnu proizvodnju.

Uzimajući u obzir postojeće nepovoljno stanje vodo-zračnog režima tla, u dugoročnom planu odvodnje (Pušić, 1974) predviđeno je uređenje vodnog režima tla primjenom meliorativnih mjera — sustava odvodnje na 735.000 ha površine u SR Hrvatskoj. Na ovim površinama neophodna je primjena sustava detaljne odvodnje, a osim toga na određenom dijelu (ovisno o potrebi) izvest će se adekvatni vodoprivredni i poljoprivredni zahvati. Paralelno s ure-

Tabela 2.
POVRŠINA U HEKTARIMA
S NEUREĐENIM VODNIM REŽIMOM

Sistematska oznaka vla	Uzrok zamočvarivanja		Ukupno
	visoka podzemna voda	površinskom i podzemnom vodom	
Pseudoglej srednje oglejen	—	100.000	100.000
Močvarna tla	150.000	200.000	350.000
Aluvijalni nanosi	255.000	50.000	305.000
Ostala tla	1.000	30.000	31.000
Ukupno	406.000	380.000	786.000

denjem vodnog režima, primjenom sustava odvodnje, uređuje se proizvodni teritorij u obliku velikih proizvodnih jedinica, kako bi suvremena mehanizacija mogla pravovremeno i ekonomično izvršiti svaki agrotehnički zahvat u procesu proizvodnje. Ovi zahtjevi, koji se postavljaju pred odvodnju tla i uređenje zemljišta, ističu sustav cijevne drenaže u prvi plan. Međutim, uzimajući u obzir naše prilike, cijevna drenaža neće na svim površinama moći ostvariti željeni intenzitet odvodnje, te će se trebati izvoditi u kombinaciji s još nekim stupnjem odvodnje. Ovdje se prvenstveno misli na površine koje, osim suvišne vode u tlu posjeduju i nepropusne međuhorizonte, pa je uz cijevnu drenažu potrebno vršiti krtičenje ili podrivanje, a ponekad i agrotehničke mjere koje poboljšavaju strukturu i propusnost tla za vodu, odnosno fizikalna svojstva tla općenito.

Nakon uređenog vodo-zračnog režima tla na odgvoarajući način, odnosno uređenje proizvodne površine, hidrotehničkim i agrotehničkim mjerama, ostvareni su uvjeti za visoku, stabilnu i ekonomičnu biljnu proizvodnju.

LITERATURA

1. *Feddes, R. A. (1971):* Eater, heat, and crop growth. Med. Landbouwhogeschool, Wageningen, 184 p.
2. *Levaković, F. (1976):* Utjecaj zahvata detaljne odvodnje na promjene kretanja razine vode i priroda ratarskih kultura na semigleju Istočne Slavonije. Simpozij o uređenju zemljišta, Osijek.
3. *Kovda, V. A. (1968):* Počvi aridnoi zoni. Počvi aridnoi zoni kak objekt orošenja, Moskva.
4. *Marjanov, M. (1964):* Premer i melioracije zemljišta. Građevinska knjiga, Beograd.
5. *Marjanov, M. i Vučić, N. (1961):* Dubina podzemne izdani i kulturna biljka. Letopis naučnih radova, br. 5, Novi Sad.
6. *Milošev, Ž. (1967):* Neka zapažanja o mogućnosti gajenja ratarskih kultura u Novosadskom ritu (biljka i prva izdan). Suvremena poljoprivreda, br. 2, Novi Sad.
7. *Milošev, Ž. (1977):* Gledna stanica za izučavanje vodno-vazdušnog režima zemljišta. Vodoprivreda, br. 45—46, Beograd.
8. *Miljković, N., Kukin, A. i Stojšić, M. (1977):* Faktori koji utiču na kritični nivo podzemne vode s posebnim osvrtom na brzinu kretanja vode izdanskog toka i njenog kapilarnog uspona sa gledišta odvodnjavanja i zaštite od zaslanjivanja zemljišta u Bačkoj. Vodoprivreda, br. 45—46, Beograd.
9. *Neugebauer, V. (1949):* Kritični nivo podzemne vode u Vojvodini i opasnost od sekundarnog zaslanjivanja. Radovi poljoprivrednih naučno-istraživačkih ustanova, Knjiga I, Beograd.
10. *Pejović, B. (1974):* Analiza efekta stare cijevne drenaže na neke osobine zemljišta. Zemljište i biljka, Vol. 231, Beograd.
11. *Plamenac, N. i 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.
12. *Plamenac, N. (1973):* Utjecaj nivoa podzemnih voda nizinskih glejnih zemljišta na prinose u uslovima različite dreniranosti. Zemljište i bilja, Vol. 22, No. 1, Beograd.
13. *Plamenac, N. (1976):* Utjecaj drenaže kod anglejnog zemljišta u slivu Karašice i Vučice na proizvodnju kukuruza. Simpozij o uređenju zemljišta, Osijek.
14. *Plamenac, N. i Pejović, B. (1977):* Proizvodni i ekonomski efekt odvodnja primenom cevne drenaže na hidromorfnim zemljištima u Slavoniji kod Donjeg Miholjca.
15. *Plamenac, N. i Uzelac, M. (1977):* Cevna drenaža kao mera uređenja vodnog režima zemljišta Godomirskog rita. Vodoprivreda, br. 45—46, Beograd.
16. *Pušić, B. (1974):* Prijedlog programa melioracionih radova u Zelenom planu SRH, rukopis, Zagreb.
17. *Pušić, B. (1975):* Značaj i zadaci detaljne odvodnje tla u intenzifikaciji poljoprivredne proizvodnje. Bilten, br. 12, Zagreb.
18. *Rode, A. A. (1955):* Vodnie svojstvo počv i gruntov, Akademia nauk, SSSR, Moskva.
19. *Rode, A. A. (1960):* Metodi izučenija vodnogo režima počvi, Akademia nauk, SSSR, Moskva.
20. *Sieben, W. H. (1964):* Het verband tussen ontwatering en opbrengst bij de jange zavelgronden in de Noordoosspolder, Van Zee tot Land 40, Tjeenk Willink V. Zwolle, The Netherlande.
21. *Stojšić, M. (1977):* Potreba primene drenaže zemljišta u sistemima za odvodnjavanje Vojvodine. Vodoprivreda, br. 45—46, Beograd.
22. *Tomaš, I. i Tomić, F. (1977):* Rješavanje problema vodnog i solnog režima pri intenzivnom uzgoju kultura u staklenicima. Vodoprivreda, br. 45—46, Beograd.
23. *Tomić, F. (1976):* Uređenje vodnog režima tla za uzgoj kukuruza. Simpozij o uređenju zemljišta, Osijek.

24. *Tomić, F. (1976):* Interval vlažnosti tla pri uzgoju poljoprivrenih kultura. Vodo-privreda, br. 39, Beograd.
25. *Tomić, F., Vukušić, S. i Levaković, F. (1977):* Potrebe i mogućnosti rješavanja vodnog režima u Slavoniji i Baranji. Vodoprivreda, br. 45—46, Beograd.
26. *Visser, W. C. (1958):* De Landbouwaterhuishouding in Nederland, Comm. Onderz. Landb. waterhuish. Ned. TNO, Rapport, br. 1, 231 p.
27. *Vučić, N. (1964):* Vodne osobine černoze i livadske crnice i njihov značaj za navodnjavanje na irigacionom području Bačke. Savremena poljoprivreda, posebno izdanje, br. 1, Novi Sad.
28. *Vučić, N. (1976):* Navodnjavanje poljoprivrednih kultura, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
29. *Vučić, N. i Vučić, J. (1965):* Problem ocenjivanja kvalitete vode za navodnjavanje. Arhiv za poljoprivredne nauke, sv. 60, Beograd.
30. *Vukašinić, S. (1961):* Visoki prinosi i odnos biljke i vode u zemljištu. Vodoprivreda Jugoslavije, br. 1—2, Beograd.
31. *Vukušić, S. i Čović, M. (1974):* Projekt drenaže OOUR-a Retkovci (u rukopisu), Zagreb.
32. *Vukušić, S. (1976):* Rezultati ispitivanja detaljne odvodnje teških tala u Gornjoj Posavini. Simpozij o uređenju zemljišta, Osijek.
33. *Williamson, R. E. and 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.

SLANOST TALA

Dr IVAN MARINČIĆ

Zaslanjena tla u SFR Jugoslaviji zastupljena su na relativno manjim površinama, i to u istočnim i jugoistočnim dijelovima (SR Makedonija, SAP Vojvodina, manjim dijelom SR Hrvatska), te u deltama jadranskih rijeka (Neretva, Mirna, Zeta i dr.).

Pod pojmom »zaslanjenih« tala podrazumijevamo visok sadržaj različitih soli u njima ili visok postotak zamjenjiva natrija. Jako zaslanjena tla mogu čak pokazivati iscvjetavanja ili kompletne inkrustacije soli na površini ili u profilu tla. To su obično: gips (CaSO_4), kuhinjska sol (NaCl), soda (Na_2CO_3) ili više kompleksnih soli. Međutim, sva tla, čak i ona u jako humidnim područjima sadrže nešto topivih soli kao što su kalcijeve soli, ali njihova koncentracija nije veća od 0,4 gr na litru u vlažnom tlu. Sadržaj soli u tlima aridnih područja obično je veći nego u humidnim, ali u usporedbi sa stvarno slanim tlima taj se sadržaj smatra niskim.

Akumulacija soli u tlu može nastati na više načina:

- iz matičnog supstrata,
- plavljenjem morske vode,
- rasprskivanjem slane vode iz mora i jezera putem vjetra,
- navodnjavanjem vodom koja sadrži soli ili koja je zagađena slanim industrijskim otpadnim vodama,
- kapilarnim penjanjem vode iz podzemlja koje je zaslanjeno.

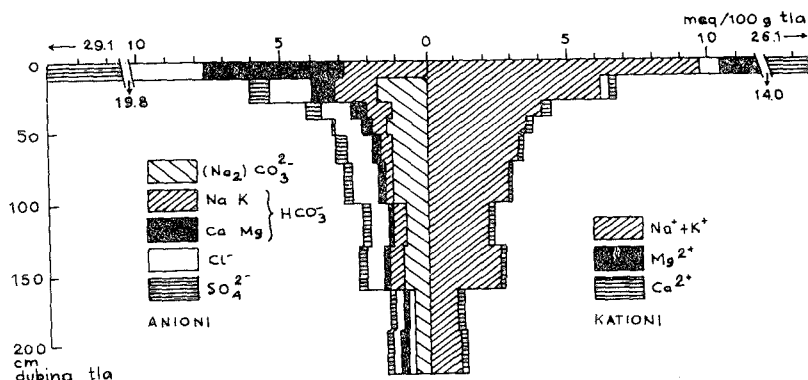
Može se općenito reći da se većina zaslanjenih tala razvila kao rezultat kapilarnog kretanja vode prema površini. Kapilarno kretanje vode prema površini može biti samo kada je razina podzemne vode visoka u jednom dužem vremenskom razdoblju. Takva se situacija često događa na navodnjavanim površinama koje nemaju odgovarajuću odvodnju. Visoke freatske razine podzemne vode nastaju i u područjima gdje se rezervoar podzemne vode napaja iz prirodnih izvora. Ako su ti izvori slani, znači da zaslanjivanje tala može nastati i od isparivanja vode koja je pala na drugom mjestu. Prema tome, slana tla se većinom nalaze u depresijama ili blizu njih i dolinama aridnih i semiaridnih područja.

Veličina kapilarnog zaslanjivanja i dubina u kojoj se akumuliraju soli ovisi o visini kapilarnog penjanja i slanosti podzemne vode, te intenzitetu prirodnog (oborine) ili umjetnog (navodnjavanje) ispiranja soli. Količina akumulirane soli na površini tla ovisi o dubini razine podzemne vode, o potencijalnom gradijentu između podzemne vode i površine tla, i kapilarnoj provodljivosti tla u odnosu na sadržaj vlage u tlu. Smanjenje sadržaja soli u

tlu nastaje putem vode za navodnjavanje ili od prirodne kiše, ovisno o količini i kvaliteti vode koja perkolira kroz tlo, o fizičkim karakteristikama tla i sadržaju vlage u tlu.

VRSTE SOLI U TLU

Općenito zaslanjena tla prilično se razlikuju po ukupnom sadržaju soli, vrsti soli, njihovoj strukturi te pogodnosti za melioriranje. Od aniona najviše su zastupljeni: kloridi, sulfati i karbonati, a rijetko nitrati. Katione sačinjavaju ioni Na, K, Mg i Ca. Na slici 1. prikazan je tipičan raspored raznih topivih komponenti soli u jednom slano-alkalnom tlu.



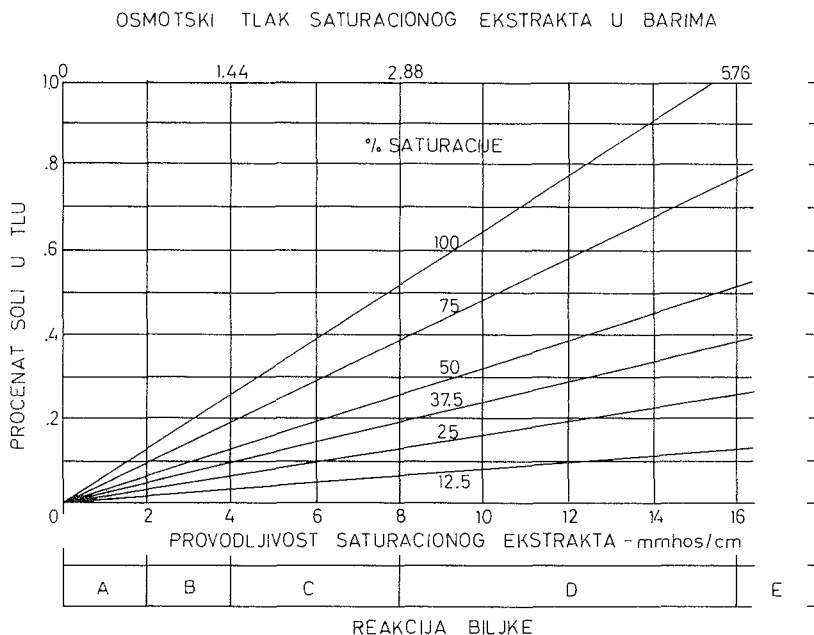
Slika 1 — Raspored raznih topivih soli u profilu tla dubine 2 m kod jednog slano-alkalnog tla u ekstraktu 1:5

U normalnim tlima kalcij obično sačinjava 80% i više izmjenjivih kationa, dok Mg, K i Na čine preostali glavni dio zamjenjivih kationa, od čega na Na otpada ispod 5% (često čak i ispod 1%) od ukupnih kationa. Međutim, u zaslanjenim tlima otopina soli je mnogo koncentriranija i vrste soli su znatno različitije od onih u neslanim tlima. Znači da svi kationi adsorbirani na površini glinenih čestica također imaju drugi sastav. Ovdje je postotak izmjenjivog Ca niži, a K, Mg i naročito Na veći. Karakteristika zaslanjenih tala je i u neujednačenom rasporedu soli kako u horizontalnom tako i u vertikalnom pravcu. To se naročito očituje u rastu vegetacije na takvim tlima koje imaju nejednak rast.

UTJECAJ SLANOSTI NA RAST USJEVA I TLO

Sama sol u tlu u suvišku utječe toksički na usjeve. Međutim, taj toksički efekat je često manje značajan od efekta povećanog osmotskog tla u otopini tla koji smanjuje sposobnost biljaka da koriste vlagu tla. Ako prevladava Na među izmjenjivim kationima nastaje kvarenje strukture tla, naročito ako postoji visok sadržaj glinenih čestica. Visoka koncentracija soli u oto-

pini tla zbija sloj koji je adsorbiran s kationima. Nakon ispiranja viška soli, glinene čestice koje sadrže adsorbirani Na se rasprše i one mogu biti isprane prema dubini, stvarajući tako nepropusni sloj, gdje je propusnost za zrak i vodu jako smanjena. Kod toga nastaje pokorica kad se tlo osuši. Tlo općenito postaje nepogodno za obradu, ljepljivo kad je vlažno i tvrdo kad je suho, i općenito nepovoljno za rast kulturnog bilja. Često kod tala koja sadrže natrijev karbonat (sodu) organska tvar također može doći u otopinu. Nakon isparavanja vlage tlo se na površini oboji crnom bojom. Mnoga tla s velikom vrijednošću zamjenjiva Mg također mogu imati lošu strukturu.



Slika 2. — Odnos postotka soli u tlu kod osmotskog tlaka i električne provodljivosti saturacijskog ekstrakta na reakciju biljaka

KLASIFIKACIJA ZASLANJENIH TALA

U svijetu (pogotovo u područjima gdje su rasprostranjena ova tla) postoje lokalni nazivi koji označavaju zaslanjena tla. U USA su poznati izrazi »white alkali« i »black alkali Soil«. Prva tla označavaju slana tla gdje prevladavaju sulfatne i kloridne soli gdje se često na površini stvara bijela pokorica, a druga predstavljaju uglavnom sodna tla koja su na površini obojena crno od organske tvari koja je bila u otopini. Poznata su i često korištena ruska imena »Solončak« i »Solonec«. Naša klasifikacija (Škorić, Filipovski, Ćirić, 1973) razvrstava ova tla po slijedećim kriterijima:

HALOMORFNA TLA

Klasa	Tip	Podtip	Varijetet	Forma
I Asa-CG	1. Solončak	1.1. Sodni	1. (1—10)	Prema stupnju alkalizacije
		1.2. Sulfatni	1. Površinski zaslanjen	
		1.3. Kloridni	2. Srednje duboko zaslanjen	
		1.4. Sodno-sulfatni		
		1.5. Sulfatno-sodni	3. Duboko zaslanjen	
		1.6. Sodno-kloridni		
		1.7. Kloridno-sodni	2. (1—7) -Solončak	
		1.8. Sulfatno-kloridni		
		1.9. Kloridno-sulfatni		
		1.10. Mješoviti s 3 soli		
II A-Bt, na-C	2. Solonec	2.1. Sodni	1. Solonec-	Prema stupnju alkalizacije
		2.2. Sulfatno-sodni	2. Solon-	
		2.3. Kloridno-sodni	čakasto	
		2.4. Kloridno-sulfatni	3. Duboko	
		2.5. Sulfatno-kloridni	solon-	
		2.6. Sulfatni	čakasti	
		2.7. Kloridni	4. Osolodeni	

Međutim, u svijetu se mnogo koristi jako raširena i vrlo jednostavna klasifikacija koja je data od strane »US Salinity Laboratory« (Richards, 1954) koja se temelji na dvjema karakteristikama:

— slanosti tla, odnosno količini ili koncentraciji u vodi topivih soli u tlu;

— postotku zamjenjiva natrija.

Slanost tla je bitan činilac za rast biljaka, dok postotak zamjenjiva natrija određuje mogućnost kvarenja strukture tla.

Kao parametar za slanost tla koristi se električka provodljivost saturacijskog ekstrakta (EC) izražena u »mmhos/cm«, gdje je »mho« recipročna vrijednost od »ohm«. Saturacijski ekstrakt je izlučena otopina iz tzv. paste tla od saturacijskog uzorka tla koja se pravi tako da se izmiješa tlo i voda do granice tečnosti (tj. kada tlo svjetluca i slobodno klizi s laboratorijske lopatice). Za izračunavanje postotka zamjenjiva natrija (ESP) potrebno je odrediti količinu zamjenjiva natrija (ES) i kapacitet zamjene kationa (CEC) koji se dobije iz odnosa:

$$ESP = \frac{100 \times ES}{CEC}$$

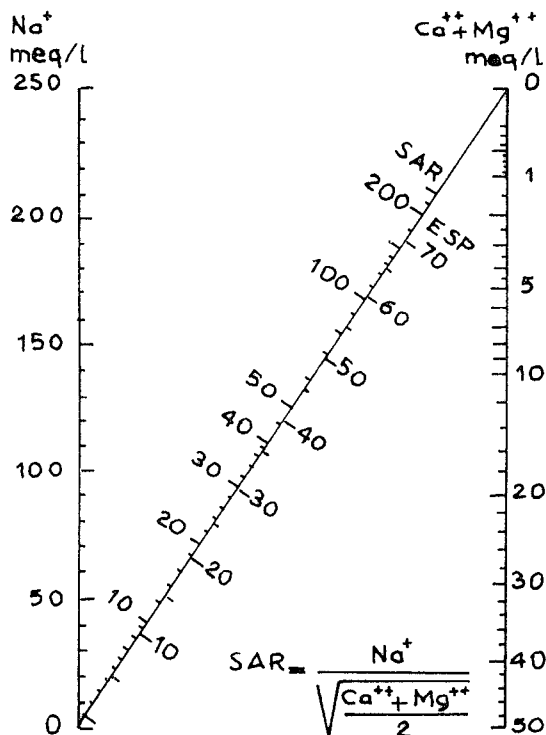
Postotak zamjenjivog natrija (ESP) može se odrediti i iz iznosa ($Ca^{++} + Mg^{++}$) i Na^{+} i K^{+} koji su nađeni u saturacijskom ekstraktu.

Richards (1954) je izradio jedan nomogram prikazan na slici 3 za određivanje tzv. SAR-vrijednosti iz saturacijskog ekstrakta i određivanje odgovarajuće vrijednosti ESP iz tla u ravnoteži s ekstraktom.

Na temelju EC i ESP iz ekstrakta napravljena je slijedeća klasifikacija **Slana tla** koja imaju:

1. EC veći od 4 mmhos/cm kod 25 °C
2. ESP manji od 15%
3. 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



Slika 3. — Nomogram za određivanje vrijednosti SAR saturacijskog ekstrakta i za odgovarajuću vrijednost ESP

anioni kod slanih tala su Cl^- i SO_4^{--} , a u manjim količinama HCO_3^- i NO_3^- . Mogu također biti prisutni netopivi karbonati i sulfati. U pravilu Na^+ predstavlja manje od 50% topivih kationa.

Slano-sodna (alkalna) tla imaju:

1. EC veći od 4 mmhos/cm kod 25 °C
2. ESP veći od 15%
3. pH rijetko veći od 8,5.

Usjevi koji se uzgajaju na ovim tlima mogu jako zaostajati u rastu. Struktura ovih tala obično može biti dobra, ali se može prilično narušiti prilikom ispiranja soli. Tada tla postaju vrlo alkalna, a mnogo čestica tla se dispergira i propusnost tla za vodu se značajno smanjuje. Takva tla općenito postaju manje pogodna za obradu.

Neslano-sodna (alkalna) tla imaju:

1. EC manji od 4 mmhos/cm kod 25 °C
2. ESP veći od 15%

3. pH je obično između 8,5 i 10, ali kod tala koja ne sadrže vapno, pH može biti nizak, sve do 6.

Kod ovih tala najvažniji anioni su Cl^- , SO_4^{--} i HCO_3^- , međutim, i karbonati su često prisutni. Na^+ je glavni kation u otopini tla, a Ca^{++} i Mg^{++} su većinom istaloženi. Struktura ovih tala je obično vrlo loša.

Iako je ova klasifikacija jednostavna i temeljena na kvantitativnim pokazateljima, ona ipak obuhvaća velike razlike koje nastaju u poljskim uvjetima. Postoje razne tolerancije pojedinih biljaka na sol, ali to opet ovisi o vremenskim uvjetima, režimu vlage u tlu, vrsti prisutnih soli kao i o prevladavanju pojedinih soli. Tabela pokazuje odnos sadržaja u zoni korijena i reakciju biljaka kod jednog srednje teksturnog tla.

Reakcija biljaka	EC mmhos	Sadržaj soli (% na temelju suhe tvari)
1. Utjecaj slanosti zanemarljiv	0— 2	0,05—0,1
2. Prinosi vrlo osjetljivih kultura mogu biti umanjeni	2— 4	0,1 —0,2
3. Prinosi mnogih kultura umanjeni	4— 8	0,2 —0,4
4. Samo tolerantne kulture imaju zadovoljavajući prinos	8—16	0,4 —0,8

KRATKI PRIKAZ MELIORACIJE ZASLANJENIH TALA

Opće načelo melioriranja zaslanjenih tala sastoji se uglavnom od:

1. sprečavanja daljeg zaslanjivanja,
2. ispiranju soli,
3. zamjene izmjenjiva natrija s izmjenjivim kalcijem.

Sprečavanje daljnjeg zaslanjivanja tla postiže se na više načina, ovisno o prirodnim uvjetima. Ponekad je potrebna zaštita od poplave, ali češće je potrebno sprečavanje kapilarnog penjanja vlage i sniženje podzemne vode. U cilju sprečavanja zaslanjivanja kapilarnim penjanjem vlage obično se vrši izgradnja drenažnog sustava gdje je potrebno podzemno vodu sniziti 1,5—2,0 m dubine. To opet ovisi o klimatskim činiocima, tipu tla, kvaliteti podzemne vode i vode za navodnjavanje, te načinu navodnjavanja. Tako je manja dubina podzemne vode dopustljiva u humidnim područjima i u lakšim tlima, kod navodnjavanja vodom bolje kvalitete i sl. Ovo je posebno važno kod navodnjavanja u aridnim područjima gdje je često potrebno i ispiranje soli iz tla dodatnim navodnjavanjem. U humidnim područjima obično su prirodne oborine dovoljne da isperu suvišnu sol, ako je osigurano držanje razine podzemne vode na adekvatnoj dubini putem drenažnih sustava. Tamo gdje je potrebna zamjena štetnog natrija s kalcijem, u tlo se izravno dodaju topive soli, najčešće gips, ili se on dodaje u vodu za navodnjavanje. Postoje i druga tehnološka rješenja (dodavanje H_2SO_4 , S, CaCO_3 i dr.).

Melioracija slanih tala

Melioracija slanih tala sastoji se uglavnom od ispiranja soli iz zone korijenova sustava biljaka. Međutim, samo ispiranje neće imati velike koristi ako se ne poduzmu mjere sprečavanja ponovnog zaslanjivanja, odnosno

ako se ne uklone uzroci zaslanjivanja. To se postiže sniženjem podzemne vode i odvođenjem otopljenih ispranih soli putem drenaže izvan područja zaslanjenih tala. Katkada je za ispiranje soli potrebno dodati velike količine vode (10.000—15.000 m³/ha). Naglo ispiranje soli iz tla može dovesti i do nepovoljnih efekata, odnosno narušena struktura tla i nepovoljna provodljivost tla za vodu neće se značajno promijeniti odmah nakon ispiranja. Kod toga značajni dio nitrata i drugih hranjivih tvari može se također isprati, te je često u aridnim područjima potrebno poduzimati i ostale agrotehničke mjere kao što su: povećanje plodnosti tla, uvođenje tolerantnih kultura nakon ispiranja tla, postepeno ispiranje i sl.

Melioracija slano-sodnih (alkalnih) tala

Melioracija ovih tala mnogo je kompliciranija u odnosu na slana tla zbog toga što je potrebno poduzeti posebne mjere za vrijeme ispiranja soli, jer ova tla imaju i vrlo loša fizička svojstva. Tako kad se topive soli isperu, još uvijek postoji štetan utjecaj zamjenjiva natrija na strukturu tla. Prema tome, kod ovih tala osnovni preduvjet sprečavanja daljnjeg zaslanjivanja jest izgradnja drenažnog sustava i održavanje razine podzemne vode na odgovarajućoj dubini. Ako se vrši ispiranje soli vodom koja sadrži dosta kalcija, može se smanjiti narušavanje strukture tla. Također se koristi dodatne agrotehničke mjere kao što su: podrivanje ili krtičenje u zoni nepropusnog sloja iznad drenskih cijevi, povećanje hidrauličke provodljivosti drenskog rova i sl.

Kod izrazito loših slano-alkalnih tala često se kao prva melioracija ta tla koriste kao ribnjak ili rižišta. Za obnavljanje strukture tla i sprečavanje daljnjeg narušavanja koristi se gips koji se može rastvoriti u vodi za navodnjavanje ili razasuti po tlu. Potrebnu količinu gipsa za zamjenu adsorbiranog Na sa Ca treba izračunati nakon izvršenih laboratorijskih analiza tla, koristeći slijedeću formulu:

$$X_z = \frac{ESP_a - ESP_f}{100} \cdot CEC \cdot Y_z$$

X_z = potrebna količina gipsa po ha za obnovu strukture tla u sloju debljine Z u cm

ESP_a = stvarni postotak zamjenjiva natrija

ESP_f = dozvoljen konačni postotak zamjenjiva natrija

CEC = kapacitet zamjene kationa u meq na 100 gr suhog tla

Y_z = količina potrebnog gipsa po ha da bi se nadomjestio 1 meq Na na 100 gr suhog tla u sloju debljine Z u cm i određene specifične težine.

Tako npr. za jedno tlo specifične težine od 1,4 teoretska vrijednost Y je 1.200 kg gipsa za sloj od 10 cm. Međutim, u praksi potrebno je dati više gipsa, jer će se jedan dio gipsa isprati, a jedan dio nadomjestiti druge katione.

Umjesto gipsa, mogu se koristiti i drugi kemijski dodaci. Prema Richardsu (1954) jedna tona gipsa ($CaSO_4 \cdot 2 H_2O$) odgovara

0,19 t sumpora

0,16 t sumporne kiseline

1,71 t željeznog sulfata ($FeSO_4 \cdot 7 H_2O$)

1,37 t aluminijskog sulfata [$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$]

0,62 t vapnenca ($CaCO_3$)

Melioracija neslano-sodnih (alkalnih) tala

Melioracija ovih tala uglavnom se sastoji u poboljšanju njihove strukture. Međutim, ovo se vrlo teško postiže. Potrebne su velike količine gipsa ili drugih prikladnih kemijskih sredstava. Upijanje ovih sredstava u tlo i zamjena adsorbiranog Na sa Ca odvija se sporo zbog slabe propusnosti tla za vodu i kretanja glinenih čestica prema dubini, gdje se stvaraju zbijeni i nepropusni slojevi. Vrlo često je potrebna kombinirana odvodnja uz primjenu podrivanja ili kritičenja, radi poboljšanja strukture tla i provodljivosti za vodu. Nakon prve godine kemijskih i hidrotehničkih melioracija potrebno je sijati tolerantnije usjeve kao što su: ječam, raž, zob i sl.

Na koncu, mora se imati na umu da sva ova tla i nakon melioracija imaju tendenciju ponovnog zaslanjivanja. Prema tome, izgrađeni odgovarajući drenažni sustav treba stalno održavati i, prema potrebi, vršiti dodatno ispiranje soli te koristiti što kvalitetniju vodu za navodnjavanje.

LITERATURA

1. *Achtnich, W. (1979):* Bewässerungslandbau, Stuttgart.
2. *Frevert, R. K., Schwab, G. O. et al. (1955):* Soil and water conservation engineering, New York.
3. *Lyon, F. L. et al. (1953):* The nature and properties of soils, New York.
4. *Škorić, A., Filipovski, G., Čirić, M. (1973):* Klasifikacija tala Jugoslavije, Zagreb.
5. *Verhoven, B. (1979):* Salty soils. Drainage principles and applications, Wageningen, publication 16, vol I.

TOPOGRAFSKE I GEODETSKE PODLOGE

BRANKO VUJASINOVIĆ

1. UVOD

Tehnički i privredni razvoj svake zemlje u suvremenom svijetu pretpostavlja da topografski planovi i karte mogu svrsishodno poslužiti i kod planiranja, izrade studija, idejnih rješenja, idejnih projekata, kao i ostalih vrsta projekata u hidrotehničkim melioracijama. Ništa manju ulogu imaju topografski planovi i karte kod projektiranja izgradnje i održavanja sustava za odvodnjavanje.

No, planovi i karte se ne rade isključivo za potrebe melioracija ili odvodnjavanja, već i za mnogobrojne druge potrebe, kao npr.: za prometnice, izgradnju naselja i gradova, riječnih i morskih građevina, energetska i industrijska postrojenja, za katastarske potrebe, agrarne operacije, komasacije, u poljoprivredi, šumarstvu, rudarstvu, kao i za niz drugih grana. Osim toga, one služe i kao podloge za izradu posebnih znanstvenih studija za arheološke, povijesne, turističke, hidrološke, pedološke, geološke, hidrotehničke, meteorološke, klimatološke, šumarske, rudarske kao i niz drugih posebnih namjena, pa im značaj i tematika ima posebnu ili specijalnu obradu.

Iz ovog pregleda očito je da topografski planovi i karte imaju veliku i široku primjenu u cjelokupnoj ljudskoj djelatnosti. Iz toga nužno proizlazi da se planovi i karte izrađuju tako da odgovaraju suvremenim zahtjevima. Kako je krajnji cilj geodetskih radova izrada planova i karata koje moraju sadržavati i topografske karakteristike, one se stoga nazivaju i topografskim.

2. DEFINICIJA I PODJELA PLANOVA I KARATA

Zadatak je geodezije, u prvom redu, određivanje oblika i dimenzije Zemlje, te da mjerenjem odredi međusobni odnos pojedinih objekata na njenoj površini.

Zadaća geodezije je i da crtanjem grafičkim prikazom prenese rezultate mjerenja i snimanja u odgovarajućem manjem mjerilu na crtači papir. Te prikaze zovemo: snimkama, planovima i kartama a proces njihove izrade kartiranje.

Osim toga, zadatak geodezije je da razne tehničke projekte prenese na teren, odnosno izvrši iskolčenje i obilježavanje i tako projekt realizira u naravi.

Geodetskim mjerenjem definira se određivanje relativne pozicije nekog objekta na površini Zemlje. Ako takva izmjera pokriva veći dio površine, tada se uzima u obzir zakrivljenost Zemlje (geoid, elipsoid, sferoid i sl.).

Prema tome, da li se prilikom mjerenja na površini Zemlje uzima u račun njena zakrivljenost ili ne, geodezija se kao znanost dijeli na:

1. višu ili znanstvenu geodeziju
2. nižu geodeziju koju obično zovemo praktičnom ili primijenjenom geodezijom.

U nižoj geodeziji za prikaz manjeg dijela površine uzima se da je površina Zemlje ravna.

Kod predočavanja terena na planovima i kartama razlikujemo horizontalnu i visinsku predodžbu terena. Planom se općenito smatra geodetska podloga na kojoj su prikazani posjedovni odnosi a kartom predodžba terena bez pojedinih elemenata posjedovnog stanja.

Geodetski ili topografski planovi ili karte krupnijeg mjerila su karte koje se rade u mjerilu 1:100 do 1:5000. Bitna karakteristika im je da se izrađuju neposrednim mjerenjem (snimanjem) terena uobičajenim geodetskim metodama mjerenja, koje pretpostavljaju da je površina Zemlje ravna a pojedine točke mjerenja se ortogonalno projiciraju na ravninu.

Općenito se može reći da je plan ili karta smanjena nedeformirana slika manjeg dijela površine zemljišta, odnosno objekata na njemu kao: granice čestica, zgrade, prometnice, vodotoci i dr. i dopunjena s visinskom predstavom ili reljefom zemljišta.

Prema tome, plan ili karta je vjerna slika manjeg dijela zemljine površine i objekata koji se na toj površini nalaze.

Topografske karte sitnijeg mjerila rade se u mjerilu od 1:5000 do 1:50000, a dobivaju se obradom, tj. korištenjem kartografskog materijala karata krupnijeg mjerila, i s dodatkom drugih podataka primjerenih mjerilu karte. Kod izrade ovih karata uzima se u obzir zakrivljenost zemljine površine. Zbog toga karta sitnijeg mjerila nije vjerna slika zemljine površine, već je manje ili više deformirana slika dijela površine koju obuhvaća, što ovisi o primijenjenoj projekciji.

Osim navedenih topografskih karata za civilne potrebe, izrađuju se i vojne topografske karte u mjerilu 1:10000 do 1:50000, a rade se na temelju izravnih snimanja na terenu ili iz aerofotogrametrijskog snimanja. Posebne ili specijalne vojne karte (popularno zvane »specijalke«) rade se u mjerilu 1:50000 do 1:200000, a izrađuju se na osnovi vojno-topografskih karata krupnijeg mjerila. Ove karte su s visinskom predstavom i imaju vrlo široku primjenu kod projektiranja za različite potrebe.

Geografske karte po svom sadržaju obuhvaćaju pojedina područja, regije, pokrajine, republike ili države, i na njima su prikazane samo najglavnije karakteristike zemljine površine. Obično se rade u vrlo sitnim mjerilima od 1:300000 do 1:2000000 ili više a zovu se još i preglednim kartama.

Posebnu ulogu ima geodezija u hidrotehničkim melioracijama, posebno u odvodnjavanju, zato što se u širokom opsegu radova u melioracijama obično jedan sustav izrađuje na većoj površini (primjer Črnc polja, Lonjskog polja). Tu se javlja i potreba međusobnog povezivanja objekata koji čine jedinstven sustav i gdje njihova međusobna povezanost u trodimenzionalnom sustavu mora zadovoljavati određenu točnost radi funkcioniranja cjelokupnog sustava. Ovo se npr. odnosi na dugačke kanale s malim padom gdje je točnost određivanja visina neobično važna, bez obzira na propisima dozvoljena odstupanja u tehničkom nivelmanu.

3. MJERILO, SADRŽAJ I TOČNOST KARATA

Dijelovi površine koji se predstavljaju na karti prikazuju se u smanjenom obliku u odgovarajućem mjerilu. Ovo smanjenje je takvo da se svaki dio koji se želi prikazati na planu, crta smanjen u svim pravcima u istom odnosu prema dimenzijama u prirodi. Odnos između jedinice dužina na karti i odgovarajućih dužina u prirodi čini mjerilo karte. Na svakoj karti njihovo mjerilo mora biti napisano ili nacrtano.

Mjerilo može biti označeno u broječanim jedinicama ili grafičkom predstavom, i to obično u obliku pravog razlomka.

Brojčano mjerilo piše se u vidu razlomka (npr. 1:5000) gdje odnos brojeva označava da je 1 mm na karti jednak 5.000 mm ili 5 m u prirodi.

Grafičko mjerilo označava se linijom ili crtežom gdje postoji linearno ili transverzalno mjerilo.

Mjerilo karte kao i sadržaj ovise prvenstveno od namjene. Karte opće namjene kao npr. geografske, sadrže uglavnom sve elemente prirodnih i izgrađenih objekata na površini terena koje se u predviđenom mjerilu mogu prikazati. U specijalne karte ubrajaju se i katastarski planovi (jer su rađeni s posebnom namjenom, gdje je najbitnija predodžba zgrada, čestica i posjeda) zatim prometne karte, fizičke (s predstavom reljefa i vodenih tokova), hidrografske, geološke, pedološke, rudarske, meteorološke, šumarske, arheološke, povijesne kao i niz drugih koje se još nazivaju tematskim.

Postojeći propisi koji vrijede za područje SFR Jugoslavije predviđaju izradu planova i karata slijedećih mjerila:

1:500
1:1000
1:2000
1:2500
1:5000

Od ovih su mjerila 1:500, 1:1000 i 1:5000 glavna mjerila u odnosu prema podjeli na listove u odabranom koordinatnom sustavu.

Planovi mjerila 1:500 upotrebljavaju se za kartiranje gradskih naselja (intravilan) gdje je izgrađenost gusta s mnogo detalja i objekata.

Planovi mjerila 1:1000 upotrebljavaju se za kartiranje naseljenih mjesta gdje je izgrađenost nešto manja, manji broj objekata na ulicama a neizgrađen dio ima više čestica manje površine.

Planovi mjerila 1:2000 i 1:2500 pretežno se upotrebljavaju za kartiranje površina izvan naseljenih mjesta (ekstravilan) od kojih je ona prva povoljnija, s obzirom na to da je tehničko mjerilo pristupačnije za manipulaciju, jer je desetično.

Planovi mjerila 1:5000 upotrebljavaju se za kartiranje otvorenih prostora gdje su pretežno čestice veće a detalja i objekata ima manje.

Iz ovog pregleda podjele mjerila planova očito je da na izbor mjerila topografskog plana utječu: površina područja koje se treba snimiti i kartirati, namjena plana, veličina objekata i čestica, točnost plana, mogućnost naknadnog popunjavanja, odnosno održavanja, oblik reljefa itd.

Planovi i karte navedenih mjerila standardi su civilnog državnog premjera i imaju određen cilj i sadržaj, tj. da pravilno u horizontalnom smislu

predoče odnos objekata na terenu, a visinska predodžba je njihov sekundarni podatak.

Budući da se inženjerska projektiranja ne izvode na cijelom području, tada je ekonomičnije taj dio posebno visinski točnije snimiti i tako vjernije predočiti.

Pri izboru najpovoljnijeg mjerila za određene potrebe, očito je da se povećanjem mjerila povećava točnost plana ali ujedno i broj listova. Time se povećavaju i svi radovi pri izradi plana, kako na terenu prilikom snimanja, tako i prilikom kartiranja, pa je i cijena izrade skuplja.

Ne treba posebno naglasiti da se sve karte danas rade u metarskom mjernom sustavu.

Osim planova navedenih mjerila koja se izrađuju za pojedina područja ili gradove i naselja u SR Hrvatskoj, postoje i stari planovi, koji se još mogu naći u upotrebi. Tako je prije prvog svjetskog rata Austro-Ugarska (pod čijom su upravom bili i dijelovi SR Hrvatske) izradila karte samo za potrebe katastra i zemljišne knjige (grunтовnice) koje su izrađene bez visinske predstave terena. Ovi katastarski planovi nastali su izmjerom grafičkog snimanja — geodetskim stolom, u mjerilu 1:2880 koje u originalu potječe iz hvatnog sistema mjera $1'' = 40''$ (jedan palac prema četrdeset hvati).

Jedan dio područja SR Hrvatske na području Raba, Paga, Zadra, Benkovca, Šibenika, Knina i Drniša ima planove u mjerilu 1:2904,17. Ovo mjerilo (umjesto 1:2880) nastalo je uslijed pogreške u računu trigonometrijske mreže.

Između dva svjetska rata i sve do 1948. godine izrađivane su karte, odnosno planovi u mjerilima:

1:500
1:1000
1:2500
1:5000
1:10000

a mjerilo 1:2500 bilo je osnovno mjerilo u daljnjoj podjeli na listove, pa se ovi planovi još mogu naći u upotrebi.

Točnost geodetskih planova ovisi uglavnom o mjerilu, ali, osim toga, i o metodi snimanja i kartiranja, kvalitete materijala na koji su nanoseni kao i o tehnici reprodukcije.

Pri projektiranju bitno je znati koju točnost u položajnom i visinskom smislu mogu garantirati planovi i karte. Ovo je naročito važno kad se planovi koriste za prijenos projektiranih objekata na teren. U našoj stručnoj literaturi navodi se da je točnost planova u horizontalnom smislu zadana odnosom:

$$\mu = 0,2 \text{ mm} \times M$$

gdje je M nazivnik mjerila plana. Ovo se odnosi samo na original karte i predstavlja grafičku točnost. Veličina 0,2 mm se može prostim okom mjerilom očitati. Primjenjujući ovaj odnos proizlazi da je točnost originala karte 1:5000 jednaka $\mu = \pm 1$ m. No, točnost tiskane karte kopije na paus papir ili ozalid papir ili bilo koji drugi papir znatno se razlikuje, bolje reći, smanjuje jer dolazi u obzir rastezanje ili »usuh« podloge na koji je plan nanešen.

Točnost visinske predodžbe terena još je manja, jer se do slojnica dolazi interpolacijom između snimljenih točaka. Razmak slojnica ovisan je o nagibu terena α i o mjerilu karte. Točnost visinske predstave terena s pomoću slojnica ovisi:

- od točnosti visinske izmjere,
- od gustoće i rasporeda odabranih točaka na terenu,
- od točnosti kartiranja, interpolacije slojnica, konstrukcije i iscrtavanja slojnica,
- od mjerila planova i razmaka slojnica.

Iz prakse se utvrdilo da slojnice na planovima mjerila 1:1000 i 1:2000 imaju stanovitu konstruktivnu funkciju. To znači da se bilo koji projekt, što se na takvom planu projektira, može sigurno iskolčiti i da će se na osnovi slojnica moći izračunati dovoljno točno kubature zemljanih radova kao podloga za predračun radova.

Slojnice na planovima, odnosno kartama mjerila 1:2500, 1:5000 i 1:10000 imaju samo informativnu svrhu. One daju informaciju o konfiguraciji terena i nagibu površine terena toliko točno da se može na njima vršiti projektiranje, ali ne mogu služiti za procjenu količina zemljanih radova s dovoljnom točnošću.

Na svim planovima i kartama gdje je prikazana visinska predstava terena slojnicama (izohipsama) njihov razmak (ekvidistancija) uvijek je naznačena kao i mjerilo. Da bi se slojnice lakše razlikovale od drugih linija na karti, za njih se uvijek upotrebljava na originalu ista boja — smeđa (sepia). Razmak slojnica je obično 0,5 m, 1 m, 2,5 m, 5 m, 10 m ili 20 m, što ovisi o mjerilu karte i razvedenosti terena, a da bi se olakšalo njihovo čitanje svaka peta ili deseta izvučene su deblje. Tako npr. na vojnim kartama mjerila 1:50000 razmak slojnica je 20 m a svaka peta odnosno svakih 100 m visine izvučena je deblje. No, na ravničastim krajevima, gdje je to moguće prikazati, izvučene su pomoćne slojnice manjeg razmaka od 20 m. Tako je 10 m slojnica izvučeno crtkano, a 5 m slojnica točkama.

Za izradu topografskih planova upotrebljava se papir najbolje kvalitete koji treba ispuniti nekoliko osnovnih zahtjeva. Ukratko, papir mora biti izrađen u ravnim plohama, da se tušem dobro izvlače linije i da tuš prijanja, da je prvoklasne kvalitete, da se nakon brisanja tuša može ponovo crtati tušem. Glavni uvjet je da papir ne mijenja svoje dimenzije na promjene vlažnosti zraka. Promjene dimenzije papira čine veliku teškoću. Nećemo se posebno zadržavati na originalima lista, već na kopijama koje se rade od originala i upotrebljavaju se u praktične svrhe pri izradi projekata, a na njima se računaju površine što svojom veličinom ulaze u daljnji tok računanja.

U novije vrijeme topografski se planovi rade na listovima (folijama) od plastične mase s nazivima: astralon, hronophan, astrafoil, sicoprint, novafoil, hostaphan, mylar i dr.

Prednost je upotrebe plastičnih podloga što su otporne na promjene vlažnosti zraka i temperature ili su ove promjene vrlo male a proces umnožavanja olakšan.

Iz iskustva je poznato da na paus pergament crtači i kartografski papir promjena temperature nema utjecaja, ali je zato utjecaj promjene vlažnosti zraka velik. Isto tako promjena dimenzije papira kod ovih materijala uvijek je veća po Y-osi. Ovo je razlog da izrađene ili kopirane listove treba uvijek držati opružene na stolu i nikad ne savijati u rolu.

Međutim, kako se u praksi pretežno radi s kopijama na ozalid papiru, gdje je promjena dimenzija veća, preporučuje se prije računanja površina ili uopće važnijih mjerenih veličina, za svaki radni list (kopiju), izračunati promjene dimenzije u odnosu na originalne mjere i za njih korigirati mjerene veličine.

4. PODJELA NA LISTOVE I KOORDINATNI SUSTAV

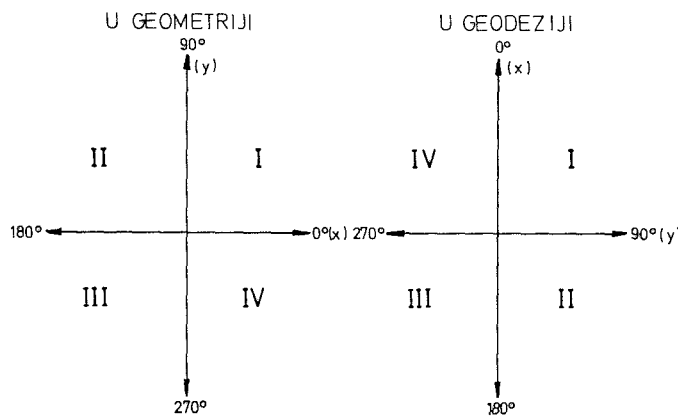
Jedan ortogonalni koordinatni sustav čine tri uzajamno okomita pravca koji se sijeku u jednoj točki. Ovdje su pravci koordinatne osovine a točka presjecišta je koordinatni početak. Koordinatne se osovine obično označavaju: X-os apscisa, Y-os ordinata i Z-os visina ili kota.

Položaj neke točke u prostoru određen je poznavanjem njene tri koordinate u odnosu na odabrani koordinatni sustav.

Geografske koordinate točke na površini zemlje izražene su kutnim mjerama. Ishodište tih koordinata je sredina zemlje a koordinatne ravnine — ravnina ekvatora i ravnina koja prolazi kroz početni meridijan (Greenwich) i kutovi rastu od ekvatora prema polovima (sjeverna ili južna širina φ°) i od početnog meridijana na istok — istočna dužina λ° ili na zapad — zapadna dužina λ° .

U geodeziji se koordinate točaka izražavaju dužinskim mjerama a koordinatni sustav drugačiji je od uobičajenog u geometriji. Apscisna osovina (X) ide u pravcu meridijana a pozitivni pravac je u smjeru sjevera, ordinatna osovina (Y) ide u pravcu istoka. Apscisa se mjeri po luku meridijana s početkom na ekvatoru. Ordinata se mjeri po luku paralele s početkom mjerenja koji ovisi o sustavu u kome se pojedina točka nalazi.

Prema tome, u geodeziji je apscisna osovina orijentirana na sjever a kutovi rastu u pravcu kretanja kazaljke na satu, dok je u geometriji obrnuto (slika 1).



Sl. 1. Koordinatne osovine

Kod tzv. državnog premjera mora se odrediti položaj svake geodetske točke u odnosu na usvojeni državni koordinatni sustav.

Isto tako položaj svakog lista topografskog plana mora imati točno određeno mjesto i položaj u odnosu na usvojeni sustav. Samim tim svaki list plana ima određene koordinate početka i kraja po jednoj ili drugoj koordinatnoj osovini, a ima i svoju opću oznaku ili nomenklaturu.

Za premjer manjih površina za posebne potrebe, ovaj dio lista ne mora se vezati na usvojeni državni koordinatni sustav, pa su u tom smislu položaji lista slobodni. No, u tom slučaju izostaje mogućnost kasnijeg proširivanja područja snimanja i vezanja na usvojeni sustav, pa se preporučuje uvijek raditi prema usvojenoj podjeli listova.

Dio prostora izvan okvira korisnog prostora služi za upisivanje raznih podataka kao: naziva, naslova, bročanih podataka, koordinata i dr. a ujedno služi i kao zaštita samog crteža.

U priloženoj tabeli prikazane su za odgovarajuća mjerila vrijednosti veličine strana korisnog prostora na listu i u mjerilu, površina lista u pojedinom mjerilu kao i dimenzije samog lista.

Mjerilo plana ili karte	Veličina korisnog prostora				Površina lista u mjerilu ha	Veličina papira x/y cm
	na listu		u mjerilu			
	po x-osi cm	po y-osi cm	po x-osi m	po y-osi m		
1:500	50	75	250	375	9,375	59/84
1:1000	50	75	500	750	37,5	59/84
1:2000	50	75	1000	1500	150,0	59/84
1:2500	60	90	1500	2250	337,5	73/102
1:5000	60	45	3000	2250	675,0	73/51

Iz tabele se vidi da plan mjerila 1:5000 ima »okomiti« položaj, tj. strana paralelna X-osovini veća je od one paralelne Y-osovini, dok svi planovi ostalih mjerila imaju obrnut, tj. »horizontalan« položaj.

Za izradu osnovne državne karte (ODK) ili privredne karte u mjerilu 1:5000 i 1:10000 u SFR Jugoslaviji usvojena je Gauss-Krügerova cilindrična, konformna projekcija, tj. projekcija gdje su kutovi između pojedinih linija točni. Cilindar ili poprečni valjak tangira površinu naše zemlje u 3 meridijana (15°, 18° i 21° istočne dužine po Greenwichu) i tako čine 3-meridijanske zone po 3 stupnja geografske dužine a označavaju se kao 5, 6. i 7. koordinatni sustav. Tako, u stvari, postoje 3 pravokutna koordinatna sustava čije X-osovine prolaze kroz 15°, 18° i 21° istočne dužine i s koordinatnim počecima u presjeku novih meridijana s ekvatorom (slika 2).

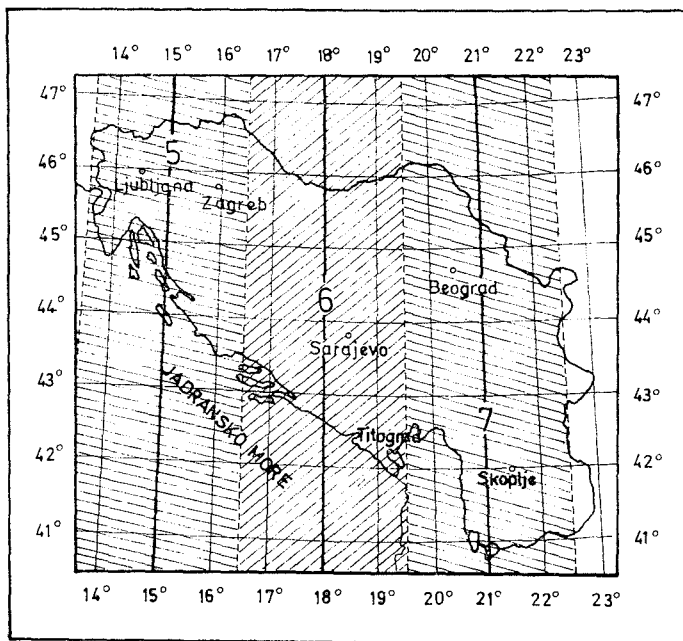
Koordinatni početak svake zone apscisno po X-osovini počinje na ekvatoru, s tim da su početne koordinate svakog 1. reda

u 5. zoni: $X = 4,755.000 \text{ m}$

u 6. zoni: $X = 4,635.000 \text{ m}$ i

u 7. zoni: $X = 4,500.000 \text{ m}$.

PRAVOKUTNI KOORDINATNI SUSTAVI U SFRJ



Sl. 2.

Ordinatni početak po Y-osoVINI počinje u sredini svake zone (15°, 18° i 21°), no, da ordinate točaka zapadno od početka koordinatnog sustava ne bi imale negativan predznak, uzima se da početne ordinate sva 3 sustava počinju s 500.000 m. Ispred ordinate Y stavlja se i broj svake zone, pa npr. točka s koordinatama:

$$Y = 5\,478\,500,00 \text{ m}$$

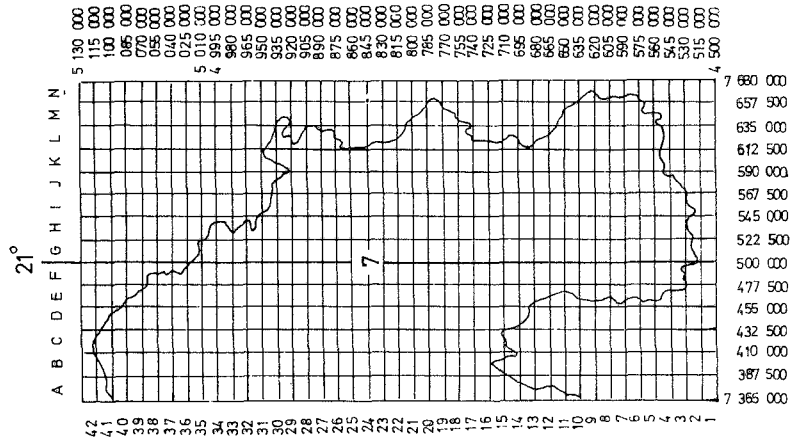
$$X = 5\,015\,200,00 \text{ m,}$$

znači da se po ordinati Y nalazi u 5. zoni (odnosno zapadno od 15° istočne dužine), a po apscisi X sjeverno od ekvatora za 5,015.200,00 m.

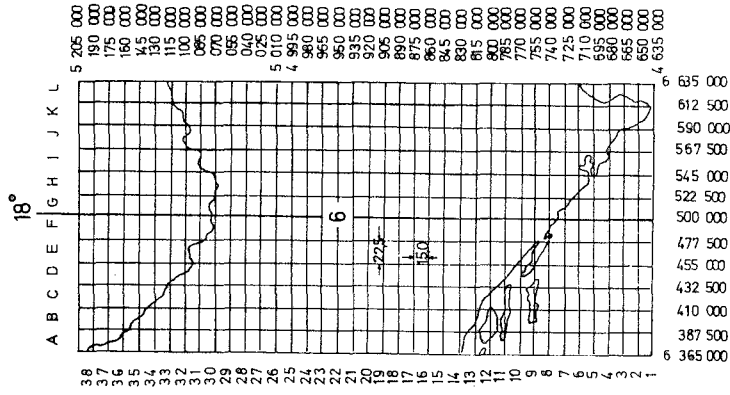
U svakom od navedena 3 koordinatna sustava (5, 6. i 7) postoji podjela na trigonometrijske sekcije, i to paralelno s osovinom X na rastojanju od 22,5 km i paralelno s osovinom Y na rastojanju od 15,0 km, koji čine niz pravokutnika — trigonometrijskih sekcija — koje su označene s lijeva na desno u kolonama slovima od A do L (12 kolona), a od juga na sjever u redovima označenim arapskim brojevima. Broj 1 svakog reda u pojedinom koordinatnom sustavu polazi od najjužnijeg dijela teritorija a završava odgovarajućim brojem na sjeveru koji osigurava pokrivanje teritorija SFRJ za tu zonu.

Tako, npr., u zoni 5. redovi idu od 1 do 30, u zoni 6. od 1 do 38 i u zoni 7. od 1 do 42, s tim da u 7. zoni ima (osim normalnih 12) 2 kolone više (M i N), radi pokrivanja istočnog dijela teritorija SR Makedonije (slike 3, 4 i 5).

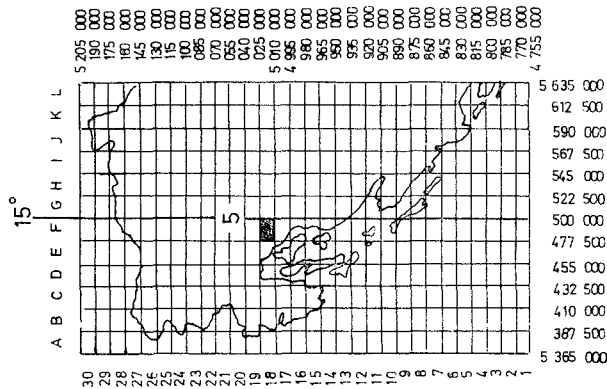
TRIGONOMETRIJSKE SEKCIJE



Sl. 5.



Sl. 4.



Sl. 3.

Kako svaka trigonometrijska sekcija ima u prirodi dužinu po Y-osovini 22,5 km a širinu po X-osovini 15,0 km, to površina svake sekcije ima 337,5 km². Budući da su rubne linije svake sekcije paralelne s koordinatnim osovinama, svaka od njih ima određene početne i završne koordinate, kao što se može vidjeti na slikama 3, 4 i 5. Svaka trigonometrijska sekcija, osim što je određena početnim i završnim koordinatama, ima opću oznaku (nomenklaturu) i naziv sekcije.

Opća oznaka sastoji se iz tri znaka. Na slici 3 označena trigonometrijska sekcija u 5. zoni ima opću oznaku

5 F 18

gdje je prva (5) broj koordinatnog sustava (zone), druga (F) je slovo kolone i treća (18) je broj reda.

Naziv sekcije sastoji se od imena, a određen je u spisku naziva sekcija, kao sastavnog dijela kartografskog ključa za izradu osnovne državne karte u mjerilu 1:5000. Tako, npr., sekcija 5 F 18 ima i naziv MRKOPALJ.

Svaka sekcija sadrži 50 listova osnovne državne karte (ODK) koje su numerirane od 1 do 50 po redu s lijeva na desno, tako da svaka sekcija ima 5 redova i 10 kolona a brojevi idu u prvom redu od 1 do 10, u drugom od 11 do 20, itd. do zadnjeg (petog) reda od 41 do 50. Na osnovi ovakve podjele svaki list ODK ima dimenzije po Y-osi 2250 m i po X-osi 3000 m i pokriva površinu od 675 ha.

Osim ove podjele trigonometrijske sekcije na listove karte 1:5000, posebno je propisan sustav podjele listova ODK u mjerilu 1:10000 kao i podjela na listove u mjerilima: 1:2500, 1:1000 i 1:500.

U nastavku vidi se osnovna podjela navedenih mjerila, dok se detaljniji opis oznaka i podjela može naći u odgovarajućem »Pravilniku« [14].

Listove ODK u mjerilu 1:10000 čine dvije sekcije mjerila 1:5000 iz iste kolone a iz dva susjedna reda i uzete kao cjelina sadrže 25 listova karte ovog mjerila koji su numerirano od 1 do 25 (po 5 u redu i koloni).

Planovi u mjerilu 1:2500 sadrže 100 listova u osnovnoj sekciji i numerirani su brojevima od 1 do 100 (po 10 u redu i 10 u koloni).

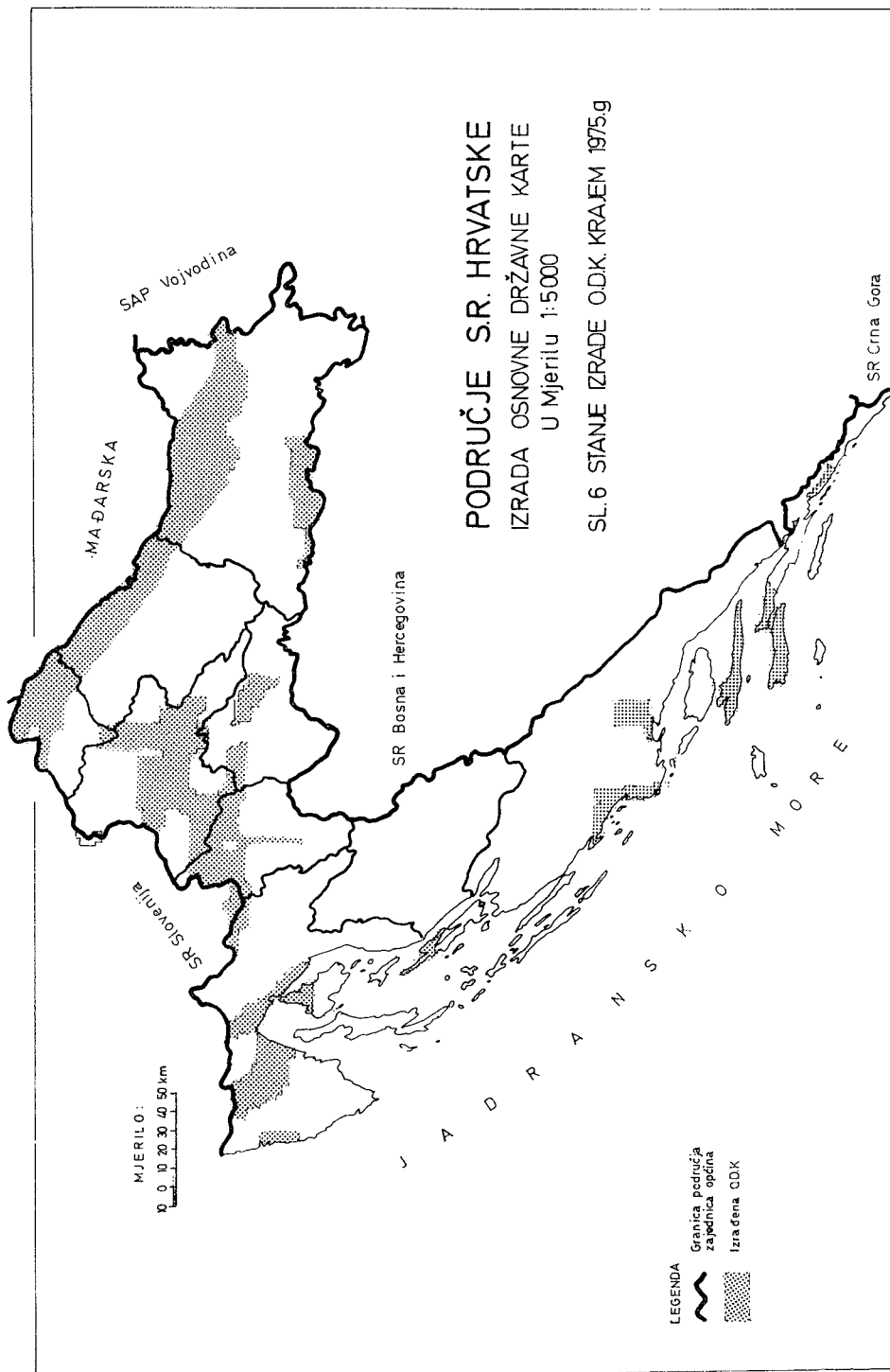
Planovi u mjerilu 1:2000 sadrže 225 listova u osnovnoj sekciji i numerirani su brojevima od 1 do 225 (po 15 u redu i koloni).

Planovi u mjerilu 1:1000 sadrže 18 listova ODK u mjerilu 1:5000 s brojevima od 1 do 18 (po 6 u redu i 3 u koloni).

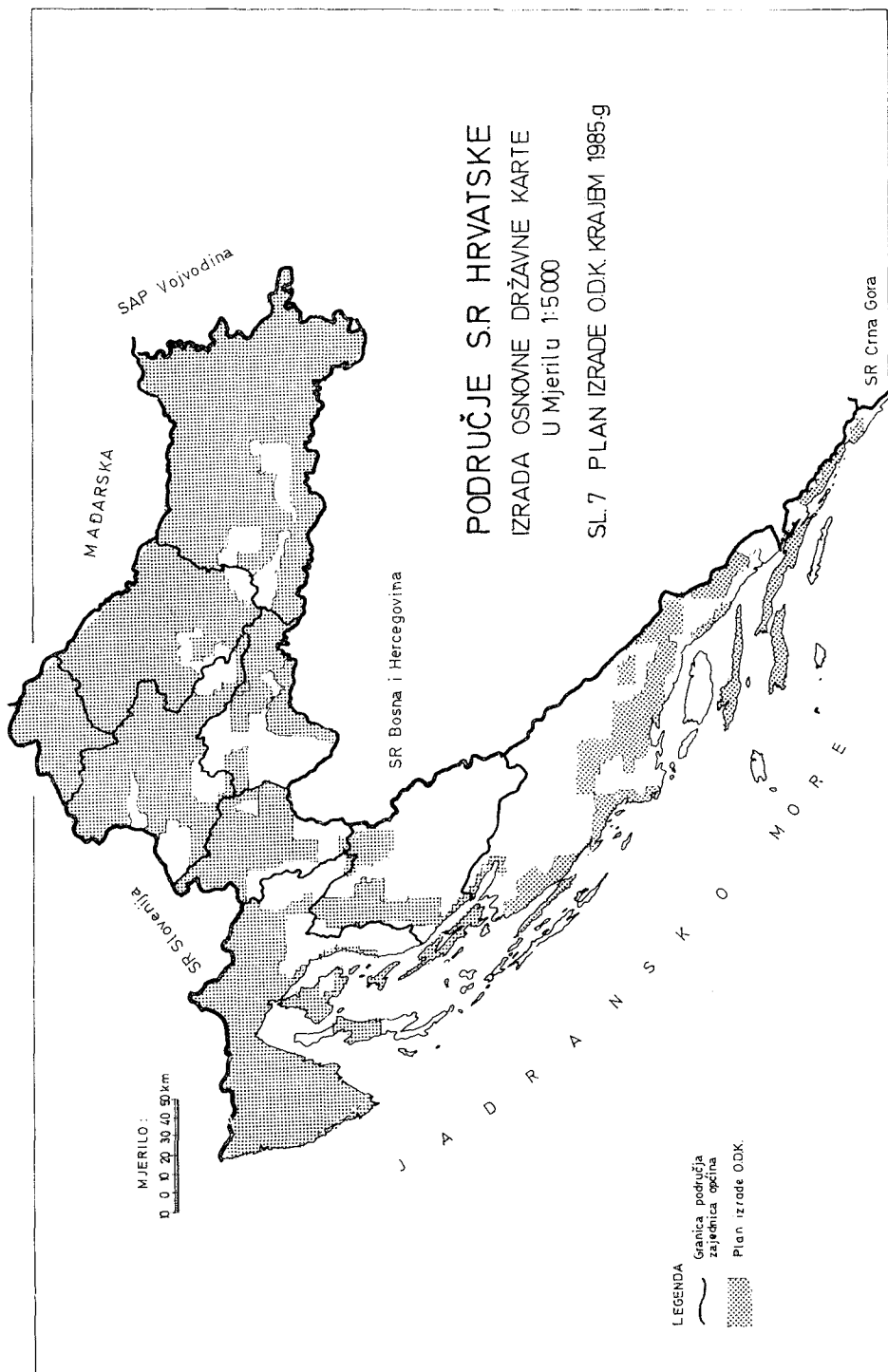
Planovi u mjerilu 1:500 sadrže 4 lista mjerila 1:1000 a označeni su malim slovima a, b, c, i d.

Od interesa za sve koji se bave problemima odvodnjavanja navodimo da se već duži niz godina na području SR Hrvatske provodi izrada ODK ili privredne karte u mjerilu 1:5000 koju financiraju uz Republičku geodetsku upravu (kao organ uprave osigurava 50% sredstava) i samoupravne vodoprivredne interesne zajednice slivova (Save, Drave i drugih), SVIZ-ovi lokalnih slivova, SIZ za ceste Hrvatske, SIZ-ovi za magistralne i regionalne ceste, te skupštine općina s organizacijama udruženog rada s područja općine.

Za ilustraciju navodi se podatak da je do kraja 1975. godine izrađeno na području SR Hrvatske listova ODK u mjerilu 1:5000 koji su pokrivali približno 10% Republike (slika 6).



Sl. 6.



Sl. 7.

Intenzivnim razvojem gradova, industrije, a naročito poljoprivrede kao i ostalih djelatnosti, narasla je potreba za daljom izradom listova ove karte, tako da je do konca 1982. godine bilo izrađeno 44% površine Republike, a u radu u 1983. godini bilo je daljih 13%, ili ukupno 57% površine Republike. Na slici 7 prikazana je planirana površina izrade ODK u mjerilu 1:5000 do kraja 1985. godine.

Potrebno je navesti da se posljednjih 10 godina izrada ove ODK radi isključivo na bazi aerofotogrametrijskog snimanja. Ove karte rade se sa slojnicama na razmaku 0,5 do 1,0 m u nizinskim područjima a s većim razmacima (5,0 do 10,0 m) na blago valovitu, brdovitu ili planinskom području.

5. TOPOGRAFSKI ZNAKOVI NA PLANOVIMA I KARTAMA

Prilikom korištenja određene karte ili plana, osim uvida u mjerilo u kojem je izrađena, bitan je sadržaj karte koji se predstavlja legendom ili ključem iz kojega se vidi što koja oznaka predstavlja na karti.

Za standardne izrade planova i karata mjerila 1:500 do 1:25000 postoje u »Pravilniku o kartografskim znakovima« [12] detaljno izrađeni primjeri prikazivanja raznih objekata na terenu sa znakovima koji se primjenjuju na kartama i planovima.

U »Zbirci kartografskih znakova« koja je prilog Pravilniku [12] postoji osnovna podjela znakova na:

- I Stalne geodetske točke i linije mjerenja
- II Tlo i zemljišni oblici
- III Vode i objekti uz njih
- IV Kulture na zemljištu
- V Granične linije i oznake
- VI Zgrade
- VII Prometnice i objekti uz njih
- VIII Kulturno-povijesni i vjerski objekti i znakovi
- IX Industrija, rudarstvo i slično
- X Vodovi i objekti koji im pripadaju (zajednički znakovi, vodovod, toplovod, vod električne energije i rasvjete, plinovod, vod tekućeg goriva, telekomunikacije i kanalizacije naseljenih mjesta)
- XI Kratice naziva
- XII Tipovi slova i brojeva.

Ovako predviđena podjela znakova od I do X ima ukupno 346 znaka s mogućnošću obrade na originalu karte ili plana u 4 boje (crna, plava, zelena i smeđa). Od tih 346 znakova, 52 se odnose na vode i objekte na njima ili uz njih. Navedene 4 boje se koriste u izradi privredne karte u mjerilu 1:25000, dok se karte u mjerilu 1:5000 obično rade u 3 boje na originalu (crna, plava i smeđa).

Ovakvom podjelom znakova omogućeno je svaki objekt ili detalj terena prikazati na karti odgovarajućim znakom. Zbog toga, korisnik karte, da bi mogao u potpunosti proučiti i razumjeti sve detalje što se na terenu nalaze, mora prethodno poznavati ove kartografske znakove. Iz tog razloga smatra se potrebnim dati uvid u samo nekoliko značajnijih znakova koji se odnose na odvodnjavanje zemljišta i problematiku usko vezanu uz nju (slike 8 do 15).

PRILOG
IZVOD IZ »ZBIRKE KARTOGRAFSKIH ZNAKOVA«

1: 500 — 1: 2000

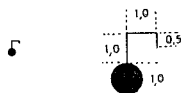
III Vode i objekti uz njih

49. Izvor, vrelo		
50. Česma, slavina		
51. Bunar, arteški bunar, crpka, pumpa za vodu		
52. Cisterna		
53. Izvor mineralne i termalne vode		
54. Estavela, vrelo-ponor		
55. Izvor i uvir ponornice		
56. Lokva, močilo		

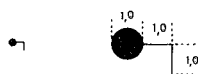
Sl. 8.

1:5 000 — 1:10 000

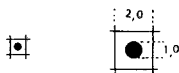
1:20 000 — 1:25 000



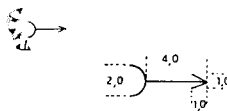
Ad 50-52 Na planu i karti mjerila 1:5.000 do 25.000 u naseljenom mjestu prikazuju se javni bunari česme ili cisterne te na pojedinim dijelovima mjesta po jedan privatni bunar, česma ili cisterna.



Isti znak kao 50



Isti znak kao 50

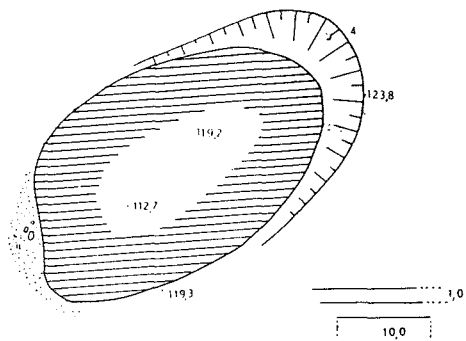


Ad 54-55 Crtelj znaka mora odgovarati naravnom izgledu

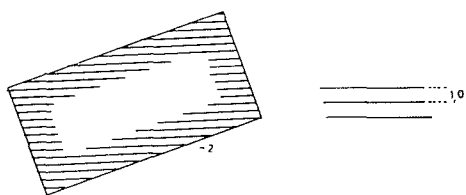


Ad 56-58 Za rub vodnog lica uzima se vodostaj srednje vode. Relativna dubina piše se na crnoj foliji s predznakom '-', zaokružena na metar.

57. Jezero, bara, ribnjak



58. Bazen



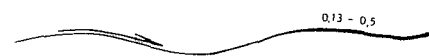
59. Vodoskok



60. Rub vodnog lica



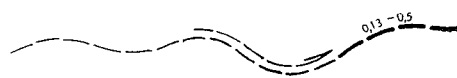
61. Prirodni vodotok sa stalnom vodom do 0,5 mm širine na planu i karti



62. Prirodni vodotok sa stalnom vodom, širi od 0,5 mm na planu i karti



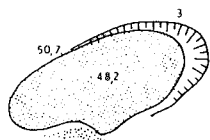
63. Prirodni vodotok s povremenom vodom do 0,5 mm širine na planu i karti



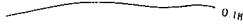
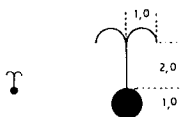
Sl. 9.

1: 5 000 — 1: 10 000

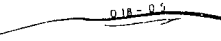
1: 20 000 — 1: 25 000



Bz ... 1,2



Ad 60 Crta se vodostaj srednje vode, a kod akumulacionih jezera najviši vodostaj

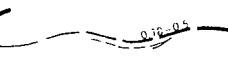
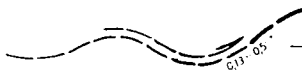


Ad 61-69 Nadmorske visine dna korita i točaka terena na obali pišu se na foliji za sepija boju.

Na karti u mjerilu 1: 5.000 do 1:25.000 površina pod vodom šira od 0,5 mm na karti pokriva se rasterom.

Relativna visinska razlika za reljef terena piše se na foliji za sepija boju, a relativna dubina od ruba vodnog lica do dna vodotoka na foliji za crnu boju s predznakom »-«.

Relativna visinska razlika zaokružuje se na metar.



1:500 — 1:2000

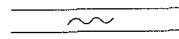
64. Prirodni vodotok s povremenom vodom širi od 0,5 mm na planu i karti



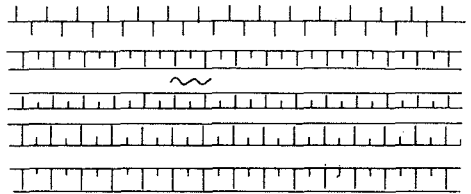
65. Izgrađeni vodotok, kanal, do 0,5 mm širine na planu i karti



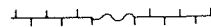
66. Izgrađeni vodotok, kanal, širi od 0,5 mm na planu i karti



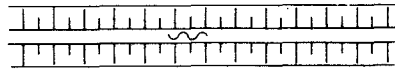
67. Primjer crtanja kanala s nasipima



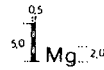
68. Kanal na nasipu od 0,5 mm širine na planu i karti



69. Kanal na nasipu širi od 0,5 mm na planu i karti



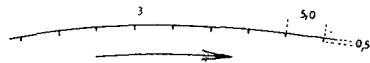
70. Mareograf



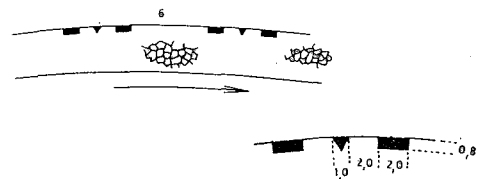
71. Vodomer, vodomjerna letva



72. Drvena obaloutvrda



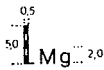
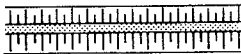
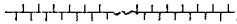
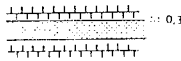
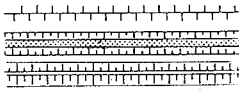
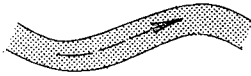
73. Kosa obaloutvrda od kamena



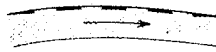
Sl. 10.

1 : 5 000 — 1 : 10 000

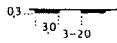
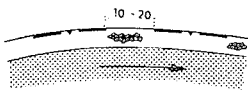
1 : 20 000 — 1 : 25 000



Ad 71 Nadmorska visina nule vodomjerne letve piše se na foliji za crnu boju.

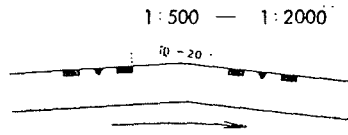


Ad 72-77 Relativna visinska razlika obaloutvrda odnosi se na cijelu visinu obale i izgrađene obaloutvrde iznad vodnog lica i pod vodom.

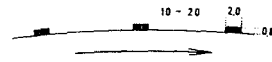


Isti znak kao 72

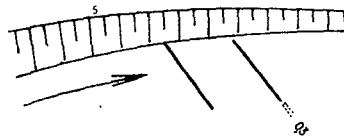
74. Kosa obaloutvrda od betona



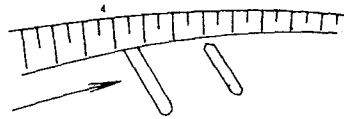
75. Okomita obaloutvrda od kamena ili betona



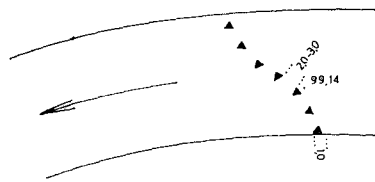
76. Pero, odbijač, do 0,5 mm širine na planu i karti



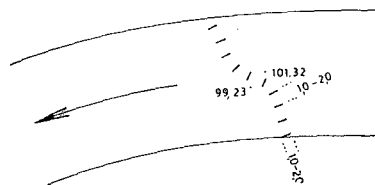
77. Pero, odbijač, širi od 0,5 mm na planu i karti



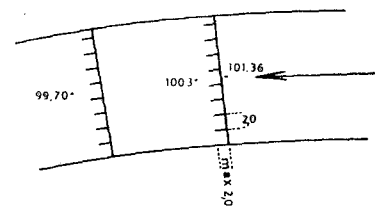
78. Prirodni prag u vodotoku preko 2 m visine



79. Prirodni prag u vodotoku do 2 m visine



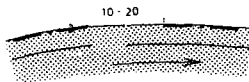
80. Izgrađeni prag u vodotoku



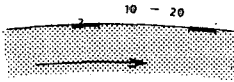
Sl. 11.

1:5 000 — 1:10 000

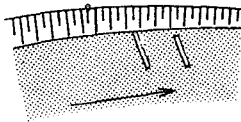
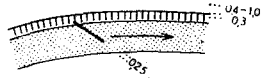
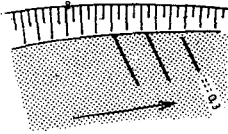
1:20 000 — 1:25 000



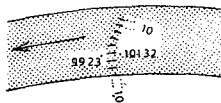
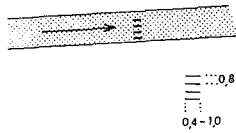
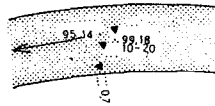
Isti znak kao 72



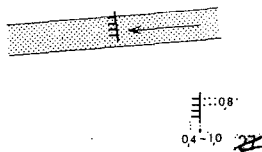
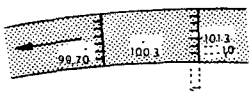
Isti znak kao 72



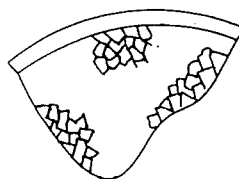
Isti znak kao 76



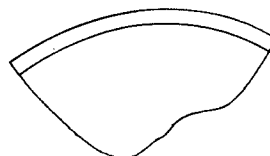
Isti znak kao 78



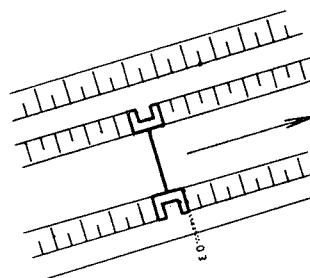
84. Brana od kamena viša od 3 metra



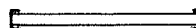
85. Brana od betona viša od 3 metra



86. Sigurnosna ustava, zapornica



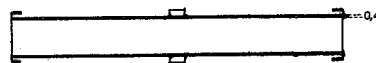
87. Pješački most



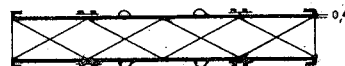
88. Drveni most



89. Kameni i betonski most



90. Željezni most



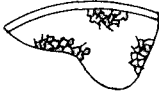
91. Pontonski most



Sl. 12.

1: 5 000 — 1: 10 000

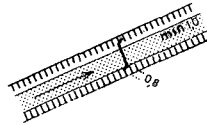
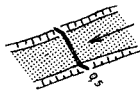
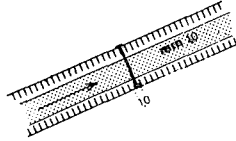
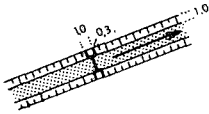
1: 20 000 — 1: 25 000



Isti znak kao 83

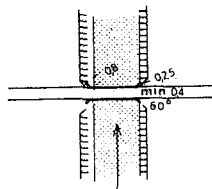
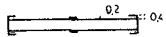


Isti znak kao 83

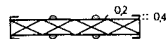


Ad 87-92 Nadmorska visina odnosi se na sredinu mosta i dno korita pod mostom.
Potporni stupovi prikazuju se u naravnom izgledu samo izvan projekcije mosta.

Isti znak kao 89



Isti znak kao 89

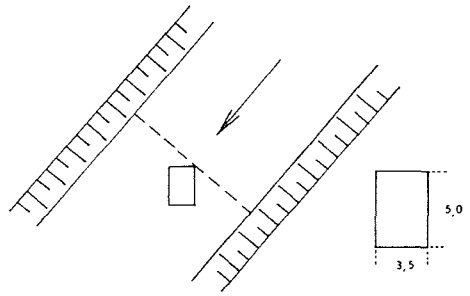


Isti znak kao 99

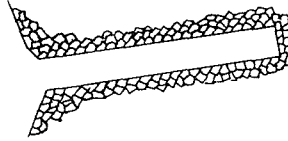


1: 500 — 1: 2 000

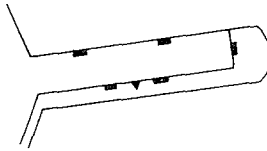
97. Skela za vozila



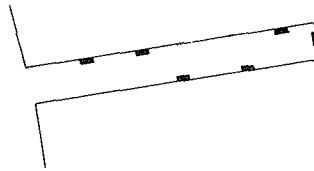
98. Molo, gat, valobran, od kamenog nabačaja



99. Kosji molo, gat, valobran, od kamena ili betona



100. Okomiti molo, gat, valobran, od kamena ili betona



IV Kulture na zemljištu

101. Granica kulture



102. Oranica



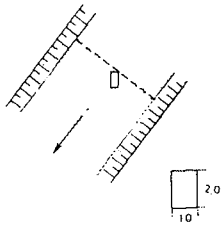
103. Vrt



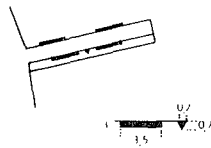
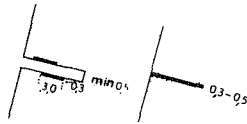
Sl. 13.

1:5 000 — 1:10 000

1:20 000 — 1:25 000



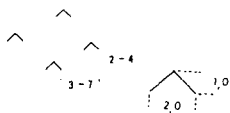
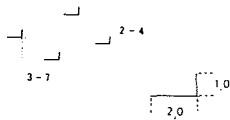
Isti znak kao 96



Isti znak kao 98

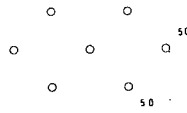


Isti znak kao 98

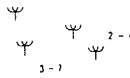


Ad 102-113 Znak za oranicu primjenjuje se samo kod mješovitih kultura.
Na topografsko-katastarskom planu znak se ne crta.
Na karti se crta mjestimično u grupama.

104. Vočnjak



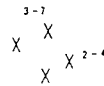
105. Maslinik



106. Vinograd



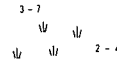
107. Hmeljište



108. Livada



109. Pašnjak



110. Šikara, grmlje



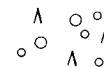
111. Bjelogorična šuma



112. Crnogorična šuma



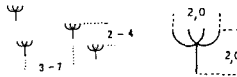
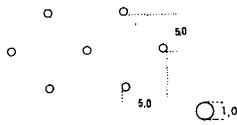
113. Mješovita šuma



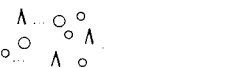
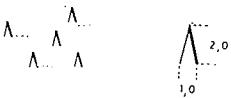
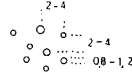
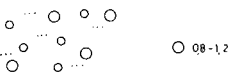
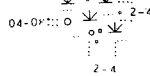
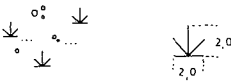
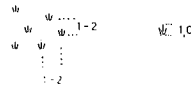
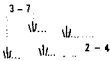
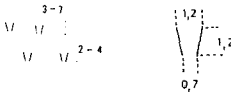
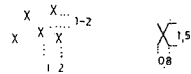
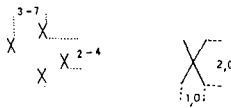
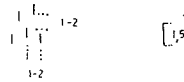
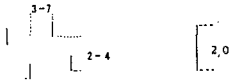
Sl. 14.

1:5 000 — 1:10 000

1:20 000 — 1:25 000



Isti znak kao 104



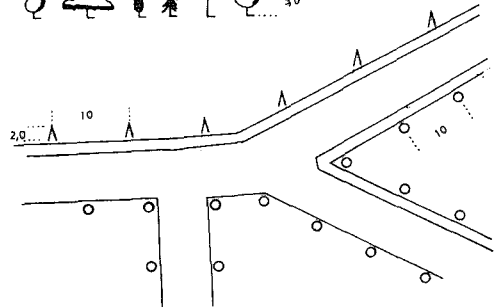
114. Šumska prosjeka



115. Markantno, usamljeno drvo



116. Primjer crtanja drvoreda



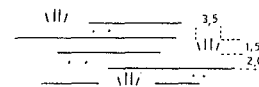
117. Rižište



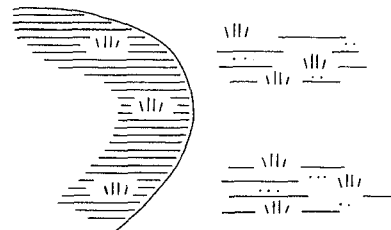
118. Trstik



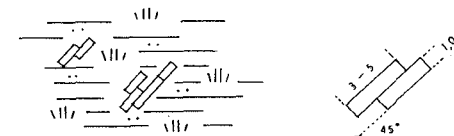
119. Močvarno zemljište



120. Primjer crtanja močvarnog zemljišta s barom



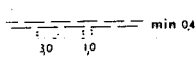
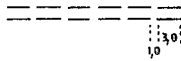
121. Tresetište



Sl. 15.

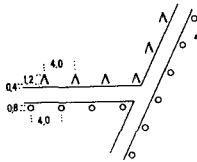
1:5 000 — 1:10 000

1:20 000 — 1:25 000



Q A 1,5
1,0 0,7

Ad 115 Crtič znak mora odgovarati naravnom izgledu stabla.

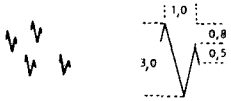


Ad 116. Na topografsko-katastarskom planu znak se ne crta.

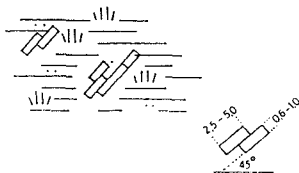
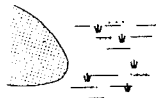
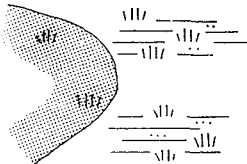
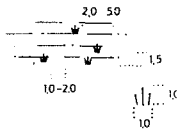
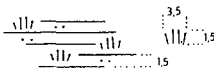


Isti znak kao 119

Ad 117-122 Na topografsko-katastarskom planu znak se ne crta. Na karti znak se crta mjestimično u grupama.



Isti znak kao 119



Isti znak kao 119

Iz priloženih slika vidljivo je da su topografski znakovi razvrstani u 3 grupe, i to: za planove mjerila 1:500—1:2000, 1:5000—1:10000 i za 1:20000—1:25000. Zbog tehnike izrade ovog teksta nije uočljivo razlikovati boje koje se u originalu karte obvezno primjenjuju. Zbog toga se preporučuje upoznati se s originalom koji je objavljen u »Zbirci kartografskih znakova« [12].

Ovo su, naravno, standardni znakovi koji se koriste kod izrade novih karata i planova a u nadležnosti su republičkih organa. U praksi, međutim, kod izrade tzv. »tematskih« ili specijalnih planova ili karata gdje se kao podloga koriste postojeće karte, uobičajeno je da se, ovisno o opsegu namjene (npr. projekta odvodnje), izradi i posebna (dodatna) legenda, gdje se posebnom tehnikom crtanja (šrafiranjem, prekrivanjem ili sličnom tehnikom) istaknu osnovne značajke projektiranih objekata.

Posebno se ističe da pri izradi različitih podloga u svrhe projektiranja odvodnjavanja postoji potreba i detaljnije legende od opisane. Tako npr. kod izrade pedoloških podloga postoji potreba vrlo detaljne legende s 10 ili više boja da bi se prikazale sve klasifikacijske jedinice tala.

Sigurno je da u našoj praksi projekata odvodnjavanja postoji potreba jedinstvenog unificiranja znakova projektiranih objekata, i to je zadatak koji bi se u narednom razdoblju morao obaviti.

6. GEODETSKI RADOVI U ODVDNJAVANJU TALA

6.1. Geodetski radovi za projekte odvodnjavanja

Područje izrade projekata odvodnjavanja obuhvaća više djelatnosti građevinarstva, kulturne tehnike, geodezije, agronomije, ekonomije i drugih struka.

Ona sadrže projekte unutrašnje odvodnje s rješenjem odvodnje suvišnih površinskih ili podzemnih voda s pripadajućim objektima.

U sklopu takva rješenja predviđaju se i drugi objekti za funkcioniranje cijelog sustava, pa je neophodno u geodetskom smislu izvesti radove s dovoljnom točnošću, kako horizontalnom tako i visinskom, da sustav odvodnje može efikasno funkcionirati.

Pri projektiranju jednog područja odvodnjavanja ili i pojedinih njegovih objekata, javlja se potreba projektiranja a kasnije i izvedbe radova (iskopi temelja objekata, zagati i sl.) koji imaju značajnu ulogu i na izvođenje geodetskih radova.

Pri radovima odvodnjavanja obično u sklopu integralnog rješenja određenog područja projektom se rješava sustav mreže odvodnih kanala i objekata na njima koje čine: glavni odvodni kanali, sabirni kanali, detaljni kanali, mostovi, propusti, prelazi, crpne stanice, bočni preljevi, ispusne ili upusne ustave, sifoni i dr. Uobičajeno je da se u sklopu jednog odvodnog sustava prethodno rade studije, podloge, idejna rješenja ili idejni projekti hidrotehničkih melioracija za cijelo područje, iza čega se pristupa izradi projekta odvodnjavanja. Sklopu izrade prethodnih podloga, u prvom redu, pripadaju:

- meteorološke studije i obrade njihovih fenomena
- hidrološke studije i njihove obrade
- geološka i hidrogeološka istraživanja
- pedološka istraživanja

— geomehanička istraživanja, kao i niz drugih specifičnih obrada, ovisno o stupnju integralnog rješenja. Najvažniji geodetski radovi nastaju u izradi podloga za projektiranje. Ovdje kao podloge služe pretežno već izrađene karte različitih mjerila, ovisno o stupnju izrade projekta, koje se rade u nadležnosti geodetske službe (civilne ili vojne) ili se dopunjuju ako postoje. Ako ovih podloga nema, one treba da se izrade po svim postojećim propisima geodetske struke.

Neophodna faza izrade projektne dokumentacije su idejna rješenja ili idejni projekti (ovisno o stupnju potrebne obrade).

Za idejna rješenja, ili, češće, idejne projekte, potrebne su slijedeće topografsko-geodetske podloge:

— karte odvodnjavanog područja u mjerilu 1:50000 (rjeđe 1:100000) pa do 1:25000, a iznimno za manje slivove i 1:10000. Iznimno, mogu se za opći prikaz i druge priloge koristiti i karte 1:100000 ili 1:200000, ali samo kao informativne u okviru šireg područja regije ili republike;

— za detaljnije razrade odvodnje područja s mogućnošću lociranja objekata (kanali, ustave, sifoni, crpne stanice i dr.) kao i za izradu uzdužnih profila vodotoka ili kanala, koriste se karte u mjerilu 1:25000, 1:10000 ili, češće, kao osnovna podloga karte 1:5000. Na svim ovim kartama potrebne su slojnice terena dovoljne gustine, odnosno razmaka da omogućé kvalitetno rješenje odvodnje. Neophodno je nastojati da razmak slojnica iznosi 0,25 m;

— za izradu uzdužnih profila vodotoka ili kanala koriste se navedena mjerila karata, a izrađuju se uobičajeno u mjerilu za dužine 1:25000, 1:10000 ili 1:5000, a za visine u mjerilu 1:500, 1:200, ili uobičajeno 1:100;

— poprečni profili izrađuju se u prikladnom mjerilu, ali uobičajeni su u mjerilu za dužine i visine 1:200 ili 1:100.

— posebni prilozi projektu kao nacrti objekata, njihovi tlocrti, poprečni ili uzdužni presjeci, rade se ovisno o veličini objekata u mjerilima: 1:500, 1:200 do 1:100, a iznimno za manje objekte i 1:50.

Za izradu glavnih projekata uobičajene topografsko-geodetske podloge čine:

— karte krupnih mjerila 1:5000 do 1:1000 a po potrebi i 1:500;

— uzdužni i poprečni profili, koji se izrađuju na osnovi mjerenja na terenu, rade se u mjerilu za dužine 1:5000 do 1:500 i visine u mjerilu 1:200 do 1:50 (uobičajeno 1:1000/100);

— za izradu projekta objekata snimaju se lokacije oko mjesta predviđenih objekata (brane, ustave, mostovi, sifoni, stepenice, obaloutvrde, razdjelne građevine i dr.) u pogodnom mjerilu po zahtjevu projektanta. To su obično krupnija mjerila od 1:500 do 1:100.

U ovom opisu vidljiv je pregled potrebnih topografsko-geodetskih podloga koje su obično u upotrebi i koji su po geodetskoj službi za određeno područje izrađeni ili im je izradu inicirala potreba rješavanja hidrotehničkih melioracija. Sve ove karte ili planovi rade se po propisanim standardima (pravilnicima, uputstvima, instrukcijama) navedenim u literaturi (12, 13, 14, 17 i 18).

Poseban problem čine geodetske podloge kao dopuna postojećim planovima ili kartama ili kao zasebno snimanje gdje nema odgovarajućih podloga ili nisu zadovoljavajuće obrade za potrebe projekta.

Program ovakvih geodetskih radova ovisi o kompleksnosti zadatka. Geodetski radovi obuhvaćaju prikupljanje podataka geodetske osnove, tj. triangulacije svih redova, poligonometrije, poligonih točaka, nivelmana i dr. za područje koje će obuhvatiti opseg projektiranja. Potrebno je prikupiti sve postojeće civilne i vojne karte i planove (uključujući i katastarske) koje su prethodno izrađene. Ujedno se prikupljaju i podaci o snimljenim uzdužnim i poprečnim profilima korita, vodotoka ili većih kanala, geodetske snimke postojećih objekata, karte naselja, gradova, industrijskih postrojenja, podaci o lokaciji naftovoda, plinovoda, dalekovoda i dr.

Za izradu projekata odvodnjavanja obično se kao prve koriste karte Vojno-geografskog instituta (VGI), tzv. »specijalke« u mjerilima 1:200000 do 1:25000. Na ovim kartama nalaze se podaci o godini i načinu snimanja (topografski ili aerofotogrametrijski). Stare karte ovih mjerila koje su još u upotrebi za projektiranje (1:200000 do 1:50000) izrađene su za vojne potrebe na temelju kartografskog materijala različitog porijekla a i kvalitete, i samo u određenoj mjeri mogu poslužiti za informativne svrhe, ali ne i za projektiranje.

Osim ovih karata starog izdanja, postoje i u izradi su nove privredne karte u mjerilu 1:25000, izrađene na osnovi aerofotogrametrijskih snimaka sa slojnicama razmaka 10 m a u dolinskim područjima i 5 m (crtkano) pa i 2,5 m (točkasto izvučene).

Od sadržaja karte za projekte odvodnje najvažniji je reljef zemljišta te stvarno stanje objekata na slivnom ili obrađivanom području. Visinski snimak mora biti priključen na državnu nivelmansku mrežu, a nivelmanski vlakovi postavljeni su uglavnom uzduž prometnica, većih rijeka ili kanala.

Geodetska i topografska mjerenja za potrebe odvodnjavanja uglavnom obuhvaćaju snimanje cijelog područja odvodnjavanja (eventualno slivnog) zajedno s postojećim vodoprivrednim objektima, nasipima, koritima vodotoka i kanala kao i svim drugim izvedenim objektima, zgradama, prometnicama, vodovima i dr., a snimanje obično zahvaća veću površinu. S obzirom na mjerilo karte, koriste se klasične metode snimanja ili metoda aerofotogrametrije. U ravnim dolinskim područjima, a ona su obično predmet rješavanja, posebno je potrebno visinsku predodžbu izvesti s posebnom pažnjom naročito ako je snimanje aerofotogrametrijsko. Ovo je naročito važno u ravnim i dolinskim područjima, gdje se izvode melioracijski radovi i gdje mali padovi terena znatno utječu na dobro rješenje odvodnje.

Kod snimanja vodotoka potrebno je snimati rubove obale kao i dno rijeke s dovoljnim brojem točaka te visinu vodnog lica s datumom snimanja. Osim ovog snimanja za tlocrtnu predodžbu, često se posebno snima riječno korito poprečnim profilima i predočuje uzdužnim i poprečnim profilima. U tom se slučaju duž vodotoka postavlja poligonski vlak. Stabilizaciju treba prilagoditi svrsi za koju se postavljaju, jer će se one obično koristiti kod prenošenja projekta na teren za izvedbu. Ako se vodotok regulacijom bude značajno promijenio, onda se prilikom snimanja treba koristiti sugestijom projektanta (ili već izrađenim projektom) i poligonske vlakove valja tako postaviti da se mogu koristiti i za iskolčenje nove trase. Ako je vodotok ili rijeka široka, postavljaju se poligonski vlakovi na obje strane, a dugačke vlakove treba međusobno povezati.

Za izradu glavnih projekata kod snimanja vodotoka potrebno je, osim podataka koji se moraju izraditi prema propisima, iznimno još snimiti i:

- poprečne profile riječnog korita ili vodotoka;
- riječno korito sa svim rukavcima, otocima, plićacima, ruševnim obalama i dr.;

- maticu vodnog toka s kotama dna vodotoka;

- visinu veoma visoke vode, sve objekte u koritu, na obalama i duž vodnog toka kao: ustave, pregrade, nasipe, regulacijske građevine, putove, kilometarske oznake, točke stalnih poprečnih profila, repere, vodomjere, limnigrafe i njihove objekte s niveliranjem kote nule i dr.

U području snimanja snimaju se svi potoci i kanali, jaruge, meandri, udoline ili uzvišenja, razina vode u ribnjacima i bunarima uz zabilježen datum snimanja. Kod snimanja veoma visoke vode potrebno je anketirati mjesno stanovništvo ili izmjeriti prema vidljivim znakovima na objektima ili drveću, što je obično moguće ustanoviti na rubovima šume.

Objekte na vodotocima kao mostove, propuste, pregrade, mlinove, sifone, ustave, stepenice i ostale nije dovoljno snimiti samo u tlocrtnom smislu. Potrebno ih je snimiti tako da se na temelju tlocrtnih i visinskih mjera mogu posebno detaljno u većem mjerilu nacrtati s više presjeka. Ovdje je potrebno snimiti kote donje konstrukcije mosta, dna i visine ustava ili propusta, kote ceste u lomovima nivelete, krune mostova, nasipa, propusta, te izmjeriti njihove glavne mjere (dužine, profil, nagib i sl.). Osim navedenih detalja, snimaju se i: granice kultura, društvena imovina, poljoprivredna dvorišta, telefonske i telegrafске linije, dalekovodi, plinovodi kao i svi drugi postojeći objekti koji će biti obuhvaćeni pojasom rješenja odvodnje.

Za izradu glavnih projekata odvodnjavanja obično se koriste postojeće karte određenog mjerila (1:5000 do 1:1000) koje treba uobičajenim geodetskim metodama dopuniti ili snimiti isključivo za ove potrebe. I u jednom i u drugom slučaju, osim prije navedenog, snimaju se svi postojeći kanali, depresije ili uzvišenja, poljski i tvrdi putovi, granice šuma, lokacije živica i šikara, granica društvenih poljoprivrednih površina, plinovodi, naftovodi, vodovodi, kanalizacija, podzemni kablovi raznih vrsta (općenito sve podzemne instalacije), dalekovodi, telefonske linije i svi drugi objekti koji se nalaze unutar rješavanog područja. Za podzemne instalacije potrebno je od nadležnih stručnih službi zatražiti podatke iz katastra izvedenih podzemnih instalacija da se točno ucrtaju u planove ili karte. Za urbana naselja ili sela treba ucrtati buduće građevinske zone prostornog uređenja naselja. Isto tako, potrebno je imati i kopiju postojeće katastarske karte u mjerilu 1:2880 ili 1:5760 radi osnovne informacije iz koje se može dobiti uvid u putnu i kanalsku mrežu, pregled parcelacije kao i granice katastarskih općina koje ulaze u područje odvodnjavanja.

U našoj praksi uobičajeno je da se kod svih većih melioracijskih zahvata (Črnec polje, Lonjsko polje i dr.) u praksi istodobno vrši i komasacija zemljišta.

Iz ovog proizlazi da se na odvodnjavanom području, bez obzira na to postoje li karte i planovi potrebnog mjerila, oni moraju izraditi ili dopuniti s obaveznom izradom slojnica na potrebnom razmaku i snimanjem svih karakterističnih točaka i detalja koji su neophodni za projektiranje odvodnog sustava.

6.2. Geodetski radovi iskolčenja i prenašanja projekta na teren

Za prenašanje projekta na teren, odnosno iskolčenje svih projektiranih objekata, mora postojati dobro stabilizirana poligonska i nivelmanska mreža. U prijenosu projekta na teren razlikujemo konstruktivni građevinski dio objekta (kao crpne stanice, ustave i dr.) od zemljanih radova kao što su sabirni ili detaljni kanali.

Za prijenos na teren objekata betonskih konstrukcija koriste se od projektanta zadani elementi iskolčenja koji se obično iskolčavaju ortogonalnom ili polarnom metodom uz obveznu kontrolu iskolčenja i posredno, drugom metodom, kako bi se izbjegle pogreške netočnog iskolčenja ovih stalnih objekata. Ovisno o objektu, iskolčava se osovina objekta, glavne lomne točke ili samo dvije osovine ili rubovi iskopa temelja, što sve ovisi o konstrukciji objekta. Obvezno se postavlja nedaleko od objekta pomoćni reper s određenom nadmorskom visinom ili nul točka objekta ili gradilišta. Prakticira se na pogodnom mjestu dati kotu poda, temelja ili neku drugu mjerodavnu kotu objekta. Ova će visina služiti izvođaču za cijelo vrijeme izvedbe objekta i u primopredajnom zapisniku mora se konstatirati od koje je najbliže nivelmanske točke (repera) prenesena. Sve ove točke stabiliziraju se ili betonskim kamenjem ili reperima od čeličnih ili željeznih šipki. Sve ove točke se moraju posebno osigurati da ne dođe do njihova oštećenja za vrijeme gradnje objekata.

Kod prenošenja na teren trase glavnih odvodnih kanala, obvezno se iskolčavaju glavne točke trase (tjemena, početak i kraj krivine, sredine krivine i dr.) sa svim karakterističnim točkama. Sve glavne točke na trasi izbacuju se u stranu, iskolčavaju i osiguravaju sa zaštitom od uništenja za vrijeme izgradnje. O svim ovim točkama potrebno je napraviti zapisnik s detaljnom uputom o načinu kasnije rekonstrukcije ovako osiguranih točaka.

Prenašanje na teren mjerodavnih točaka glavnih odvodnih, sabirnih i detaljnih kanala treba obaviti što točnije u odnosu na projektom zadane elemente, a na osnovi plana iskolčenja. U načelu prvo se iskolčavaju glavni odvodni kanali i na njima obave svi radovi osiguranja kao što je opisano. Za sabirne i detaljne kanale preporuča se, i najsigurnija je, metoda odmjeravanja širina projektiranih tabli na njihovim počecima i krajevima ili se koristi metoda iskolčenja s pomoću koordinata lomnih točaka. Kod svih ovih metoda obvezno se provodi kontrola paralelnosti tabli odnosno kanala, jer se oni tako i projektiraju. Sve međutočke moraju se posebno umjeriti, odnosno izmjeriti međurazmaci i kontrolirati njihova točnost. Krajnje točke i lomovi moraju se obvezno stabilizirati hrastovim kolcima \varnothing 10 cm, koji se zabijaju do razine terena. Pored kolaca se zabija tablica na kojoj je upisana stacionaža ili broj točke.

Za sve glavne točke kanala treba odrediti koordinate u državnom koordinatnom sustavu kao i visine s nadmorskom visinom određenom niveliranjem od najbližeg repera.

Za sve kanale radi se poseban popis svih glavnih točaka s koordinatama i visinama da se mogu u toku izgradnje rekonstruirati ili da služe za daljnje odmjeravanje ostalih potrebnih točaka.

Nakon iskolčenja glavnih i karakterističnih točaka, a prije prosijecanja i detaljnog iskolčenja, obvezno je provjeriti da li su svi kanali dobro položeni, kontrolirati udaljenost od postojećih objekata (dalekovoda, plinovoda,

čvrstih objekata, podkućnica i dr.). Prolaz trase kanala neposredno ispod podkućnica, vrtova, vinograda, voćnjaka kao i granicom građevinske zone, obično su najosjetljivija mjesta, pa ih treba zbog toga na licu mjesta odmah provjeriti i korigirati.

Nakon ovakve provjere, na terenu se vrši prosijecanje trase s iskolčenjem tangenata krivina, te stacioniranje preostalih karakterističnih točaka glavnih odvodnih i sabirnih kanala, i to na međusobnoj udaljenosti ne većoj od 50 m. Minimalni radius krivina na ovim kanalima obično zadaje projektant, a to u praksi obično iznosi $R = 50$ m. Po iskolčenju ovih, iskolčavaju se detaljni kanali po istim principima, ali se na njima ne vrši iskolčavanje krivina.

Stacioniranje svih kanala treba u principu početi iskolčavati od ušća prema početku s vođenjem skice iskolčenja u koju se upisuje: stacionaža, broj kolaca, međurazmak između kolaca, presjek trase kanala s postojećim putovima, kanalima, dalekovodima, živicama, granicama kultura, šuma, te svim značajnim objektima ili detaljima. Obično se iskolčenje provodi po osovini, a na vodotocima i kanalima s vodom, iznimno na paralelnom razmaku, što se sve registrira u skici iskolčenja. Pored svakog kolca stavlja se tablica s upisanom stacionažom ili brojem kolca. U slučaju da se uz kanal nalaze bilo kakvi objekti, sve je potrebno snimiti ortogonalno ili drugom metodom na os kanala. Ovo se odnosi naročito na grupu živica, šikara i šuma čije količine odstranjenja ulaze u dokaznicu mjera. Posebno se istodobno snimaju i sve udoline, depresije, uzvišenja zbog izrade dokaznica mjera skidanja materijala i poravnanja deponija kao grubog ravnanja zemljišta.

Iza iskolčenja trase snimaju se poprečni profili. Po potrebi ubacuju se i međuprofilu radi vjernije predodžbe terena i točnije dokaznice mjera. Poprečni profili se obvezno snimaju na glavnim odvodnim i sabirnim kanalima do potrebne širine. Za detaljne kanale poprečni profili se u principu ne snimaju, osim na izrazitim neravninama terena, kada ih je potrebno snimiti.

Sve iskolčene točke kanala moraju se visinski snimiti tehničkim nivelmanom vezanim na repere, a račun visina izvršiti s točnošću za tehnički nivelman odgovarajuće kategorije terena. Sve iskolčene točke trase određuju se s visinom zaokruženom na centimetar a sva niveliranja upisuju se u propisanim formularima.

Uz iskolčenje kanalske mreže ujedno se vrši i iskolčenje putne mreže. Iskolčavanje glavnih poljskih putova, gdje su predviđeni i obostrani cestovni jarci, obično se vrši samo po osovini puta a poprečni se profili snimaju u potrebnoj širini.

Sve ovako iskolčene trase kanalske i putne mreže zapisnički se predaju izvođaču radova i izvođaču radova komasacije. Uobičajeno je da se predaju glavne lomne točke i elementi krivina s osiguranjima. Uz predaju trase na terenu predaje se i kopija situacije projekta u odgovarajućem mjerilu s oznakom svih brojeva glavnih točaka, osovinama kanala te brojevima i oznakama kanala i tabli. Uz ovo, predaje se i popis koordinata i visina glavnih točaka kanala i putne mreže. O svemu ovom sastavlja se primopredajni zapisnik koji čini i sastavni dio izvedbenog dijela projektne dokumentacije. Svi ostali geodetski radovi za potrebe odvodnjavanja koji, s obzirom na opseg ove materije nisu mogli biti detaljnije opisani ili objašnjeni, mogu se naći u odgovarajućoj stručnoj literaturi (1, 8, 9, 11).

LITERATURA

1. *Cvetković, Č.*: Primenjena geodezija I, Beograd 1963.
2. *Cvetković, Č.*: Primenjena geodezija II, Beograd 1967.
3. *Grupa autora*: Predavanje iz melioracija, I dio, Beograd 1955.
4. *Grupa autora*: Predavanja iz melioracija, II dio, Beograd 1955.
5. *Hrenov, L. S. i dr.*: Inženernaja geodezija, Moskva 1967.
6. *Janković, M.*: Inženjerska geodezija, I dio, Zagreb 1968.
7. *Janković, M.*: Inženjerska geodezija, II dio, Zagreb 1966.
8. *Janković, M.*: Inženjerska geodezija, III dio, Zagreb 1980.
9. *Jovanović, S.*: Agrarne operacije, Beograd 1973.
10. *Macarol, S.*: Praktična geodezija, Zagreb 1968.
11. *Marjanov, M.*: Premer i melioracije zemljišta, Beograd 1964.
12. Pravilnik o kartografskim znakovima («Narodne novine», br. 24/76).
13. Pravilnik o metodama i načinu rada pri premjeru podzemnih instalacija i objekata («Službeni list SFRJ», br. 48/69).
14. Pravilnik o tehničkim propisima za izradu originala planova i određivanje površina parcela pri premjeru zemljišta («Službeni list SFRJ», br. 8/70).
15. *Tehnička enciklopedija*, knjiga 6, Zagreb 1979.
16. *Vladislavljević, Ž.*: Hidrotehničke melioracije, Beograd 1957.
17. Uredba o izradi premjera i katastra zemljišta i o njihovom održavanju («Službeni list SFRJ», br. 44/67).
18. Zakon o geodetskoj izmjeri i katastru zemljišta («Narodne novine», br. 16/74).
19. *Živković, I.*: Topografski planovi, Beograd 1983.

PROJEKTIRANJE, PROPISI I STANDARDI KOD ODVODNJAVANJA

Dr ZORKO KOS i mr JOSIP MARUŠIĆ

1. PLANIRANJE I PROJEKTIRANJE ODVODNIH SUSTAVA

1.1. Osnovni principi izrade tehničke dokumentacije

U suvremenim planovima razvoja nekog područja, potreba realizacije plana odvodnjavanja obično se pojavljuje zajedno s programom razvoja ostalih grana djelatnosti, a naročito obrane od poplava i vodoopskrbe, poljoprivrede i infrastrukture, komasacije i drugog. Vrsta, stupanj i opseg tehničke dokumentacije koju je potrebno izraditi do kraja realizacije objekta ili sustava variraju od slučaja do slučaja, ovisno o veličini i kompleksnosti zadataka, ali se općenito mogu podijeliti u tri faze, i to (prema domaćoj terminologiji):

- idejna studija,
- idejni projekt,
- glavni (izvedbeni) projekt.

Nazivi ovih stupnjeva obrade često se mnogo razlikuju u drugim zemljama, pa čak i u našoj zemlji u drugim krajevima, međutim, njihov sadržaj je obično isti.

a) Faza idejne studije (idejno rješenje) ima za cilj da odgovori na osnovno pitanje o izvodljivosti predloženog projekta, kako s tehničkog, tako i s ekonomskog stanovišta. Studija mora naročito obraditi slijedeća područja:

- koju površinu ili površine treba uključiti u plan odvodnjavanja;
- koje se prednosti i nedostaci mogu očekivati od tako polučених promjena stanja;
- koje su sve moguće varijante razvoja;
- koje je tehničke i organizacijske mjere nužno poduzeti za realizaciju predloženih varijanti;
- koji se ekonomski i socijalni efekti mogu očekivati od svake predložene varijante.

Očigledno je da mnoge prednosti i nedostatke, koji će se obrađivati, neće biti moguće izraziti u novčanim ekvivalentima, pa će se tu pribjeći drugim sredstvima usporedbe i analiza. To se posebno odnosi na rješavanje problema zaposlenosti, omogućenja razvoja prometnica, na zaštitu krajolika, poboljšanje zdravstvenih prilika, zaštitu kulturnih i rekreacijskih vrednota i slično.

Obrada dokumentacije ovog stupnja mora se u najvećoj mjeri bazirati na postojećim podlogama i prije izrađenoj dokumentaciji bilo koje vrste. Naročito korisne informacije moći će se dobiti iz:

- aerosnimaka;

— svih vrsta postojećih karata (mapa): topografskih, geoloških, pedoloških, kao i karata upotrebne vrijednosti tla;

— postojećih podataka i istraživanja u odnosu na tlo, površinske i podzemne vode, klimu, usjeve, prinose i sl.

Jedan od bitnih elemenata ovog stupnja dokumentacije je izrada karte područja koje se odvodnjava s međom melioracijskog područja i granicom glavnih i svih parcijalnih slivova (vododjelnica). U nastavku na ovaj dio treba u najvećoj mogućoj mjeri obraditi hidrološke karakteristike područja. Kao podloga za obradu bilo koje hidrološke veličine ne može biti mjerodavan niz koji nema bar 10 godina opažanja. U pravilu se smatra da skup koji zadovoljava današnje kriterije pouzdanosti treba imati neprekinut niz opažanja od 30 godina ili duže. Hidrološke veličine najčešće će se izraziti u vidu vjerojatnosti pojave u jedinici vremena. Korelacijske veze mogu se uspostaviti između različitih hidroloških (klimatskih) veličina u istom području (temperatura: isklapljivanje, npr.).

Ova će se faza završiti izradom studije ili tehničkog izvještaja u kojem će se, pored navedenog, naročito obraditi i prikazati svi važni postojeći podaci o tom problemu, te dati prijedlozi alternativnih rješenja. Cijene i troškovi izradit će se po jedinici površine ili dužine, koristeći iskustva s drugih sličnih projekata. Naročitu pažnju treba posvetiti prijedlogu narednog koraka izrade dokumentacije, potrebe studijskih i istraživačkih radova, te eventualnog uspostavljanja nekih eksperimentalnih ploha ili polja. Za studijske i istraživačke radove i za eventualne eksperimentalne plohe treba izraditi i preliminarni program istraživanja.

b) Faza idejnog projekta s pripadnim investicijskim programom približno odgovara tzv. »feasibility study«, tipu dokumentacije koji je svojedobno uvela Međunarodna banka za obnovu i razvoj, a danas općeprihvaćenom u gotovo svim sličnim međunarodnim i nacionalnim organizacijama.

Ovaj stupanj dokumentacije izrađen je mnogo detaljnije nego idejna studija i na osnovi prikupljenih i obrađenih podloga i terenskih predradnji navedenih u studiji. Ovako projektiran sustav i pojedini objekti u njemu moraju biti obrađeni u detaljima do te mjere da je moguće izraditi predračun troškova koji može odstupati najviše do 10%. U ovoj fazi rada troškovi građenja i pripadni račun rentabiliteta mora biti izrađen na bazi stvarnih količina radova uz mjerodavne lokalne cijene.

Idejni projekt s pripadnom ekonomskom dokumentacijom mora konačno odgovoriti na tri ključna pitanja koja su neophodna za donošenje odluke za građenje bilo kojeg investicijskog objekta, i to:

— kakav se sustav mora graditi;

— do kojeg stupnja treba taj sustav sagraditi i koje su dimenzije pojedinih elemenata u njemu;

— kako koristiti sustav, odnosno propisati pravila pogona.

Na bazi idejnog projekta i odgovarajuće ekonomske dokumentacije, nadležna će vlast konačno izabrati odgovarajuću alternativu za realizaciju; uzimaju se, dakako, u obzir i nemjerljivi činioci, kako je to već spomenuto.

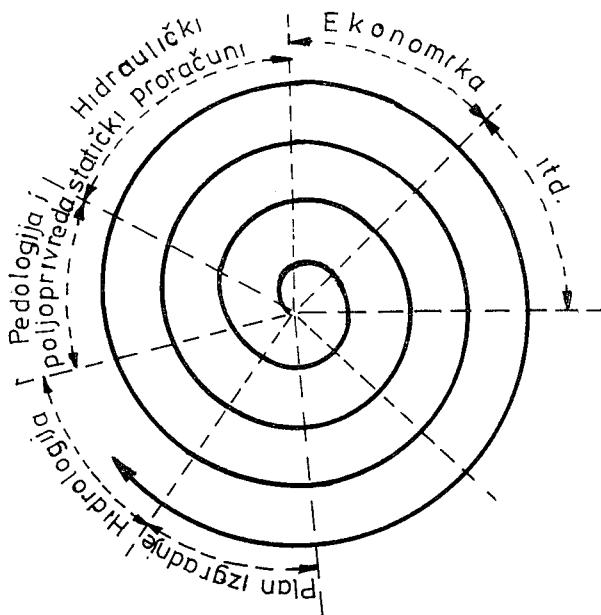
c) Faza glavnog projekta slijedi nakon idejnog, a obrađuje onu alternativu koja je prethodno odabrana. Prije početka izrade ove faze treba biti donesena odluka o građenju i osigurana potrebna financijska sredstva.

U ovom stupnju izrađuju se detaljni nacrti pojedinih objekata koji će služiti za građenje, a na temelju njih i definitivan predračun radova na

temelju stvarnih dokaznica mjera i analiza cijena. Ovako dobiveni troškovi građenja ne smiju mnogo odstupati od troškova dobivenih u prethodnoj fazi.

Mjerila crteža variraju ovisno o veličini sustava i objekata, ali općenito se može uzeti da će situacijski nacrt biti najčešće između 1:10000 do 1:2500, a nacrti objekata između 1:50 i 1:200.

Zadnji dokument ove faze bit će elaborat za postupak licitacije. Veoma zoran prikaz stupnjeva obrade tehničke dokumentacije može se dati u vidu spirale. Svaki zavoj spirale prikazuje nam jedan stupanj obrade dokumentacije. Sve što je zavoj udaljeniji od središta, to je projekt detaljnije obrađen. Pojedini segmenti na zavoju prikazuju pojedina područja obrade, što je jasno vidljivo iz slike. Dužina zavoja (segmenta) prikazuje, u određenom mjerilu, potreban rad, odnosno troškove za izradu svake faze projekta. Dakako, ova shema vrijedi za bilo koji projekt, a ne samo za odvodnjavanje.



Sl. 1. Stupnjevi izrade tehničke dokumentacije prikazani u vidu spirale

1.2. Zakonska regulativa o izradi tehničke dokumentacije

U SR Hrvatskoj, izrada tehničke dokumentacije, kao i sve radnje od pripremnih i prethodnih radova, pa do upotrebe novoizgrađenih građevinskih objekata i sustava, regulirane su Zakonom o izgradnji objekata koji je proglašen ukazom od 15. prosinca 1981. i objavljen u »Narodnim novinama« br. 52 od 16. prosinca 1981.

Iako navedeni Zakon izričito ne propisuje obvezu investitora na izradu tehničke dokumentacije, u skladu s navedenim stupnjevima i fazama, prema

duhu pojedinih odredbi jasno proizlazi da je takav redosljed neophodan i neminovan, izuzev neke veoma jednostavne i male građevine.

U prethodne radove prema citiranom Zakonu kod planiranja izgradnje objekata ubraja se i izrada investicijskog programa, čiji je sadržaj preciziran članom 9, u kome se, između ostalog, navodi:

»Investicijski program je tehničko-ekonomski elaborat koji, ovisno o vrsti objekta, treba da sadrži:

— tvrtku odnosno naziv investitora te naziv i opis objekta s podacima o namjeni objekta, kapacitetima i o programu proizvodnje;

— analizu uvjeta uređenja prostora i drugih uvjeta izgradnje i njihova utjecaja na visinu sredstava potrebnih za izgradnju objekta i na korištenje objekta;

— podatke o broju i kvalifikacijskoj strukturi radnika neophodnih za korištenje izgrađenog objekta i o mogućnostima osiguravanja stanova, odnosno stanovanja za te radnike;

— analizu ekonomske, društvene, tehničke i tehnološke opravdanosti izgradnje...;

— podatke o uklapanju objekta u plan prostornog uređenja te u vodoprivrednu, energetska i prometnu osnovu...;

— visinu sredstava potrebnih za izgradnju i korištenje objekta...;

U članu 10. se, nadalje, navodi da je, između ostalog, sastavni dio investicijskog programa »dokumentacija o geomehaničkim, geološkim, seizmološkim, hidrološkim, ekološkim, meteorološkim i drugim istražnim radovima... i tehničko rješenje objekta izrađeno u obliku tehničke dokumentacije potrebne za dobivanje građevinske dozvole ili najmanje u obliku idejnog projekta«.

Sadržaj tehničke dokumentacije za dobivanje građevinske dozvole preciziran je članom 16. navedenog zakona, ali bez detaljnijeg propisivanja opsega i stupnjeva izrade pojedinih dijelova elaborata. Iz opisa sadržaja i namjene pojedinih priloga očigledno je da se ovdje radi o glavnom projektu. Naime, u članu 17. navodi se da je »tehnička dokumentacija za građenje objekta« (izvedbeni projekt), dokumentacija za dobivanje građevinske dozvole dopunjena detaljima i drugom dokumentacijom, potrebnom za građenje objekta.

Već iz ovih nekoliko citata i napomena očigledno je da zakonski propisi daju samo okvirne upute i obveze pravnim i fizičkim osobama odgovornim za faze realizacije pojedinih građevina. Prema tome, dužnost je i obveza, kako investitora tako i projektanata, da, putem profesionalnih udruženja i drugih sličnih institucija, porade na pripremi normativa, standarda i uputa za pojedine vrste, faze i stupnjeve izrade tehničke i ostale dokumentacije.

S tim u vezi treba naglasiti da je zadaća našeg društva da se, bilo neposredno, ili putem specijaliziranih znanstvenih i drugih institucija, pobrine za izradu pojedinih za praksu veoma korisnih normativa i standarda, kako bi se što više unaprijedila i pojeftinila izrada tehničke dokumentacije i samih građevina i sustava. Tako bi bilo, npr. neophodno da se u neposrednoj budućnosti pripreme standardi za izradu podloga kod radova odvodnjavanja, zatim projektiranja i građenja drenažnih sustava, tipski projekti objekata na mreži (okna, izljevi, stepenice i sl.) itd. Na taj način najviše bismo mogli pridonijeti predstojećem zamahu hidromelioracijskih radova, koji se već

godinama najavljuje, ali koji neminovno mora brzo uslijediti kao jedna od poluga ponovnog zamaha privrednih aktivnosti u duhu stabilizacijskih mjera i osiguranja dovoljne količine poljoprivrednih proizvoda za neposrednu potrošnju, preradu i izvoz.

1.3. Podaci o tezama, prijedlozima i uputstvima za Pravilnik o projektiranju hidromelioracijskih i vodoprivrednih objekata

Zbog važnosti definiranja osnovnih elemenata u procesu izrade i sadržaja odgovarajuće investicijsko-projektno-tehničke dokumentacije iz područja vodoprivrede i melioracije — do sada je bilo više akcija, ali bez izrade i usvajanja potrebnih normi, propisa, pravilnika.

I pored dosta izvršenih poslova, naročito u razdoblju od 1955. do 1965. niti u 1983. godini nemamo definirane i verificirane vlastite propise i norme. Zato je u praksi prisutna šarolikost kako u fazi terenskih ispitivanja i mjerenja tako i u fazi izrade i pregleda projektno-tehničke dokumentacije iz područja hidrotehničkih melioracija, pa i cijele vodoprivredne djelatnosti.

Navedenu problematiku trebalo bi na osnovi prijašnjih uputa i novih iskustava definirati sa svim potrebnim elementima — od faze izrada studijskih rješenja putem pojedinih nivoa projektne dokumentacije pa do elemenata tehnologije izvođenja i održavanja vodoprivrednih objekata.

Postoje podaci o razrađenim uputama i propisima u vezi s projektiranjem, propisima i standardima kod odvodnjavanja — na različitim razinama, ali posao bi trebalo i dovršiti s kompletnim definiranjem svih potrebnih elemenata u skladu s važećom regulativom.

U ovom radu daje se skraćeni prikaz Uputstva za izradu idejnih projekata hidrotehničkih melioracija na područja sliva rijeke Save u SR Hrvatskoj izrađenih još 1964. godine.

1.3.1. Uvod

Na osnovi navedenih prijedloga i uputa za izradu odgovarajućih pravilnika, kao i vlastitih iskustava i potreba, Direkcija za Savu (OVP) Zagreb je 1964. godine izradila Uputstva koja su trebala biti prva faza u definiranju osnovnih elemenata za izradu i verifikaciju potrebnih normi i pravilnika iz područja hidrotehničkih melioracija.

Uputstva su data za potrebe — izrade projekta hidrotehničkih melioracija na slivnim područjima rijeke Save u SR Hrvatskoj i osnovni su koncept pri rješavanju pojedinih melioracijskih površina.

U skladu s uputstvima treba da postupe

- investitori kod davanja projektnih zadataka
- projektne organizacije koje izrađuju odgovarajuća projektna rješenja za melioracijska područja
- sve ostale zainteresirane organizacije koje direktno ili indirektno sudjeluju u izradi predmetnih projekata iz područja melioracija.

Upute se odnose kako na izradu projekata hidrotehničkih melioracija u cjelini tako i za njihove pripadajuće građevine kao i objekte — koji služe za normalno funkcioniranje hidrotehničkih sustava.

1.3.2. Izrada idejnog projekta

Elaborat idejnog projekta treba da utvrdi definitivno rješenje kompleksa hidrotehničkih melioracija određenog područja. U načelu se izrada idejnog projekta radi na osnovi izrađene i prihvaćene vodoprivredne osnove slivnog područja, te izrađenog i usvojenog projekta s mišljenjem i preporukama nadležnog vodoprivrednog organa i ostalih organizacija. Ako se ne raspolaze izrađenom vodoprivrednom osnovom niti osnovnim projektom, izuzetno se za manja područja idejni projekt može raditi i bez ovih, ali je neophodna izrada osnovnog projekta za radove koji uvjetuju izradu idejnog projekta za odvodnjavanje.

Načelno, idejni projekt za melioracijsko područje treba da obuhvati rješavanje cijelog slivnog područja, i on se sastoji od slijedećih dijelova:

- 2—1 Uređenja bujica i antierozioni radovi
- 2—2 Obrana od poplave vanjskih voda (regulacija vodotoka)
- 2—3 Obrana od poplava brdskih voda (lateralni kanali)
- 2—4 Obrana od poplave unutarnjih voda (odvodnjavanje)
- 2—5 Navodnjavanje zemljišta (ako je potrebno)
- 2—6 Ostali potrebni radovi.

Od ove načelne obrade idejnog projekta može se odstupiti u slučaju da su idejni projekti pod 2—1, 2—2 i 2—3 već prethodno riješeni, tako da se može pristupiti samo izradi projekta za odvodnjavanje, ili je osnovni projekt tih elaborata izrađen u tolikom opsegu da nije potrebna izrada idejnog projekta. U tom slučaju to se mora navesti u projektom zadatku.

Kod izrade idejnog projekta potrebna je koordinacija sa svim društvenim organima i organizacijama na dotičnom području, kako bi izrađeni projekt bio sinteza zajedničkog problema riješenih u okviru idejnog projekta.

Idejni projekt se radi na osnovi izvršenih istražnih radova i drugih podloga i studija potrebnih za projektiranje. On treba da se razradi u tolikom opsegu:

— da dokaže svrsishodnost projektirane hidrotehničke cjeline s tehničkom, privrednom i ekonomskom opravdanošću projektiranih radova u perspektivi narodne privrede;

— da obuhvati izradu cijelog hidrotehničkog kompleksa kao investicijskog objekta, bez obzira na to što se njegova izgradnja može vršiti nekoliko godina, te da obuhvati građevinski i pogonski dio kao cjelinu s programom izrade projekta po godinama;

— da obuhvati sve elemente i uskladi način izgradnje svih dijelova na najekonomičniji način kako bi objekat, u slučaju izgradnje u fazama, mogao funkcionirati u cjelini i po pojedinim dijelovima hidrotehničkog sustava koji mogu činiti posebnu tehničku i ekonomsku cjelinu;

— da riješi sva pitanja iz ekonomske problematike, a tehničko rješenje treba da pruži karakteristike svih građevinskih objekata, normativa, materijala, mehanizacije, finansijskih sredstava itd.

— da izradi tehničko rješenje u više varijanata, te da usporedbu i opravdanost predloženog rješenja (varijante) na osnovi istovrijednih pokazatelja, te tako dokaže ekonomičnost predloženog varijantnog rješenja.

Da bi idejni projekt mogao zadovoljiti ove zahtjeve, potrebno je da postoje završeni (ili da su u toku izrade) istražni radovi podloge: geološke,

geotehničke, klimatološke, pedološke, poljoprivredno-ekonomske i druge naravi.

Metode obrade i sadržaj podloga nisu predmet ovih Upustava, ali one treba da se obrađuju do te mjere da se na osnovi njih mogu provesti potrebni tehnički i poljoprivredno-ekonomski proračuni, i oni se obavezno prilažu uz izrađeni idejni projekt. Njihov sadržaj bit će objašnjen naknadno.

1.3.3. Podloge idejnog projekta

Za izradu idejnog projekta potrebno je prethodno izraditi (ili da su u toku izrade) slijedeće podloge:

1.3.3.1. geodetski planovi u mjerilu 1:1000, 1:2000 ili 1:5000 s izohipsama na ravničastim terenima s razmakom 0,5 ili 1,0 m a za brežuljkaste i brdske terene s razmakom 2—5 m;

1.3.3.2. topografske karte u mjerilu 1:10000, 1:25000 ili 1:50000 s razmakom slojnica 5, 10 i 20 m (što ovisi o raspoloživim kartama);

1.3.3.3. klimatološke podloge koje treba da obuhvate analitički i grafički prikaz vremenskih i temperaturnih promjena (godišnje, vegetacijske, ljetne izvanvegetacijske), vlažnost zraka (godišnja, vegetacijska, jesenska, zimska), vjetrove, naoblaku (godišnju, vegetacijsku, jesensku, zimsku), mrazove (rane, kasne i srednje) kao i sva opažanja koja su vršena na dotičnom području. Ove podloge treba da dadu pouzdane zaključke potrebne za izradu projekta;

1.3.3.4. hidrološke podloge treba da sadrže sve analitičke i grafičke podatke o vodostajima, mjerenju protoka vode na vodotocima i njihov vremenski raspored, podatke o padavinama i njihovu vremenskom rasporedu, o podzemnim i procjednim vodama i njihovu godišnjem kolebanju. Osim ovih podataka, podloge je potrebno upotpuniti nizom posebnih opažanja i mjerenja, kako bi se dobili svi potrebni hidrološki elementi potrebni za hidrološku obradu, kako za uređenje bujica i obrane od poplave vanjskih voda, tako i unutarnjih voda. Konačna hidrološka obrada treba da daje mjerodavne vodne količine za dimenzioniranje hidrotehničkih objekata u sustavu u odgovarajućim povratnim razdobljima (regulacija vodotoka, lateralni kanali, glavni kanali, sekundarni i detaljni kanali kao i crpne stanice, ustave, preljevi itd.).

1.3.3.5. geološke podloge treba da sadrže izvještaj, karte i karakteristične geološke profile izrađene na osnovi istražnih radova, dokaze o mogućnosti realizacije objekata, s obzirom na geološke prilike i predviđene mjere za konsolidaciju terena u svrhu građenja hidrotehničkih objekata;

1.3.3.6. geomehničke podloge treba da sadrže izvještaj s terenskim i laboratorijskim ispitivanjima zemljišta za sve veće objekte s procjenom troškova fundiranja, konsolidacijom tla i ostalim ispitivanjima potrebnim za dokumentaciju. U ovim podlogama treba obraditi i ispitivanje lokalnih materijala koji će se upotrijebiti u građenju;

1.3.3.7. Poljoprivredno-ekonomske podloge

I Uvod

II Prirodni faktori

a) Klima

b) Osobine zastupljenih tala — pedološka karta 1:5000

c) Prikaz geoloških prilika — geološka karta 1:5000

d) Komunikacije

- III Sadašnje stanje privrede
 - a) Demografske prilike
 - b) Tržišne prilike
 - c) Grubi prikaz industrije
 - Poljoprivredno-prehrambeni kompleks:
 1. Sadašnja struktura iskorištenja površina — karta kulturnih vrsta 1:5000
 2. Sadašnja struktura iskorištenja površina društvenog i individualnog posjeda
 3. Prosječni prinosi po jedinici površine
 - a) u privatnom sektoru
 - b) u društvenom sektoru
 - c) prosjek
 4. Dosadašnji opseg poljoprivredne i šumarske proizvodnje
 5. Dosadašnja vrijednost poljoprivredne i šumarske proizvodnje
 6. Zastupljenost stočarstva
 7. Dosadašnji opseg i vrijednost stočarske proizvodnje
 8. Dosadašnja vrijednost poljoprivredno-stočarske i šumarske proizvodnje
 9. Sadašnje stanje prehrambene industrije
- IV Perspektivni razvitak poljoprivredno-prehrambenog kompleksa
 - a) Perspektivna struktura korištenja površina — karta kulturnih vrsta 1:5000
 - b) Perspektivna struktura iskorištenja površina po sektorima vlasništva
 - c) Osnovu načela perspektivne poljoprivredne proizvodnje:
 1. Stočarska zastupljenost
 2. Raspodjela stoke po sektorima vlasništva
 3. Opseg i vrijednost stočne proizvodnje po sektorima vlasništva
 4. Opseg i vrijednost biljne proizvodnje
 5. Rekapitulacija biljne i stočarske proizvodnje
 - d) Razvitak prerađivačke industrije
- V Sustav regulacijske odvodnje i normativi odvodnje
 - a) Izbor sustava odvodnje
 - b) Norma odvodnje
 - c) Evakuacija suvišnih voda s proizvodnih površina
- VI Organizacija teritorija
 - a) Idejno postavljanje vanjske odvodnje
 - b) Regulacijska odvodnja s agromelioracijama i sistematizacijom tala
 - c) Unutarnje i vanjske komunikacije
 - d) Tabliranje — određivanje poljoprivrednih parcela
 - e) Zasnivanje-sadnja drvoreda topole kao zaštita od erozije vjetra po (potrebi)
 - f) Određivanje granica pojedinih proizvodnih jedinica
 - g) Lokacija ekonomskih dvorišta
 - h) Shematski prikaz sistematizirane parcele
 - i) Prikaz idejno projektiranog područja s kanalskom mre-

žom, putovima i svim hidrotehničkim objektima — karta 1:5000

— pedološke podloge — prema prirodnim obilježjima zemljišta te mogućnostima i zahtjevima poljoprivredne proizvodnje odgovarajuće lokacije melioracijskog područja.

Idejni projekti se ne moraju raditi za

1. rekonstrukciju i dopunu detaljne kanalske mreže
2. za izradu nove detaljne kanalske mreže na područjima za koja su izrađeni ili odobreni projekti glavne i sekundarne kanalske mreže s objektima
3. za izradu lokalnih kanalskih sustava do 100 ha površine ako su prethodno izvedeni osnovni radovi u melioracijskom sustavu
4. za izradu obaloutvrda
5. za pojačanje i nadvišenje postojećih obrambenih nasipa gdje se ne predviđa izrada bankina i prelaganje nasipa (izmjena trase)
6. za ostale vrste melioracijskih i regulacijskih objekata za koje nadležni vodoprivredni organ izda suglasnost
7. za nabrojene radove od 1 do 5 izradit će se glavni projekti.

1.3.4. Sastavni dijelovi idejnog projekta

Idejni projekt s dijelovima elaborata 2—1, 2—2, 2—3, 2—4, 2—5 i 2—6 treba imati slijedeće sastavne dijelove:

1.3.4.1. Opći dio koji sadrži

- naziv investitora
- naziv objekta
- broj rješenja o registraciji projektne organizacije
- potvrdu o izvršenju unutrašnje kontrole projekta
- rješenje o odobrenju osnovnog projekta
- ime i potpis odgovornog projektanta s imenima i potpisima suradnika na dijelovima projekta koje su oni obrađivali
- projektni zadatak sastavljen od strane investitora i prihvaćen od strane odgovornog projektanta

1.3.4.2. Kratki opći izvještaj kao uvod s upoznavanjem zadatka projekta i njegovim glavnim karakteristikama, te ukupnim investicijskim troškovima.

1.3.4.3. Tehnički izvještaj koji treba da sadrži: opis sliva sa svim njegovim karakteristikama u geografskom, demografskom, klimatskom, geomorfološkom i meteorološkom pogledu s opisom postojećih stanja svih vodotoka, kanala, komunikacija i ostalog. Tehničko rješenje treba da dokumentira način obrade s odgovarajućim stupnjem sigurnosti za razne kategorije objekata, zatim opis svih varijanata, te daje preporuke za izbor najpovoljnije varijante, s obzirom na ekonomske i hidrotehničke postulate. Sva predložena rješenja treba da budu u skladu s regionalnim razvo-

jem područja kako bi se rješenje moglo uklopiti u plan razvoja dotičnog područja. Naročito je potrebno obraditi stanje prije i poslije izvođenja hidrotehničkih melioracija s opisom funkcioniranja i održavanja sustava, programom potrebnih istražnih radova, programom nabave opreme, programom izvođenja radova u fazama, kratkim prikazom rentabiliteta i ekonomskih pokazatelja, te općim zaključkom.

1.3.4.4. Hidrauličke proračune za sva varijantna rješenja.

1.3.4.5. Statičke proračune za sve veće objekte (ustave, brane, zgrade, mostove, crpne stanice i sl.).

1.3.4.6. Račun rentabiliteta s ekonomskim pokazateljima:

Ekonomska obrada

1. Faktori djelovanja na potrebu ulaganja

1.1. Zahtjevi tržišta

1.2. Zahtjevi platne bilance

1.3. Zahtjevi korištenja sirovinskih i prirodnih uvjeta

1.4. Zahtjevi zaposlenosti i razvoja nerazvijenih oblasti

2. Opseg i struktura ulaganja te vremenski raspored

3. Kvantifikacija direktnih i indirektnih koristi od ulaganja

4. Ekonomska efikasnost ulaganja s komparacijom u vremenu i prostoru te za varijantna rješenja

4.1. Reproductivnost ulaganja

4.2. Ekonomičnost ulaganja

4.3. Produktivnost (izdašnost) ulaganja

4.4. Rentabilnost ulaganja

5. Financiranje ulaganja

5.1. Proračun viška prihoda iznad određenih kamata

5.2. Plan otplate

6. Zaključna ekonomska razmatranja

7. Program istražnih radova za izradu glavnih projekata treba da obuhvati

1. hidrološke radove

2. hidrogeološke radove

3. geomehaničke radove na terenu i u laboratoriju

4. hidrauličko ispitivanje većih i značajnih objekata

5. hidropedološke radove na terenu i laboratoriju

6. ispitivanje učinaka od hidromelioracija na povišenje prinosa nakon provedbe melioracija

8. Program izgradnje hidromelioracijskog sustava treba sastaviti za sve veće sustave, posebno za radove na uređenju bujica, obranu od poplave vanjskih voda, obranu od poplave brdskih voda, odvodnjavanje, navodnjavanje i štete, čija se izgradnja proteže na više godina. Ovaj program izgradnje treba posebno obraditi prema dinamici građenja, i to:

— plan iskopa zemljanih masa

— plan potrebne mehanizacije

— plan izgradnje objekta usklađen s planom iskopa, nasipa i transporta i osiguranja potrebnih materijala

— financijski plan ulaganja sredstava i melioracijske i regulacijske radove i objekte po etapama građenja i po godinama

9. Idejno rješenje komunikacija za potrebe građenja i eksploatacije
10. Nacrti i prilozi idejnom projektu
 - 10.1. Pregledna situacija područja s općom dispozicijom rješenja i širom lokacijom u mjerilu 1:25000, 1:50000, 1:100000 ili 1:200000 (ovisno o veličini područja)
 - 10.2. situacijski nacrti užeg područja rješavanja postojećeg stanja s izohipsama u mjerilima 1:1000, 1:2000, 1:5000 ili 1:100000 ili 1:200000 (ovisno o veličini područja)
 - 10.3. situacijski nacrti užeg područja s izohipsama u mjerilu 1:100000 ili 1:200000 (ovisno o veličini područja) i raspoloživim nacrtima) s ucrtanim rješenjem, i to posebno za
 1. uređenje bujica
 2. obranu od brdskih voda
 4. odvodnjavanje.Na ovim nacrtima naročito je potrebno da su ucrtana i sva naselja i komunikacije, kao i postojeći značajni objekti, a posebno treba da su ucrtane varijante (usvojena varijanta da je tako označena da se izdvaja na prvi pogled ili na posebnom nacrtu) sa svim objektima: kanali po redovima, propusti, mostovi, brane, sifoni, stepenice, ustave, vodojaže, crpne stanice i dr., zatim ekonomska dvorišta, zgrade, trafostanice, dalekovodi, telefon i UKV uređaji s odgovarajućim instalacijama. Na situacijama uređenja bujica, obrane od poplave brdskih i vanjskih voda i regulacije rijeka potrebno je ucrtati poteze vodotoka, koji se reguliraju s predviđenim vodograđevinama i projektiranim trasama obrambenih nasipa, obaloutvrda, čuvarnica, zgrada, magazina i sl.
 - 10.4. detaljne situacije u većim mjerilima za dijelove područja ili vodotoka gdje se očekuju teškoće ili gdje dolaze veći objekti
 - 10.5. uzdužni profili svih vodotoka, kanala i nasipa u mjerilu 1:1000/100 ili 1:2000/100 (ovisno o veličini objekta) s razmakom međutočaka 200—250 m (ovisno o konfiguraciji terena) U uzdužne profile potrebno je unijeti podatke terena, obale bankine, karakteristične vodne količine (naročito ako se radi o usporu ili depresiji) sondažne bušotine, podatke o podzemnoj vodi, kote dna objekata (mostova, propusta) postojećih i projektiranih, prelaze preko komunikacija, kao i sve ono što je potrebno predočiti u uzdužnom profilu (uzdužni pad, tipski poprečni profil, hidraulički elementi profila itd.)
 - 10.6. poprečni profil u mjerilu 1:100 i 1:200 kao karakteristični tipski profili za kanale u ravničastim krajevima s količinom radova dobivenih na osnovi tablica ili dijagrama

kao funkcija dubine i širine dna, dok se poprečni profili za sve veće objekte (regulacije rijeka, glavni odvodni kanali itd.) trebaju dati s razmakom 50—250 m s upisanim količinama radova. U poprečnim profilima treba se prikazati osnovni elementi osiguranja obale, te oblaga dna i pokosa kanala, ušća kanala i sl.

10.7. nacrti hidrotehničkih i ostalih objekata

1. nacrti tipskih objekata za sve manje objekte kao stepenice, sifone, propuste, mostove do 10 m raspona, razdjelne građevine, čuvarnice regulacijske građevine, obaloutvrde, poljoprivredne zgrade i sl.;
2. za sve uvjetne objekte treba dati tlocrt, uzdužni presjek, dovoljan broj poprečnih presjeka u mjerilu 1:100 ili 1:200 (eventualno 1:50). U ovim nacrtima treba jasno označiti sve glavne kote i dimenzije objekta, vrste materijala, način fundiranja, način eventualne montaže i mjere koje omogućuju sigurnost izvedbe objekta i njegovo održavanje;
3. za zgrade, strojarnice itd. treba dati najmanje jedan tlocrt, jednu fasadu i dva presjeka u mjerilu 1:100 ili 1:200 iz kojih se može vidjeti opći izgled zgrade, dimenzije, materijal, način fundiranja i raspored instalacija i ostale opreme;
4. nacrti i prilozi svih ostalih detalja i rješenja na objektima;
5. za sve veće hidrotehničke objekte (ustave, brane, vodojaže, mostove preko 10 m otvora, upravne zgrade i ostalo) treba izraditi posebne idejne projekte po propisima za dotičnu vrst objekata.

Nacrti i prilozi za trafostanice, dalekovode, telefonske, UKV uređaje, koji će funkcionirati u sklopu zajedničkog hidrotehničkog rješenja, moraju se raditi kao posebni idejni projekt po postojećim propisima za dotičnu vrstu objekata, postrojenja i instalacija.

11. Troškovnik radova koji treba da sadrži:

1. Predmjer radova po objektima i vrstama radova kao i zemljani radovi pojedinačno po objektima, betonsko-zidarski i ostali radovi na osnovi dokaznice mjera i nacrtu hidrotehničkih i ostalih objekata.
Predmjerom je potrebno osigurati predračunsku vrijednost projektiranih radova;
2. Analiza cijena za glavne vrste radova iskazana u vidu jediničnih cijena na osnovi stvarnih tržišnih uvjeta, i to pojedinačne zemljane (strojni i ručni sklop), zidarske, betonske i ostale radove koji su obuhvaćeni projektiranim radovima;
3. Predračun troškova s opisom pojedinih vrsta, i to:
— za zemljane radove po glavnim odvodnim kanalima, vodnim tokovima, nasipima i ostalim objektima,
— za ostale radove pojedinačno po objektima,

- za opremu (crpke, električni uređaji, dalekovodi, trafo-stanice, cisetrne itd.) pojedinačno sa specifikacijom, pojedinačno sa specifikacijom,
 - pojedinačne troškove otkupa, odšteta i komasacije zemljišta,
 - troškovi prethodnih istražnih radova, studija i glavnih projekata;
4. Sumarni troškovnik potrebno je sastaviti posebno za uređenje bujica, obranu od poplava vanjskih voda, obranu od poplave brdskih voda, odvodnjavanje i ostale radove. U ovom sumarnom troškovniku potrebno je posebno iskazati troškove izgradnje:
- a) osnovne kanalske mreže, lateralnih kanala, regulacije vodotoka (koji prolaze kroz slivno područje) s pripadajućima objektima (stepenice, sifoni, crpke, propusti, mostovi i sl.) i odgovarajućim troškovima za izvedbu melioracijskih istražnih radova, studija i izradu projekata,
 - b) sekundarne kanalske mreže (II, III i IV reda) s pripadajućim objektima i instalacijama kao i odgovarajućim troškovima prethodnih istražnih radova, studija i izrade projekata,
 - c) detaljnu kanalsku mrežu i komasaciju zemljišta s odgovarajućim troškovima prethodnih istražnih radova, izradom projekata u elaboratu komasacije.

1.3.5. Prijedlog za donošenje odgovarajućih propisa, standarda za poslove odvodnjavanja

S obzirom na složenost i važnost navedene problematike kao i potrebe izvođenja daljnjih poslova na području hidrotehničkih melioracija, predlaže se sljedeće:

1. U izradi projektne dokumentacije koristiti data uputstva i prijedloge pravilnika — što je definirano u razdoblju 1955—1965. godine;
2. Sistematizirati i analizirati raspoložive podatke za razdoblje 1965—1983. godine te izvršiti odgovarajuća vrednovanja za pojedine vrste poslova;
3. Dopuniti i definirati potrebne kriterije i mjerila — imajući u vidu pozitivna i negativna iskustva u dosadašnjem izvršavanju odgovarajućih poslova na području hidrotehničkih melioracija;
4. Posebno izvršiti selekciju i definirati poslove prema razini, odnosno pojedinim fazama izrade projektne dokumentacije — kako ne bi dolazilo do ponavljanja istih ili sličnih poslova (sadržaj idejnog i glavnog projekta te sadržaj glavnog i izvedbenog projekta);
5. Na osnovi prije izrađenih uputstava (1955—1965) i novih saznanja (1965—1983) izraditi prijedlog Pravilnika za izvršavanje odgovarajućih poslova iz područja hidrotehničkih melioracija. Poslove izvršiti u 1984. kako bi do kraja 1985. godine mogao biti verificiran pravilnik u okviru važeće regulative iz područja niskogradnje, odnosno građevinarstva;
6. U realizaciji navedenih poslova trebaju sudjelovati nadležne vodoprivredne i poljoprivredne organizacije i institucije SR Hrvatske (kako je navedeno u poglavlju normativa za cijevnu drenažu, pa se to ovdje ne ponavlja).

2. REGULIRANJE VODNOG REŽIMA U TLU MJERAMA PODZEMNE ODVODNJE

2.1. Osnovne napomene

Za suvremenu i intenzivnu poljoprivrednu proizvodnju potrebno je prethodno rješenje stabilnog i optimalnog vodozračnog režima u tlu.

U ovisnosti o prirodnim obilježjima tla i zahtjevima poljoprivredne proizvodnje neophodna je izvedba odgovarajućih vodoprivrednih radova, i to:

- zaštita od vanjskih poplavnih voda
- uređenje brdskih vodotoka
- regulacija glavnih recipijenata melioracijskog područja
- izgradnja odvodne mreže otvorenih kanala za vlastite vode melioracijskog područja
- održavanje izgrađenih vodoprivrednih objekata i sustava.

Nakon izvedbe vodoprivrednih objekata i sustava za zaštitu od vanjskih voda kao i rješenja odvodnje vlastitih površinskih voda, moguće je pristupiti procesu rješavanja sniženja i odvodnje podzemnih voda — jasno, na područjima gdje to zahtijevaju hidropedološka svojstva tla i program poljoprivredne proizvodnje.

U sklopu navedenog treba imati u vidu da se sa strojnom izvedbom cijevne drenaže poljoprivrednog tla u SR Hrvatskoj počelo 1973. godine.

Značajniji opseg radova na podzemnoj odvodnji počinje tek 1977. godine, kada je u SR Hrvatskoj radilo devet drenopolagača.

U 1983. godini radilo je dvadeset strojeva na izvođenju cijevne drenaže. Do kraja 1983. godine u SR Hrvatskoj izvedena je drenaža poljoprivrednog tla na površini 66.800 ha, a u cijeloj SFR Jugoslaviji na cca 108.000 ha.

Međutim, i pored izvedenih radova mi još uvijek nemamo vlastitih propisa i potrebnih normativa za projektiranje i izvođenje radova cijevne drenaže poljoprivrednog tla. Iako su to vrlo skupi, a za suvremenu poljoprivrednu proizvodnju vrlo značajni radovi — do sada nije bilo organizirano praćenje odgovarajućih efekata na dovoljnom broju lokacija s različitim obilježjima poljoprivrednog tla i rješenjima cijevne drenaže.

Dosadašnja projektna i izvedbena rješenja data su prema različitim autorima, postavkama, pretpostavkama, sa i bez potrebnih terenskih ispitivanja i mjerenja — a ponekad i s nedovoljno definiranim zahtjevima poljoprivredne proizvodnje.

Međutim, i pored navedenih problema, treba imati u vidu da je cijevna drenaža izvedena na različitim lokacijama i s različitim rješenjima, te da je stvorila uvjete za znatno veće prirode poljoprivrednih usjeva u odnosu na prethodni nivo rješenja odvodnje i postignuti nivo poljoprivredne proizvodnje. Jasno da ostaje pitanje da li se s istim financijskim sredstvima mogla izvesti drenaža i na više površina — posebno na lokacijama gdje nisu prethodno izvršena potrebna terenska ispitivanja i mjerenja?

Bitna je konstatacija da sredstva za potrebna terenska ispitivanja i izradu projektne dokumentacije iznose od 3,5 do 5,0% od ukupne vrijednosti izvedbe cijevne drenaže — ovisno o prirodnim obilježjima i zahtjevima poljoprivredne proizvodnje.

Međutim, i pored do sada vršenih mjerenja (područje Donji Miholjac, Vinkovci, Črnc polje, Pilot-farma, općina Dugo Selo, Sikirevci, općina Sla-

vonski Brod) te parcijalne sistematizacije i analize raspoloživih podataka, mi još uvijek nemamo čak niti privremene propise i norme za projektiranje i zvođenje cijevne drenaže poljoprivrednog tla.

I pored bogatog iskustva i normi drugih zemalja, treba imati u vidu da njihova primjena u našim uvjetima ovisi kako o prirodnim obilježjima terena i tla, tako i zahtjevima poljoprivredne proizvodnje. S vlastitim sistematskim mjerenjima i analizom sakupljenih podataka te elementima odgovarajućih inozemnih iskustava mogli bismo i trebali doći do vlastitih propisa i normi za optimalna projektna i izvedbena rješenja cijevne drenaže poljoprivrednog tla.

U dosadašnjim projektnim rješenjima korištena su iskustva i norme za cijevnu drenažu iz Zapadne Njemačke, Francuske, Mađarske, Engleske, Nizozemske, SAD, ČSSR i SSSR.

Međutim, osnovno je imati u vidu da je izbor i primjenu normi i formula moguće definirati tek nakon prethodno izvršenih terenskih ispitivanja i obrade odgovarajućih podataka (elementi konfiguracije terena, pedologija, hidrologija, zahtjevi poljoprivredne proizvodnje, vegetacija, klima).

S obzirom na daljnju potrebu izvođenja cijevne drenaže poljoprivrednog tla u SR Hrvatskoj (475.000 ha do 2000. godine) u razdoblju 1984—1990. trebalo bi povećati broj pokusnih polja s različitim rješenjima za različite terenske uvjete, a u skladu sa zahtjevima optimalne poljoprivredne proizvodnje.

Posebno bi trebalo sistematizirati i analizirati dosadašnja iskustva i elemente projektnih i izvedbenih rješenja cijevne drenaže za razdoblje 1973—1983. Na osnovi navedenih podataka kao i iskustava drugih zemalja (za slične uvjete i zahtjeve poljoprivredne proizvodnje) u vodoprivredi, poljoprivredi i u odgovarajućim znanstvenim institucijama trebalo bi izraditi vlastite propise, odnosno norme za projektiranje i izvođenje cijevne drenaže tla.

2.2. Područje primjene DIN-1185

(Deutsche ingenieure norme)

Poslovno udruženje vodoprivrednih organizacija Hrvatske, 1976. godine prevelo je s njemačkog DIN-1185 i dostavilo svim vodoprivrednim organizacijama u SR Hrvatskoj.

U tim normama data su praktična i teoretska iskustva iz područja projektiranja i izvođenja drenaže poljoprivrednog tla putem cijevne drenaže, drenaže bez cijevi (»krtična drenaža«) i melioracijom tla ispod oraničnog sloja. Norme su izrađene na osnovi podataka izvedenih radova do 1973. godine, a u prijevodu su dati I, II i III dio — na 89 stranica.

Na žalost, mi i 1983. godine možemo ponoviti zaključak iz 1976. godine:

»Da će se prikupiti i analizirati podaci o tri eksperimentalna polja u slivu Save i Drave — koji će poslužiti kao polazna osnova u izradi vlastitih normi«.

Treba imati u vidu da smo 1976. godine imali 6.400 ha, a u 1983. godini imamo 66.800 ha dreniranog poljoprivrednog tla i da još uvijek ponavljamo iste ili slične konstatacije, prijedloge, zaključke . . ., ali na žalost nismo osigurali potrebna minimalna sredstva za odgovarajuće pokuse te sistematizaciju i analizu podataka — kao osnove za izradu vlastitih normi cijevne drenaže.

S obzirom na potrebno razdoblje opažanja (min. 5 do 10 godina), mjerenja te sistematizaciju i analizu odgovarajućih podataka realno je očekivati da ćemo tek u 1990. godini doći do prvih vlastitih propisa i normi za projektiranje i izvođenje cijevne drenaže poljoprivrednog tla. Jasno da je to moguće ostvariti s potrebnom organizacijom i financiranjem dovoljnog broja pokusnih polja u razdoblju 1984—1990. godina i valorizacijom dosadašnjih rezultata, kako pokusnih polja tako i ostalih radova i rezultata u procesu izvođenja i korištenja hidromelioracijskih sustava s izgrađenom površinskom odvodnjom i cijevnom drenažom poljoprivrednog tla.

Zbog postojećeg stanja i navedenih razloga u ovom radu dati su osnovni podaci iz područja DIN-1185 — za reguliranje vodnog režima u tlu cijevnom drenažom i drenažom bez cijevi («krtična drenaža»).

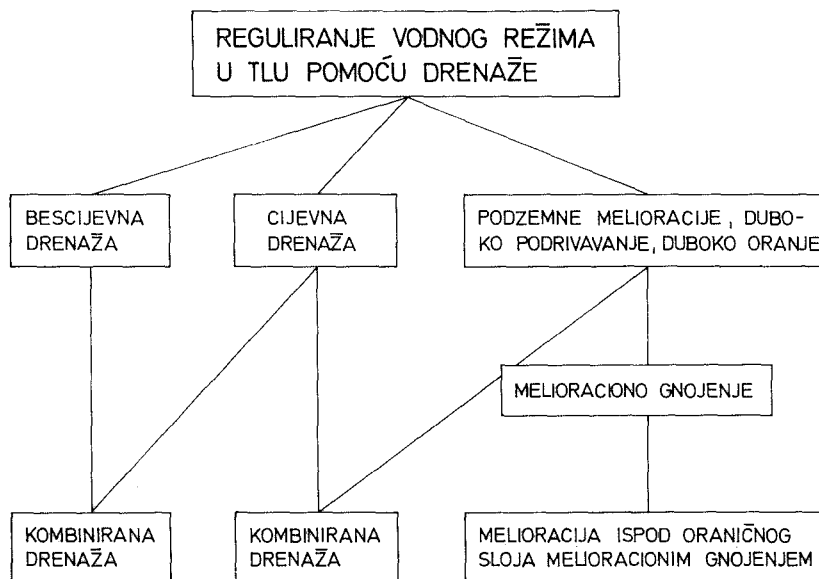
2.2.1. DIN-1185 — prvi dio

Opće upute i posebni slučajevi (39 stranica prijevoda).

Zbog detaljno obrađenih podataka u normama — u okviru obima ovog rada daju se samo najvažnije napomene bitne za sagledavanje obrađene problematike drenaže.

2.2.1.1. Područje primjene

Treba ispitati koji je postupak drenaže: cijevna drenaža, bezcijevna drenaža, melioracija ispod oraničnog sloja ili kombinirani postupci (sl. 1) optimalno tehničko i ekonomsko rješenje.



Sl. 1. Mogućnosti regulacije vodnog režima u tlu s pomoću drenaže

2.2.1.2. Svrha denaže

Svrha drenaže je odstranjivanje vlage tla, koja je štetna za uzgoj biljaka i obradu tla, poboljšanje prozračivanja tla i bolje korištenje hranjivih tvari iz tla. Mogućnost pravodobne obrade, produljenje vegetacijskog razdoblja biljaka. Zbog povećane akumulacijske sposobnost nakon drenaže, tlo raspolaze s usporenom i vezanom vodom, s bitno većom količinom vlažnosti tla za vrijeme sušnog razdoblja.

2.2.1.3. Primjena drenažnog postupka

Izbor tehničkih postupaka za poboljšanje mjernih uvjeta ovisi o kojoj se vrsti tla radi, da li je to tlo ovlaženo podzemnom slobodnom vodom, usporenom vodom ili vezanom vodom.

U tlu sa slobodnom podzemnom vodom optimalni vodni režim može se postići spuštanjem nivoa vode na povoljnu razinu, a pri tome treba uzeti u obzir djelovanje kapilarne zone. Rješenje se može postići s pomoću samo cijevne drenaže ili u kombinaciji s bescijevnom drenažom.

U tlu s usporenom vodom prevlaživanje se odstranjuje cijevnom drenažom, bescijevnom drenažom, mjerama duboke melioracije ili kombiniranom drenažom.

Tlo s vezanom vodom je vlo male propustljivosti ($K_s = 0,01$ m'/dan), a rješenje je primjenom bescijevne drenaže, duboke melioracije ispod oraničnog sloja, kombinirane drenaže — a uz određene preduvjete i s pomoću cijevne drenaže.

2.2.1.4. Cijevna drenaža

1. Odvodnja i uređaji za odvodnju

Regulacija glavnih vodotoka i efikasna kanalska mreža površinske odvodnje osnovni su preduvjet za funkcioniranje cijevne drenaže.

Otvorene kanale možemo zamijeniti cijevima ako je osigurano površinsko otjecanje vode i ako nema opasnosti od ispiranja ili erodiranja tla.

2. Granice drenažnih dionica

Granice drenažnih dionica određuju se prema mjesnim vododjelnicama, prometnicama i položajem vodoprijemnika. Veličina dionica je ograničena s unutarnjom dimenzijom drenova skupljača. Velike drenažne dionice imaju prednost jer imaju manji broj izljeva u drenažnom području.

Izljeve skupljača ili kolektora (s vodom iz drenažnih dionica) u vodotoke ne treba predvidjeti neposredno iznad mostova, propusta i ustava kao niti na mjestima koja su ugrožena urušavanjem ili naplavom. To su mjesta na kojima može doći do uspora i zamuljenja samih izljeva drenskih cijevi.

Dno izljeva treba biti iznad srednjeg nivoa vode u kanalu za vrijeme razdoblja vegetacije — od 0,10 do 0,20 m'.

3. Drenovi skupljači

Mjerodavne protoke za dimenzioniranje određuju se na osnovi lokalnih klimatskih i hidropedoloških uvjeta, a vodeći računa i o elementima konfiguracije terena i vegetaciji područja.

Osnovno je ostvariti efikasno otjecanje vode s površine terena i iz oraničnog sloja tako da se omogući pravodobna obrada tla bez narušavanja strukture tla. Cijevna drenaža treba osigurati da se površine u proljeće mogu što ranije obrađivati, a za vrijeme razdoblja vegetacije nakon kiša jakog

intenziteta da se omogući pravodobna odvodnja suvišnih voda iz zone korijena biljke.

Unutarnji promjer drenažnih cijevi izračunava se prema Prandtl-Colebrookovoj formuli, ali pri tome treba voditi računa o točnosti svih elemenata sadržanih u njoj. Posebno treba voditi brigu o znanstveno dokazanoj točnosti hrapavosti, čija vrijednost je bitna za hidraulički proračun.

Radi funkcioniranja i održavanja drenskih cijevi skupljača treba na njima izgraditi dovoljan broj drenažnih okna — sa ili bez hvatača pijeska i mulja. Drenaže okna potrebne su na spojnim točkama skupljača, na mjestima sa znatnom promjenom smjera većih skupljača i kod prijelaza s većih padova na manje.

Dubina polaganja drenova skupljača ne bi smjela biti manja od 0,8 m' — a određuje se prema dubini smrzavanja, prema dubini polaganja sisavaca, prema površinskom opterećenju vozila i strojeva, prema potrebi podrivanja.

Pad drenova skupljača ovisi o vrsti tla i mjerodavnim protokama te dužini samih cijevi — a osnovno je da se omogući ispiranje taloga iz cijevi. Dozvoljena brzina u skupljačima s neosiguranim spojnica ograničena je zbog opasnosti od ispiranja i erozije i iznosi 1,5 m'/sec kod mineralnog tla i 1,0 m'/sec kod tresetišta.

Na križanjima s vodoprijemnicima i prometnicama treba ugraditi nepropusne statički dimenzionirane skupljače.

4. Drenske cijevi — sisavci ili sisala

Kod pada terena više od 0,5% treba sisavce ugraditi po mogućnosti poprečno na najveći pad terena (poprečna drenaža). Kod poprečne drenaže duljina sisavaca ne bi trebala biti veća od 200 m' u mineralnim tlima ili 150 m' u tresetištu, a kod uzdužne drenaže ne veća od 150 m' kod obje vrste tla. Kod većih duljina potrebno je izvršiti kontrolu hidrauličkim proračunom.

Najmanji promjer sisavca cijevne drenaže je 50 mm. Pad dna predvidjeti $\geq 0,3\%$ da bi se izbjeglo taloženje. Na ravnim terenima dozvoljava se smanjenje pada od mini 0,15% — ako se radi o tlima koja nisu bogata muljem ili tlima koja su sklona nakupljanju željeza.

Dubina drenova sisavaca ovisi o terenskim i klimatskim uvjetima te hidropedološkim svojstvima tla i zahtjevima, odnosno vrsti biljne proizvodnje. Kod manje propusnog mineralnog tla potrebna je dubina od 0,8 do 1,0 m'. a kod propusnog tla uobičajena dubina drenova je 1,0 do 1,2 m'.

Ako sisavci imaju umjetni — minimalni pad, dozvoljava se na početku dubina 0,70 m' — a na izljevu (kraju) dubina ovisi o nivou vode u otvorenom kanalu ili dubini drena skupljača.

Dubina drenova od 1,3 do 1,5 m' primjenjuje se ako se s njom može presjeći jedan propustan sloj.

Razmak drenova sisavaca određuje se prema koeficijentu propusnosti tla i prema dubini drenova.

5. Izvori i strana voda

Vodu izvora treba odvesti izravno u dren skupljač, a kod jakog ispiranja izvora ili kod opasnosti od željeznih nakupina treba vodu izvora odijeljeno odvoditi.

Podzemnu slobodnu vodu koja pritječe sa strane hvata se i odvodi s pomoću prijamnih drenova koji se u pravilu postavljaju poprečno na strujanje vode. Maksimalna dubina polaganja do 1,50 m' dubine, a pro-

mjera ≥ 80 mm. Prijemne drenove treba izvesti prije izvedbe ostalih drenova, i to s dobro propusnim materijalom.

6. Cijevna drenaža bez iskopa jaraka

Cijevna drenaža bez iskopa jaraka prikladna je za tla sa slobodnom podzemnom vodom gdje se može očekivati da se struktura tla iskopom jarka za drenске cijevi može jako ili potpuno oštetiti radom glodalica odgovarajućih vrsti strojeva za drenažu — a sušenjem se ne može ponovo niži djelomično stabilizirati.

Također se izvodi gdje su predviđeni pojedinačni drenovi — naročito kod tla slobodnog klizanja, u tresetištima kao i kod tla sa željeznim spojevima.

Cijevna drenaža bez iskopa jaraka otežana je ili nemoguća:

— u tresetištima s tvrdim ostacima drveća,

— na površinama s vrlo nepovoljnim reljefom, ako se na pojedinim mjestima mora dublje drenirati od maksimalne dubine drenaže koja se može postići s drenažnim plugom,

— kod postavljanja cijevi većih promjera, ako se potreba za velikom vučnom silom ne može postići.

Drenažne cijevi postavljaju se u tlo strojno bez iskapanja i zatrpavanja drenažnih jaraka.

Pad skupljača i sisavaca treba ispitati slučajnim izborom mjesta za ispitivanja kod najmanje 5% drenova i na razmaku od najmanje 3 m'.

7. Smetnje pri protjecanju u drenskim cijevima

Smetnje pri protjecanju u drenskim cijevima treba očekivati najčešće zbog zasipavanja pijeskom, zamuljivanja te željeznih nakupina u cijevi i filterima kao i zarašćivanje korijena u otvore cijevi.

Kod tala koja su sklona zamuljivanju potreban je stabilan položaj drena, ali i izbor većeg pada kojim se može smanjiti zamuljenje i zasipanje pijeskom.

Ugradbom filter-materijala također se može smanjiti zamuljenje drenskih cijevi. Filter treba da zadržava najfinije čestice strukturno labilnog tla samo toliko da je zajamčena propusnost filtera i okolnog tla.

Hidrauličko djelovanje drena može se poboljšati ugradbom prirodnog filtra koji okružuje dren.

Kao filter-materijal može se koristiti: šljunak, grubi pijesak, humusno tlo, malo razgrađeni treset, slama, pruće, iverje, kokosovo vlakno, trska, sintetički vlaknasti materijal, stiropor.

Kod izljeva drenova sisavaca u skupljače u tlima sklonim zamuljenju, potrebna je izvedba kontrolnih okana — vodeći računa o samom ispiranju cijevi.

Posebnu brigu i rješenja treba dati za drenažu gdje postoji opasnost od željeznih spojeva — rješenje je u izvedbi okna za ispiranje. Treba imati u vidu da protiv nakupina željeznih spojeva ne pomaže nikakav filter-materijal.

Prodor raslinja u drenove pojavljuje se kod višegodišnjih biljaka, a problem se rješava ugradbom drenskih cijevi na dovoljnu dubinu.

Onečišćena voda iz silosa (za stočnu hranu) također djeluje na začepljenje ulaznih otvora u drenažu kao i usporavanje samog otjecanja podzemne vode. Osnovno je ne dozvoliti vodi iz silosa kontakt s drenskim cijevima.

U područjima gdje su mogući odroni treba predvidjeti male drenažne dionice i jake padove terena. Sisavce treba po mogućnosti postaviti na nepropusni sloj i vrlo jako pošljunčiti.

Kod drenova skupljača, koji imaju velike padove, treba spriječiti podlo- kavanje cjevovoda, tako da se prije postavljanja cijevi u drenažne jarke po- stave poprečno ležeći 30 cm visoki i 20 cm debeli glineni blokovi ili betonska rebra, čija je širina najmanje jednaka širini drenažnog jarka — a postav- ljaju se u dno na kojem leže cijevi.

Zbog specifičnosti terenskih uvjeta i zahtjeva odgovarajuće biljne pro- izvodnje posebna rješenja i definiranje mjerodavnih elemenata podzemne odvodnje treba posvetiti kod:

8. drenaže vinograda,
9. cijevne drenaže u niskim područjima pored mora,
10. cijevne drenaže u tresetištu.

Rješenja navedenih problema prelaze okvire ovog rada pa se ovdje i ne prikazuju.

N a p o m e n a :

Osim osnovnih podataka datih pod r. br. 1—4, prvi dio DIN-1185 obu- hvća i sljedeća područja (15 stranica prijevoda),

2.2.1.5. Bescijevna drenaža

Bescijevna drenaža — izvedba, djelovanje, vrijeme trajanja i drenaža s uskim kanalima.

2.2.1.6. Melioracije ispod oraničnog sloja (duboko podrivanje i duboko oranje) s podacima u vezi s:

- povodom za melioracije ispod oraničnog sloja,
- dubokim podrivanjem,
- dubokim oranjem,
- mjerama za održavanje melioracije ispod oraničnog sloja,
- naknadnom obradom tla.

Zbog detaljno obrađenih navedenih problema u prvom dijelu DIN-1185 — koji obuhvaća »Opće upute i posebni slučajevi« — s obzirom na ograničen broj stranica ovog rada ne daju se posebna obilazloženja.

Za detaljnije sagledavanje obrađenih tema potrebno je koristiti DIN-1185 — prvi dio, a samu primjenu normi u našim uvjetima moguće je raz- motriti nakon definiranih detaljnih terenskih podataka i hidropedoloških svojstava tla te zahtjeva poljoprivredne proizvodnje odgovarajućeg melio- racijskog područja.

2.2.2. DIN-1185 — drugi dio

Bitni podaci za projektiranje i dimenzioniranje drenaže (32 stranice prijevoda).

2.2.2.1. Područje za koje važi DIN-1185 — drugi dio je za radove koji se poduzimaju u cilju reguliranja vodnog režima u tlu putem drenaže i to po- vršina koje se koriste za poljoprivrednu proizvodnju.

2.2.2.2. Svrha — oitne vrijednosti za dimenzioniranje po postupcima iz DIN-1185 — prvi dio — tabelarno se prikazuju da bi inženjeru-projektantu olakšali upotrebu normi.

Posebni slučajevi sadržani su u DIN-1185 — prvi dio.

2.2.2.3. Cijevna drenaža i drenaža bez cijevi

1. Temeljna načela za projektiranje i gradnju drenova skupljača data su s potrebnim podacima u tabeli 1.

Tabela 1.

TEMELJNA NAČELA ZA PROJEKTIRANJE DRENOVA SKUPLJAČA

Opis elemenata drenaže	Oznaka	Jedinica	Drenaža sa cijevima i drenaža bez cijevi u mineralnom tlu	Drenaža sa cijevima u tlu
Minimalan pad:				
— živi pijesak i prapor	I_{min}	%	0,45	—
— tlo s mnogo željeza	I_{min}	%	0,3	0,3
— praporna ilovača	I_{min}	%	0,25	—
— pjeskovita ilovača	I_{min}	%	0,2	—
— glinasta ilovača	I_{min}	%	0,15	—
— treset s malo željeza	I_{min}	%	—	0,15
— ritško zemljište	I_{min}	%	0,05	—
Poželjan pad:	I_{opt}	%	4	0,4
— maksimalan pad	I_{max}	%	8	4
— najveća brzina vode pri neosiguranim sljubnicama	v_{max}	m/s	1,5	1
— najveća dužina bez izgrađenih okana	l_{max}	m	500	400
— pri opasnosti od zamuljenja pijeskom	l_{max}	m	100	—
— pri opasnosti od nakupljanja željeza	l_{max}	m	— ¹	— ²
Otvor u mm srednji:				
— cijevna drenaža	—	—	0 = 65	0 = 65
— drenaža bez cijevi	—	—	0 = 80	—
Minimalni pokrov	—	m	0,8	0,8
Minimalna površina otvora za ulaz vode		cm ² /m	≥ 8 (za ... Ø ... = 50)	≥ 10 (za ... Ø ... > 50)
Drenske cijevi po DIN-1180 i DIN-1187				

¹ Na svakom ušću sisavaca mora se izvesti drensko okno.

² Ne treba izvesti cijevni sabirač, nego drenaže bez cijevi.

³ Ako je poželjno usisno djelovanje, vidi tabelu 2.

2. Temeljna načela za projektiranje i gradnju drenova sisavaca
 Osnovno je nastojati da drenove sisavce ugradimo poprečno na pad terena i na usjeko brazde. Ostali potrebni podaci dati su u tabeli 2.

Tabela 2.

NAČELA PLANIRANJA ZA GRADNJU SISAVACA-SISALA

Opis elemenata	Oznaka	Jedinica	Cijevna drenaža		Drenaža bez cijevi	
			mine- ralno tlo	treset	mine- ralno tlo	treset
Minimalni pad	I_{min}	%	0,3 ²	0,3 ²	0,1 ³	0,1 ³
Poželjni pad	I_{opt}	%	1—3	0,3—0,5	1	0,3—0,5
Maksimalni pad	I_{max}	%	8	1	3	1
Maksimalna dužina						
— poprečno dreniranje	I_{max}	m	200	150	100	120
— uzdužno dreniranje	I_{max}	m	150	150	100	120
— pri opasnosti nakupljavanja željeza						
Otvor srednji	l_{max}	m	100	100	100	100
Promjer kanusa	—	—	0—50	0—50	—	—
za bušenje besci- jevne drenaže	—	mm	—	—	80—100	120—100
Dubina drena						
— malo propusno tlo	t	m	0,8—1	0,4 ⁴	0,5—0,6	0,9 ⁴
— močvarno tlo	t	m	1—1,2	1,2 ⁴	—	1,3 ⁴
— posebne kulture			prema prilikama ili na veće dubine prema dubini korijenja			
Minimalne površine otvora za ulaz vode	⁵					
Drenske cijevi po DIN-1180 i DIN-1187	—	cm ² /m	8	8	—	—

¹ Važi i za pojedinačne drenove za odvodnju (vidi DIN-1185, list 1, odsjek 4.7.7).

² Kod umjetnog pada dozvoljenog do 0,15%, ali ne kod zemljišta bogatog željezom i praporom.

³ Na dužinama do 40 m² iznimno je dozvoljeno bez pada (0%).

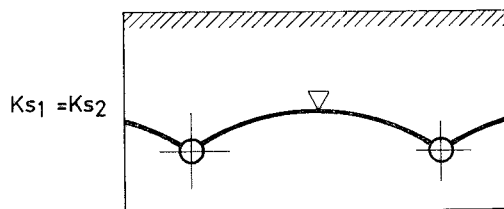
⁴ Vrijednosti treba povećati za očekivano slijeganje treseta.

⁵ Širina ulaznih otvora prema DIN-1185, list 1.

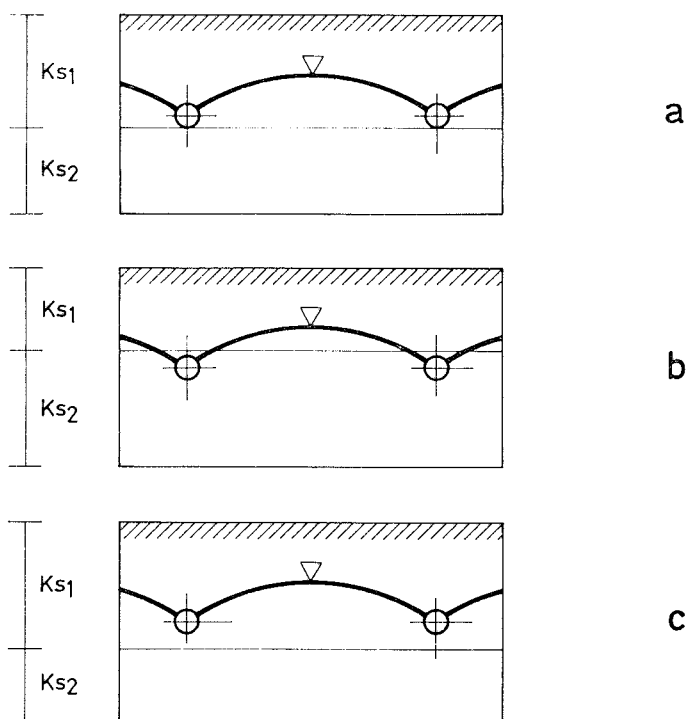
3. Razmak drenova

a) Razmak drenova kod cijevne drenaže u mineralnom tlu — s prokvašenom podzemnom vodom.

Minimalno tlo koje je prokvašeno podzemnom vodom može se sastojati iz jednog sloja ili dva sloja s različitim propusnošću za vodu — Ks (m/dan) — vidljivo na sl. 2.



Sl. 2.1. Položaj cijevnih drenova u homogenom tlu



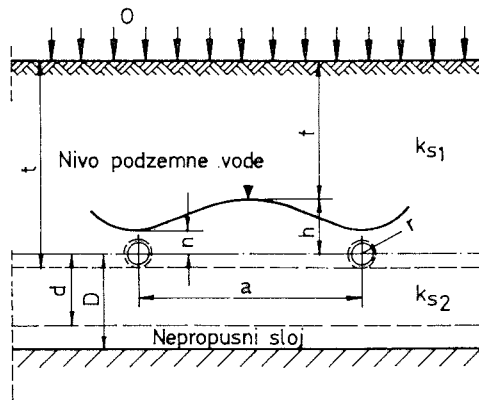
Sl. 2.2. Položaj cijevnih drenova u dvoslojnom tlu

Formula za proračunavanje razmaka drenova po Hooghoudt-Ernestu data je na str. 264 i sl. 3. s opisom svih potrebnih elemenata te podataka u tabeli 3.

Formula za proučavanje razmaka drenova po Hooghout-Ernestu glasi:

$$a = \sqrt{\frac{8 \cdot k_{s2} \cdot d \cdot /h-n/ + 4 \cdot k_{s1} \cdot /h^2-n^2/}{0}} \quad (\text{m})$$

$$a = \sqrt{\frac{8 \cdot k_{s2} \cdot d \cdot h}{0} + \frac{4 \cdot k_{s1} \cdot h^2}{0}} \quad (\text{m})$$



Sl. 3. Shema za proračun razmaka drenova prema Hooghoudt-Ernestu prema slici 2a

- a — razmak drenova (rastojanje osovina drenova-sisavaca) u metrima
- k_{s1} — koeficijent propusnosti za vodu zemljanog sloja iznad drena, u metrima/dan
- k_{s2} — propusnost za vodu zemljanog sloja ispod drena, u metrima/dan — k_{s1} i k_{s2} odgovaraju vrijednostima k prema DIN-19682, list 8
- d — faktor, u metrima (vidi tabelu 3) — na slici 4 dat je i nomogram za određivanje faktora d
- D — odstojanje dna podzemne vode (nepropusnog slija) od osi drenske cijevi, u metrima
- h — visina max. dozvoljenog lica podzemne vode nad osovinom drenova, između drenova, u metrima
- n — visina lica podzemne vode iznad osovine drenova, u metrima — u pravilu $n = 0$
- t — dubina drenova, u metrima
- f — dubina dozvoljenog lica podzemne vode od površine, u metrima — u pravilu $f = 0$
- O — oborina koju treba odvesti, u metrima/dan
- r — djelotvorni vanjski radius drenske cijevi, u metrima

Tabela 3.

d FAKTOR U METRIMA (PREMA HOOGHOUDTU, 1940)

»D« u »m'«	»d« — u »m«										
	5	7,5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	0,47	0,48	0,49	0,49	0,49	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
0,75	0,6	0,65	0,69	0,71	0,73	0,74	0,75	0,75	0,75	0,76	0,76
1	0,67	0,75	0,8	0,86	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,96	0,96
1,25	0,7	0,82	0,82	1	1,05	1,09	1,12	1,13	1,14	1,14	1,15
1,5	0,71	0,88	0,97	1,11	1,19	1,25	1,28	1,31	1,34	1,35	1,36
1,75	0,71	0,91	1,02	1,2	1,3	1,39	1,45	1,49	1,52	1,55	1,57
2	0,71	0,93	1,08	1,28	1,41	1,5	1,57	1,62	1,66	1,7	1,72
2,5	0,71	0,93	1,14	1,38	1,57	1,69	1,79	1,87	1,94	1,99	2,02
3	0,71	0,93	1,14	1,45	1,67	1,83	1,97	2,08	2,16	2,23	2,29
3,5	0,71	0,93	1,14	1,5	1,75	1,93	2,11	2,24	2,35	2,45	2,54
4	0,71	0,93	1,14	1,53	1,81	2,02	2,22	2,37	2,51	2,62	2,71
5	0,71	0,93	1,14	1,53	1,88	2,15	2,38	2,58	2,75	2,89	3,02
	0,71	0,93	1,14	1,53	1,89	2,24	2,58	2,91	3,24	3,56	3,88

Tabela 4.

$$\frac{8h}{O} \text{ i } \frac{4h^2}{O} \text{ (PREMA VAN BEERSU, 1969)}$$

»O« m'/dan	0,005		0,007		0,009		0,010		0,017	
l/s/ha	0,6		0,8		1,0		1,2		2,0	
h m	$\frac{8h}{O}$	$\frac{4h^2}{O}$	$\frac{8h}{O}$	$\frac{4h^2}{O}$	$\frac{8h}{O}$	$\frac{4h^2}{O}$	$\frac{8h}{O}$	$\frac{4h^2}{O}$	$\frac{8h}{O}$	$\frac{4h^2}{O}$
0,1	160	10	115	6	90	5	80	4	45	3
0,2	320	32	230	23	180	20	160	16	90	10
0,3	480	70	345	50	270	40	240	36	140	20
0,4	640	128	455	92	360	70	320	64	185	35
0,5	800	200	570	145	445	110	400	100	230	60
0,6	960	290	685	205	535	160	480	145	280	85
0,7	1120	390	800	280	620	215	560	195	325	115
0,8	1280	510	920	365	710	295	640	255	370	150
0,9	1440	650	1030	465	800	370	720	325	415	190
1	1600	800	1140	570	890	455	800	400	460	230
1,1	1760	970	1260	690	980	535	880	485	510	280
1,2	1920	1150	1370	820	1060	640	960	575	555	330

Budući da izbor tzv. djelotvornog vanjskog radiusa drenske cijevi nebitno utječe na proračun razmaka drenova, tabela 3 je proračunata za $r = 0,1$, ali ona važi za sve radiuse. Međuvrijednosti su zaokružene.

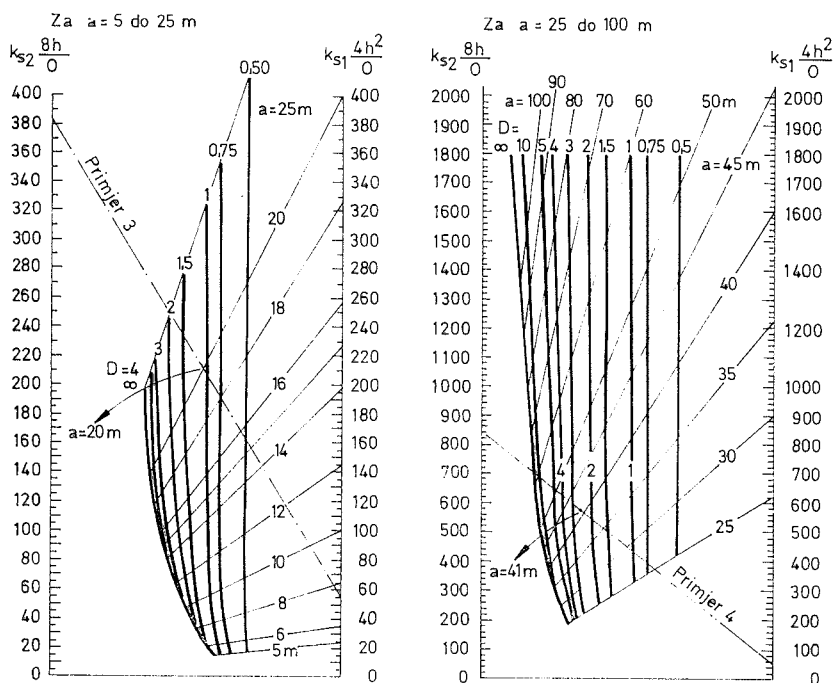
Samo proračunavanje razmaka cijevnih drenova u jednoslojnom ili dvoslojnom tlu koje je prokvašeno podzemnom vodom (sl. 2) može se provesti:

— analitički (iterativno) pomoću tabelarnih podataka d (m) i D (m') i l (m') — tabela 3 — i grafički s pomoću podataka tabele 4 i nomograma na sl. 4.

b) Razmak drenova kod cijevne drenaže u mineralnom tlu s usporenim podzemnom vodom i vezanom podzemnom vodom

Ako drenažu takvih tala nije moguće provesti s pomoću bescijevnih drenova ili ako nije moguća njihova melioracija ispod oraničnog sloja, ili ako nije moguće ustanoviti propusnost za vodu K_s po metodi bušotina — tada treba rastojanje drenova odrediti po podacima datim na sl. 5.

Kod udjela zrna veličine 0,02 mm više od 38% ili udjela zrna od 0,002 mm više od 18%, može se odstojanje drenova povećati ako se može očekivati brzo poboljšanje strukture tla.



Sl. 4. Proračun razmaka drenova kod cijevne drenaže u tlima s podzemnom vodom (prema Hooghoudtu iz van Beers, 1969) Lijeve i desne vrijednosti na ordinati mogu se odrediti uz pomoć tabele 4

Tok računanja za iznalaženje razmaka drenova u ovome slučaju je:

Kod homogenih tala:

— utvrditi udio količina čestica tla manjih od 0,02 mm ili 0,002 mm, nakon prethodnog tretiranja u vodi (vidi DIN-19683, list 3)

— kod odabrane dubine drenova t , razmak drenova a_0 očitati iz sl. 5 (vidi primjer 5 u odsjeku 5)

— ako su srednje godišnje oborine talog $N \neq 600$ mm, treba po odnosu:

$$\sqrt[3]{\frac{600}{N} - 1} \text{ izračunati povećanje ili smanjenje razmaka}$$

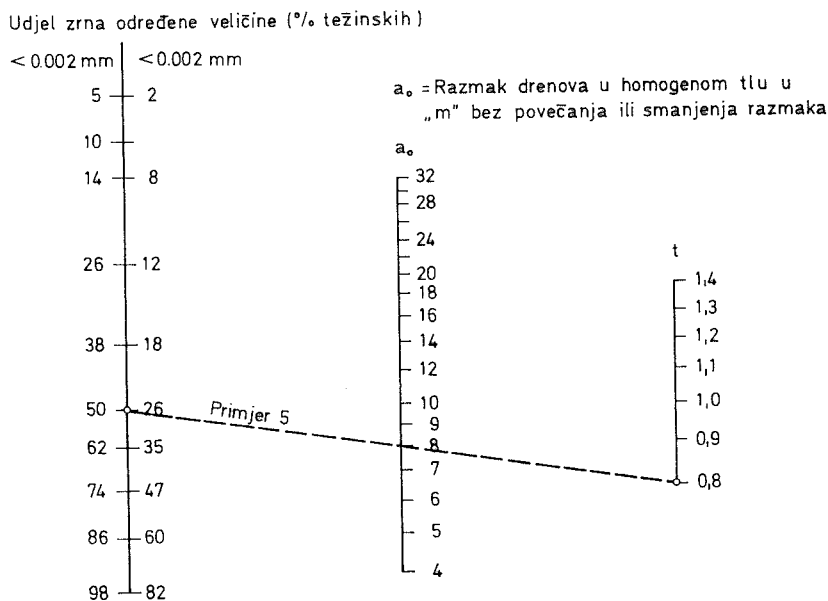
— ako je pad terena veći od 2%, onda se razmak drenova može povećati za 30—35%.

Kod slojevitih tala:

Razmak drenova, a u tome slučaju se računa prema slijedećoj formuli:

$$a = \frac{a_1 \cdot h_1 + a_2 \cdot h_2 + \dots}{h_1 + h_2 + \dots} = \frac{a_1 \cdot h_1 + a_2 \cdot h_2 + \dots}{t}$$

u metrima.



Sl. 5. Određivanje razmaka drenova a_0 u tlu s usporenom i vezanom vodom

Oznake znače:

$h_1, h_2 \dots$ — debljinu slojeva u metrima, koji se nalaze u dubini počev od 5,25 m ispod površine, do 0,25 m ispod dna dreva

$a_1, a_2 \dots$ — razmaci drenova u mertima, koji pripadaju ovim slojevima tla, a koja se proračunavaju uz pretpostavku da je debljina pojedinih slojeva tla jednaka s odabranom dubinom dreniranja »t« u metrima.

c) Razmak drenova skupljača u cijevnoj drenaži kod tla s usporenom i vezanom vodom, u kombinaciji s bescijevnom drenažom ili melioracijom podoraničnog sloja dat je u slijedećim podacima:

Tabela 5.

Pad terena %	Razmak cijevnih drenova skupljača — m
0,2	30—35
0,5	35—40
1,0	40—45
2,0	45—50
3,0	50—60
5,0	60—70

d) Razmak drenova kod cijevne drenaže u tresetištu — može se odrediti prema podacima datim na sl. 6.

Kod većih vodonosnih slojeva u tresetištu i s tresetom bogatijim drvećem može se razmak drenova i povećati.

Sa smanjenjem debljine vodonosnog sloja i s jačom primjesom mineralnog tla ili ako je tresetište položeno na mineralno tlo — treba drenove postavljati na manje razmake.

Ako su slojevi treseta gusto položeni, može se odgovarajući razmak drenova diferencirano odrediti na osnovi mjerenja vodopropusnosti. Zbog toga je u tresetištima opravdana primjena metoda bušotina za određivanje koeficijenta propusnosti.

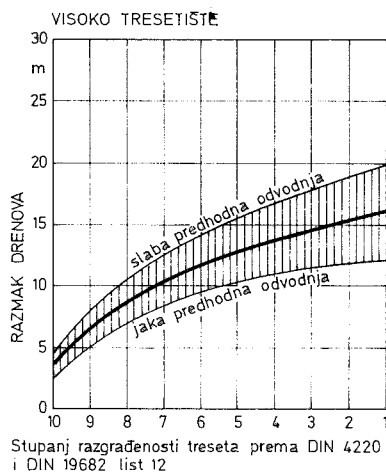
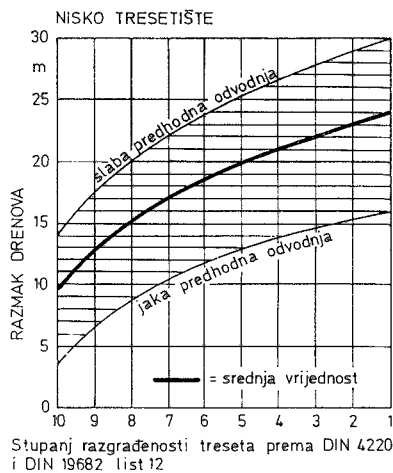
Za svakih 100 mm više, odnosno manje godišnje oborine od 700 mm — treba razmak drenova za 1 m' smanjiti, odnosno povećati.

e) Razmak drenova kod bescijevne drenaže u mineralnom tlu iznosi približno 2,0 m'.

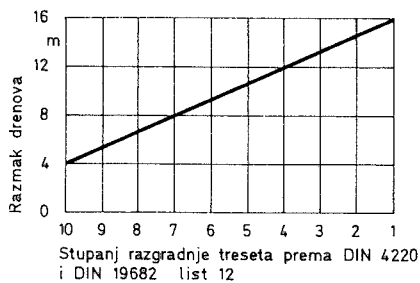
f) Razmak drenova kod bescijevne drenaže u tresetnom tlu može se odrediti prema podacima datim na sl. 7.

g) Specifična količina otjecanja

Oborinu koju treba dovesti u m/dan za proračun razmaka drenova po formuli Huughoudt-Ernest i specifično otjecanje u l/sec/ha za hidraulički proračun mogu se odrediti iz podataka datih u tabeli 6. U sklopu navedenih podataka treba uzeti u obzir mjesne klimatske i hidrološke prilike.



Sl. 6. Razmak drenova za cijevne drenove u tresetištima u ovisnosti od stupnja razgrađenosti treseta i prethodnoj odvodnji



Sl. 7. Razmak drenova za bescijevnu drenažu u tresetištima u ovisnosti o stupnju razgrađenosti treseta

Tabela 6.

SPECIFIČNA KOLIČINA OTJECANJA

N — sr. god. oborina mm/god.	O — mj. obor. otj. m/dan	q — mj. kol. otjecanja l/sec/ha
do 600	0,007	0,8
od 600 do 1000	0,009	1,0
preko 1000	0,017	2,0

U područjima sa znatnijim koločinama vode od topljenja snijega i kod zahtjeva za specijalnom brзом melioracijom tla treba date vrijednosti otjecanja povećati do 100%.

Vanjsku vodu (sa strane) treba posebno uzeti u obzir.

Pri primjeni navedenih podataka za naše uvjete treba u prvom redu voditi računa o traženom jednodnevnoj odvodnji oborina jakog intenziteta u vegetacijskom razdoblju.

5. Hidraulički proračun cijevnog drena skupljača

Za proračun otvora drenskih cijeva primjenjuje se formula Prandt-Colebrooka za prelazno područje:

$$v = -\sqrt{8 \cdot g \cdot D \cdot J} \cdot \lg \left[\frac{k}{3,71 \cdot D} + \frac{2,51 \cdot v}{D \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot D \cdot J}} \right]$$

v — srednja brzina tečenja u m/sec

g — gravitacija — 9,81 m/sec²

D — unutarnji promjer (svijetli otvor) — m'

I — pad dna (pr. 0,50 m' na 100 m'; $I = 0,005$)

k — apsolutna hrapavost unutarnje stijenke drenske cijevi (npr. 0,002)

ν — klimatski viskozitet

$$\text{pr. } \nu (10^\circ\text{C}) = 1,31 \times 10^{-6} \text{ — m}^2/\text{sec}$$

Kao koeficijent hrapavosti k treba uvrstiti

— za glinene cijevi $k = 0,7 \times 10^{-3}$ m

— za borane drenske cijevi iz umjetnog materijala $k = 2,0 \times 10^{-3}$ m

U normama su date odgovarajuće tabele za odnos:

— specifičnog dotoka q — l/sec/ha

— površine koju treba odvodniti — F — ha

— pada dna J (pad vodnog lica) — %

— brzine vode — v — m/sec

— traženog otvora — »o« — mm

pri otjecanju vode u punoj cijevi

Za $q \neq 1,0$ l/sec/ha dobivaju se vrijednosti za površinu koju je moguće odvodniti u ha množenjem s faktorom

$$A = \frac{1}{q \text{ — odabrani}}.$$

Otjecanje u drenu skupljača iznosi:

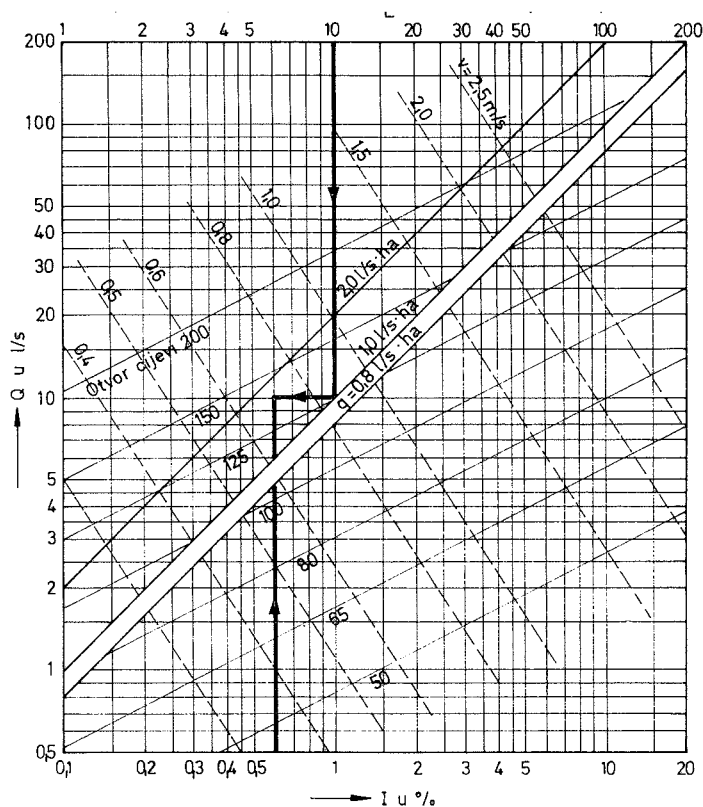
$$Q = q \cdot F_e \text{ — l/sec}$$

Zbog opširnosti numeričkih podataka u ovom radu daju se samo odgovarajući nomogrami na sl. 8 i sl. 9 — gdje se vide odnosi:

— otvora drenskih cijevi

— brzine vode

— količine vode u cijevima,



Primjer : Zadano $F = 10 \text{ ha}$, $q = 1,0 \text{ l/s/ha}$, $I = 0,6 \%$
 bira se profil 150 sa $v = 0,7 \text{ m/s}$ i $Q = 10 \text{ l/s}$

Sl. 8. Nomogram za otvore drenskih cijevi, brzine vode i vodne količine za glinene cijevi

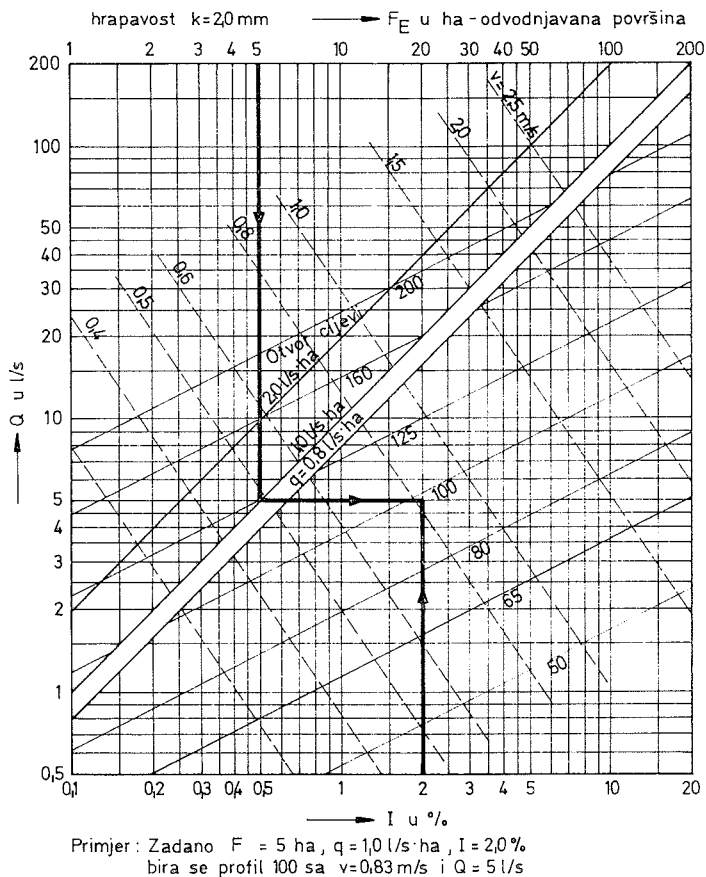
i to posebno za glinene cijevi (sl. 8) i za naborane cijevi iz umjetnog materijala (sl. 9).

Nomogrami sadrže specifične količine otjecanja

- za $q = 0,8; 1,0$ i $2,0 \text{ l/sec/ha}$
- odnose između površina koje treba odvodniti — ha
- pada dna, odnosno vodnog lica — %
- brzine vode v — m/sec
- protjecajne količine u cijevima — l/sec
- dijametra drenskih cijevi kod tečenja u punom profilu — mm.

Pored datih podataka, u nomogramima, u tabelama je data i vrijednost koeficijenta hrapavosti za:

- glinene cijevi — $k = 0,7 \cdot 10^{-3}$ — m
- naborane cijevi iz umjetnih materijala — $k = 2,0 \cdot 10^{-3}$ — m



Sl. 9. Nomogram za otvore drenskih cijevi, brzine vode i vodne koločine za naborane cijevi iz umjetnog materijala

2.2.2.4. Melioracije tla ispod oraničnog sloja

1. Dubinsko podrivanje-prorahljivanje

Kod izvođenja dubinskog podrivanja treba obratiti pažnju na temeljne upute date u tabeli 9.

Dubinsko podrivanje smije se izvoditi samo kod dovoljno suhog tla — odnosno ako je sadržaj vode manji nego sadržaj vode kod granice plastičnosti prema DIN-1822.

Tabela 9.

TEMELJNE POSTAVKE ZA PLANIRANJE DUBINSKOG PODRIVANJA

Pad brazda podrivanja:	
$N \leq 600$ mm/god.	do 3%
$N > 600$ mm/god.	prema vrsti tla do 5%
Dubina podrivanja	
Dubokosežno zbijeno tlo	$t \geq 0,8$ m
Djelomična zbijenost	$0,4 \text{ m} < t >$ zgnusnuta zona
Rastojanje brazda podrivanja:	
$t \geq 0,8$ m	0,75 m
$t < 0,8$ m	$< 0,75$ m
Vrijeme podrivanja	kod dovoljno suhog tla (vidi gore)
Kombinacija sa cijevnom drenažom	
$N \leq 600$ mm/god.	Pojedinačni drenovi otvora ≥ 80
$N > 600$ mm/god. ili $N \leq 600$ mm/god. kod nepovolj-	Sistematska cijevna drenaža, sakupljači otvora ≥ 65
nog godišnjeg rasporeda oborina	
Dubina cijevnih drenova	30 cm više od dubine podrivanja
Razmak cijevnih drenova	30—70 m

2. Duboko oranje u mineralnom tlu

Za duboko oranje u mineralnom tlu treba uzeti u obzir principe date u tabeli 10.

Duboko oranje, planiranje i ratarsko poprečno oranje primjenjuje se samo kod dovoljno suhog tla (sadržaj vode manji nego sadržaj vode kod granice plasticiteta pod DIN-18122 — list 1).

Tabela 10.

TEMELJNI PRINCIPI ZA DUBOKO ORANJE U MINERALNOM TLU

Pad brazde oranja	
$N \leq 600$ mm/god.	do 3%
$N > 600$ mm/god.	prema tlu do 5%
Dubina oranja	minimum 0,6 po mogućnosti $\geq 0,8$ m
Širina brazde oranja	2/3 dubine oranja

Pogodno vrijeme za duboko oranje	kod izdašno suhog tla (vidi gore)
Kombinacija sa cijevnom drenažom	pojedinačni drenovi otvora ≥ 80
$N \leq 600$ mm/god.	sistemska cijevna drenaža sabirači otvora ≥ 65
$N > 600$ mm/god. ili $N \leq 600$ mm/god. kod nepovoljnog rasporeda oborina	
Dubina položenih drenskih cijevi	30 cm više negoli dubina oranja
Razmak cijevnih drenova	30 do 70 cm

3. Duboko oranje u tresetištu i polutresetu

Za duboko oranje u tresetu i polutresetu važe uvjeti dati u tabelama 11, 12 i 13 — DIN-1185 — II dio, koji se zbog opsežnosti ne prikazuju u ovom radu.

2.2.2.5. Primjene — primjeri za DIN-1185 — drugi dio

Primjer 1.

Proračun razmaka drenova cijevne drenaže u homogenom tlu prokvašenom podzemnom vodom prema sl. 1 u pomoć tabele 3.

Zadano:

$k_{s1} = k_{s2} = 1,11$ m/dan, $D = 1$ m, $h = 0,3$ m,
oborine $O = 0,007$ m/dan, $r = 0,1$ m

Formula (2):

$$a = \sqrt{\frac{8 \cdot 1,11 \cdot d \cdot 0,3 + 4 \cdot 1,11 \cdot 0,09}{0,007}}$$

- Iteracijski postupak (metoda postepenog približavanja)
 $a = 15$ m procijenjeno, daje po tabeli 3 $d = 0,86$ m
d-faktor uvršten:

$$15 = \sqrt{\frac{8 \cdot 1,11 \cdot 0,86 \cdot 0,3 + 4 \cdot 1,11 \cdot 0,09}{0,007}}$$

$15 \text{ m} \neq 19,6 \text{ m}$

Rastojanje drenova bilo je premalo procijenjeno.

- Iteracijski postupak
 $a = 20$ m procijenjeno, daje $d = 0,89$ m
d-faktor uvršten

$$20 = \sqrt{\frac{8 \cdot 1,11 \cdot 0,89 \cdot 0,3 + 4 \cdot 1,11 \cdot 0,09}{0,007}}$$

20 m = 20 m

Rastojanje drenova iznosi dakle 20 m.

Primjer 2.

Proračun razmaka drenova cijevne drenaže u tlu, koje je prokvašeno podzemnom vodom sastoji se iz dva sloja prema slici 2a i slici 2b, i to s pomoću tabele 3.

Zadano:

$k_{s1} = 0,38$ m/dan, $k_{s2} = 1,48$ m/dan, $D = 2,4$ m

$h = 0,5$ m, $O = 0,007$ m/d, $r = 0,1$ m

Formula (2):

$$a = \sqrt{\frac{8 \cdot 1,48 \cdot d \cdot 0,5 + 4 \cdot 0,38 \cdot 0,25}{0,007}}$$

1. Iteracijski postupak

razmak $a = 45$ m, procijenjen, daje prema tabeli 3 $d = 1,99$ m
d-faktor uvršten:

$$45 = \sqrt{\frac{8 \cdot 1,48 \cdot 1,99 \cdot 0,5 + 4 \cdot 0,38 \cdot 0,25}{0,007}}$$

$45 \text{ m} \neq 41,6 \text{ m}$

Razmak drenova bio je procijenjen previsoko.

2. Iteracijski postupak

$a = 41$ m procijenjeno, daje po tabeli 3 $d = 1,94$ m

d-faktor uvršten:

$$41 = \sqrt{\frac{8 \cdot 1,48 \cdot 1,94 \cdot 0,5 + 4 \cdot 0,38 \cdot 0,25}{0,007}}$$

$41 \text{ m} \approx 41,25 \text{ m}$

Razmak drenova iznosi 41 m.

Primjer 3.

Proračunavanje rastojanja drenova cijevne drenaže u homogenom tlu prokvašenom podzemnom vodom prema slici 1 s pomoću tabele 4 i slike 4.

Zadano:

$k_{s1} = k_{s2} = 1,11$ m/dan, $D = 1$ m, $h = 0,3$ m

$O = 0,007$ m/dan

Po formuli 4:

$$\frac{8h}{O} \text{ --- faktor} = 345$$

$$\frac{4h^2}{O} \text{ --- faktor} = 50$$

$$k_{s2} \cdot \frac{8 h}{O} = 1,11 \cdot 345 = 383$$

$$k_{s1} \cdot \frac{4 h^2}{O} = 1,11 \cdot 50 = 55$$

Prema slici 4 razmak drenova je: $a = 20$ m.

Primjer 4.

Proračun razmaka drenova cijevne drenaže u tlu od 2 sloja, koje je prokvašeno podzemnom vodom prema slici 2a i slici 2b s pomoću tabele 4 i slike 4.

Zadano:

$$k_{s1} = 0,38 \text{ m/dan}$$

$$k_s^2 = 1,48 \text{ m/dan}$$

$$D = 2,4 \text{ m}$$

$$h = 0,5 \text{ m}$$

$$O = 0,007 \text{ m/dan}$$

Po tabeli 4:

$$\frac{8 h}{O} \text{ — faktor} = 570$$

$$\frac{4 h^2}{O} \text{ — faktor} = 145$$

$$k_{s2} \cdot \frac{8 h}{O} = 1,48 \cdot 570 = 843$$

$$k_{s1} \cdot \frac{4 h^2}{O} = 0,38 \cdot 145 = 55$$

Po slici 4 razmak drenova je: 41 m.

Primjer 5.

Proračun razmaka drenova cijevne drenaže u mineralnom tlu, koje je prevlašeno uspornom ili vezanom vodom prema slici 2c.

Zadano:

$$\text{Udio veličine zrna} < 0,02 \text{ m/m} = 50\%$$

$$\text{Odabrano } t = 0,8 \text{ m}$$

Po slici 5 dobiva se ako se poveže (1) s (3)

$$a_o = 8 \text{ m na (2)}$$

Primjer 6.

Proračunavanje površine koja se može odvodniti i drenažno otjecanje sabirača cijevne drenaže iz glinenih cijevi.

Zadano:

$$q = 1,5 \text{ l/sec/ha}$$

$$k = 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$I = 0,02$$

Otvor = 100 (dijametar)

Po tabeli 7:

$$\text{za } q = 1,0 \text{ l/sec/ha}$$

$$\text{za } F_E = 7,8 \text{ ha, } v = 1,1 \text{ m/sec}$$

$$\text{za } q = 1,5 \text{ l/sec/ha}$$

$$F_E = \frac{1}{1,5} \cdot 7,8 = 5,2 \text{ ha}$$

Po formuli 6:

$$Q = 1,5 \cdot 5,2 = 7,8 \text{ l/sec}$$

Primjer 7.

Proračunavanje površine koja se može odvodniti i drenažnog oticanja sabirača cijevne drenaže od drenskih cijevi iz tvrdnog PVC.

Zadano:

$$q = 1,0 \text{ l/sec/ha}$$

$$k = 2,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$I = 0,02$$

dijametar cijevi = 100

Prema tabeli 8:

$$F_E = 5,4 \text{ ha}$$

$$v = 0,8 \text{ m/sec po formuli (6)}$$

$$Q = 1 \cdot 5,4 = 5,4 \text{ l/sec}$$

N a p o m e n a datim podacima DIN-1185 — I i II dio:

1. U ovom skraćenom prikazu DIN-1185 — težište je dato drugom dijelu normi gdje se obrađuju: »Bitni podaci za projektiranje i dimenzioniranje«.

Također su dati osnovni podaci iz prvog dijela normi: »Opće upute i posebni slučajevi«.

Ostali podaci iz prvog dijela kao i iz trećeg dijela normi: »Izvedba radova« dat će se u br. 4. Priručnika za hidrotehničke melioracije.

2. U nedostatku vlastitih propisa i normi za projektiranje i izvođenje drenaže poljoprivrednog tla u ovom radu se pokazuju osnovni elementi

DIN-1185 koji se mogu prenijeti i na odgovarajućim lokacijama i tlima naših područja.

Međutim, treba imati u vidu korištenje i ostalih inozemnih iskustava kao što su iz ČSSR, Engleske, Francuske, Mađarske, Nizozemske, SSSR. Primjena elemenata normi ostalih zemalja moguća je nakon definiranja terenskih uvjeta, hidropedoloških svojstava tla i zahtjeva poljoprivredne proizvodnje odgovarajućeg našeg područja.

2.3. Prijedlog mjera i radova za izradu domaćih propisa i normi iz područja podzemne odvodnje

Reguliranje vodnog režima u tlu cijevnom drenažom, drenažom bez cijevi i melioracijom tla ispod oraničnog sloja — osnovni je preduvjet optimalne i suvremene poljoprivredne proizvodnje.

S obzirom na do sada izvedene radove cijevne drenaže (108.000 ha poljoprivrednog tla) kao i daljnji program i potrebu izvedbe navedenih radova — neophodna je izrada odgovarajućih normi za projektiranje i izvođenje drenaže kod nas.

Kao i u većini drugih područja tako i u području hidrotehničkih melioracija nema niti dovoljno financijskih sredstava niti dovoljno stručnog sagledavanja za potrebu i važnost realizacije neophodnih radova za izradu odgovarajućih propisa i normi.

Treba imati u vidu da je od ukupno dreniranih površina poljoprivrednog tla u SFR Jugoslaviji na 108.000 ha čak 61,9% izvedeno u SR Hrvatskoj. Evidentni su podaci o znatnom povećanju priroda biljne proizvodnje, o potrebi i opravdanosti daljnjih ulaganja na uređenju vodozračnog režima tla, ali se istodobno ne ulažu minimalno potrebna sredstva u odgovarajuća pokusna polja.

I pored pozitivnih rezultata na različitim lokacijama i s raznolikim svojstvima tla kao i projektnim rješenjima cijevne drenaže — mi još uvijek nemamo sistematizirane i analizirane odgovarajuće podatke.

Treba imati u vidu da mi imamo izvedenu cijevnu drenažu i odgovarajuće efekte poljoprivredne proizvodnje na slivnom području Drave, Dunava, Mirne, Neretve, Save — s različitim kako klimatskim i terenskim obilježjima tako i hidropedološkim svojstvima tla kao i specifičnostima poljoprivredne proizvodnje. Sve je to izvedeno i u proizvodnji od 1973. do 1983. godine.

Imamo i pokusna polja na području općina: Donji Miholjac, Dugo Selo, Slavonski Brod, Vinkovci — ali nemamo obrađene i objedinjene podatke koji bi bili od velike koristi za projektante, izvođače, investitore i korisnike odgovarajućih radova na hidromelioracijskim površinama.

Žalosna je i zabrinjavajuća činjenica da je dio drenaže poljoprivrednog tla izveden bez potrebnih terenskih podataka, bez projektne dokumentacije, da se slabo održavaju pojedini sustavi podzemne i površinske odvodnje — a istodobno se ne nalaze potrebna sredstva u minimalnim iznosima za odgovarajuća pokusna polja te sistematizaciju i analizu potrebnih podataka.

Za potrebe izrade vlastitih propisa i normi područja: — reguliranja vodnog režima u tlu cijevnom drenažom, drenažom bez cijevi i melioracija tla ispod oraničnog sloja trebalo bi organizirati, financirati i izvršiti slijedeće poslove:

1. Sistematizacija i analiza raspoloživih podataka o izvedenim odgovarajućim radovima u razdoblju 1973—1983. godine. Posebno obraditi rezultate postojećih pokusnih polja (Donji Miholjac, Pilot-farma kod Dugog Sela, Vin-kovci, Jasinje — kod Sikirevaca) u razdoblju 1968—1973. godine. Realizacija navedenih poslova u 1984. i 1985. godini.

2. Povećati broj pokusnih polja na raznim lokacijama — s različitim terenskim obilježjima i hidropedološkim svojstvima tla kao i specifičnostima poljoprivredne proizvodnje odgovarajućih melioracijskih područja. Realizacija od 1984. do 1990. godine.

3. Sistematsko praćenje i analiza terenskih opažanja, s potrebnim laboratorijskim ispitivanjima, ostvarenim efektima reguliranja vodozračnog režima, boniteta tla i svih faza poljoprivredne proizvodnje. Realizacija kao kontinuirani posao.

4. Stručna i znanstvena obrada prethodno sistematiziranih podataka o svim fazama i procesima reguliranja vodozračnog režima i ostvarenih rezultata biljne proizvodnje. Realizacija — kao kontinuirani posao.

5. Sistematizacija inozemnih iskustava na navedenim poslovima s uvjetima i elementima koji se mogu komparirati i primijeniti, a s obilježjima naših melioracijskih područja — u vezi sa zahtjevom efikasne odvodnje i optimalne poljoprivredne proizvodnje. Realizacija u 1984. godini.

6. U organizaciji, financiranju i realizaciji navedenih poslova trebali bi zajednički sudjelovati:

6.1. SVIZ-ovi slivnih i vodnih područja te RVIZ-a

6.2. Vodoprivredne radne organizacije

6.3. Poljoprivredne radne organizacije

6.4. Privredna komora SR Hrvatske — grupacija poljoprivrede i vodoprivrede

6.5. GI — Fakulteti građevinskih znanosti

6.6. Fakulteti poljoprivrednih znanosti

6.7. Republički komitet za vodoprivredu

6.8. Republički komitet za poljoprivredu.

S obzirom na stručnu i proizvodnu važnost realizaciji navedenih poslova trebalo bi pristupiti u 1984, kako bismo u što kraćem roku došli do vlastitih (makar i privremenih) propisa kao prve faze u izradi »Normi za reguliranje vodnog režima u tlu cijevnom drenažom, drenažom bez cijevi i melioracija tla ispod oraničnog sloja«.

LITERATURA

1. *Kos. Z.*: Primjena matematičkih modela na planiranje vodoprivrednih sistema. Disertacija, Zagreb 1979.
2. Zakon o izgradnji objekata, »Narodne novine«, br. 52 od 16. prosinca 1981.
3. Nacrt pravilnika o projektiranju, opremi i reviziji projekata iz oblasti vodoprivrede (15 stranica). Udruženje projektantskih organizacija FNRJ-e i Republički odbor projekatanata NRH-e, Beograd i Zagreb 1955. godine.
4. Projedlog za sastav projekta iz melioracija (24 stranice). Republički odbor projekatanata NRH-e i Direkcija za Savu, Zagreb 1957. godine.
5. Uputstvo za pregled melioracijskih objekata i sastav izvještaja za melioriranje nizinskih područja u dolini rijeke Save od Zagreba do Beograda (14 stranica). Direkcija za Savu i Republički odbor projekatanata, Zagreb, 1958. i 1964. godine.
6. DIN-1185 — I i II dio. Reguliranje vodnog režima u tlu cijevnom drenažom, drenažom bez cijevi i melioracijom tla ispod oraničnog sloja. Prijevod njemačkih normi — I, II i III dio. Poslovno udruženje vodoprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb, 1976.
7. *Marušić, J.*: Analiza rada drenopolagača vodoprivrednih i poljoprivrednih organizacija u SR Hrvatskoj od 1973. do 1983, SOUR »Vodoprivreda Hrvatske«, Zagreb, 1983.
8. *Marušić, J.*: Iskustva i potreba izvođenja cijevne drenaže poljoprivrednog zemljišta u SR Hrvatskoj. Inovacije u drenažnoj i irigacionoj tehnologiji, Organizator DON — SR Bosne i Hercegovine i JDON, Sarajevo, 1983.

EKONOMSKO VREDNOVANJE HIDROMELIORACIJSKIH PROJEKATA

Mr DRAGO BEBEK

1. UVOD

Jugoslavija zauzima 0,4% ukupne površine Zemljine kugle. Na tom relativno malom prostoru isprepliću se prirodni uvjeti različitih klimatskih zona od umjereno kontinentalne, mediteranske do suptropske zone. Malobrojne su zemlje koje raspolažu takvim bogatstvom klimâ na tako malom prostoru.

Kroz povijest poljoprivredni prostor bio je zaokružena cjelina proizvodnje, života i drugih privrednih i društvenih djelatnosti. Njegova struktura razvijala se ovisno o prirodnim i ekološkim uvjetima te proizvodnim snagama društva.

Poljoprivredna proizvodnja djeluje dominantno u prostoru, uslijed raznolikosti poljoprivrednih usjeva, posjedovne i obradive strukture tla i razmještaja urbane i ruralne naseljenosti.

Poljoprivreda je najstarija i još uvijek pretežna djelatnost ljudskog društva. Unatoč epohalnim dostignućima znanosti na svim područjima ljudske aktivnosti, poljoprivreda je jedan od glavnih nosilaca razvoja u svijetu. Osnovna funkcija poljoprivrede jest da podmiri prehrambenim i drugim proizvodima potrebe postojećeg stanovništva i budućih naraštaja.

Za povećanje proizvodnje hrane postoje realne mogućnosti, i to prije svega:

- povećanjem obradivih površina,
- povećanjem prinosa po ha, s pomoću umjetnih gnojiva, visokoprinosnih sorti sjemena, navodnjavanjem, odvodnjavanjem, primjenom suvremene mehanizacije,
- povećanjem proizvodnje hrane od morske flore i faune,
- razvojem proizvodnje sintetske hrane.

Da bi se ostvarili postavljeni ciljevi razvoja poljoprivrede, potrebno je iskoristiti sve postojeće prirodne i ljudske resurse. Za ubrzanje tog razvoja, prije svega, potrebno je veliko povećanje investicija u poljoprivredi.

Za ostvarenje potrebnih uvjeta realizacije određene koncepcije razvoja nužno je u konstrukciju zadanog cilja ugraditi kriterije formuliranja i ocjene investicijskog projekta.

Tržišno-planska koncepcija razvoja našeg samoupravnog socijalističkog društva povećava broj privrednih subjekata i, istodobno, njihovu ulogu u procesu društvene reprodukcije, odnosno u pogledu raspolaganja sredstvima društvene akumulacije. Time se ujedno ostvaruju uvjeti za povezivanje sustava investiranja i planiranja.

2. PLANIRANJE VODOPRIVREDNIH OBJEKATA

Kod planiranja projekata polazi se obično od činjenice da »zdrav« razvojni plan traži dobar projekt a dobar projekt traži »zdravo« planiranje.

Višenamjensko planiranje vodnih i zemljišnih resursa dio je cjelokupnog društveno-ekonomskog planiranja i, zbog toga, mora biti temeljito povezano s planovima razvoja svih privrednih i društvenih subjekata u procesu samoupravnog društveno-ekonomskog planiranja.

Planovi za zemljišne i vodne resurse koncentriraju se na određene komponente višestrukih ciljeva koji se žele postići u slivu, regiji ili širem nacionalnom području. Ovi ciljevi izražavaju se projiciranim potrebama i problemima utvrđenim u svakom pojedinom planskom području.

Proces planiranja uključuje nekoliko osnovnih faza:

- utvrđivanje komponenata višenamjenskih ciljeva, relevantnih za planirano područje,
- ocjenjivanje kapaciteta resursa,
- formuliranje alternativnih planova radi postizanja različitog stupnja ostvarenja specifičnih komponenata višenamjenskih ciljeva,
- analizu razlika između alternativnih planova koji stavljaju različit naglasak na utvrđene komponente višenamjenskih ciljeva,
- izbor preporučljivog plana na temelju ocjene i usporedbe različitih alternativnih planova.

Proces planiranja sadrži, dakle, i ocjenu alternativnih mogućnosti, uključujući strukturalne i nestrukturalne mjere za postizanje željenih ciljeva. Broj alternativnih planova koje treba razraditi u svakom pojedinom procesu planiranja ovisi o komplementarnosti ili sukobu između utvrđenih komponenata ciljeva, o kapacitetima resursa, tehničkim mogućnostima i o opsegu u kojem se može očekivati da će alternativni planovi znatno pridonijeti izboru najoptimalnijeg plana.

Pri planiranju korištenja vodnih i zemljišnih resursa potrebno je obratiti posebnu pažnju na specifičnosti koje se pojavljuju kod vodoprivrednih poljoprivrednih projekata. Riječni su slivovi prirodne geografske jedinice za upravljanje vodama. Naravno, slivovi se mogu ujediniti tako da se za upravljanje vodama integriraju veća područja. Međutim, projekti u jednom slivu fizički su međusobno zavisni. Postojanje jednog projekta utječe i na potencijal ostalih, i o tome se mora posebno voditi računa kod planiranja, jer ako je projekt izrađen bez razmatranja mogućih posljedica za cijeli sustav, on može omesti efikasan razvoj ostalih njegovih dijelova. To je moguće čak i onda kad projekt sam za sebe izgleda odlično, ali kad se izvrši kompleksna analiza cijelog sustava projekt može biti manje povoljan ili čak nepovoljan. Pristup kod planiranja ovih projekata mora biti kompleksan na različitim razinama, uključujući izbor ciljeva, mjerenje povoljnih i nepovoljnih efekata, te usporedbu alternativnih projekata. To će pomoći određivanje alternativnih pravaca djelovanja i dati potrebne informacije za olakšanje procesa javnog odlučivanja za optimalni projekt, jer su u tom slučaju uzete u obzir sve međuzavisnosti. Pri tome treba također voditi računa i o dinamici realizacije projekata, jer promjena prioriteta na jednom mjestu u sustavu može dugoročno utjecati na korisnost projekta.

Prema tome, definiranje projekta mora biti rezultat temeljite, stručno izrađene analize razvojnog potencijala cijelog slijeva.

Uslijed brzih promjena društvenih, ekonomskih, tehnoloških, fizičkih i drugih faktora, plan koji se ne izvede u razumnom roku nakon donošenja mora se revidirati, da bi se utvrdilo je li on i dalje najbolja alternativa za postizanje postavljenih ciljeva.

Planovi za korištenje vodnih i zemljišnih resursa za postizavanje više-namjenskih ciljeva usmjereni su na poboljšanje životnih uvjeta putem unapređenja nacionalnog ekonomskog razvoja, regionalnog razvoja i životne okoline.

Nacionalni ekonomski razvoj je cilj koji se postiže povećanjem vrijednosti nacionalne proizvodnje dobara i usluga i unapređivanjem nacionalne ekonomske efikasnosti. To se postiže povećavanjem obradivih površina, prinosa, usjeva, produktivnosti prirodnih resursa i radne snage te kapitala koji se koristi na tim resursima. Povećava se dohodak uslijed promjena u načinu korištenja tla. Smanjuju se poremećaji ekonomskih aktivnosti do kojih je došlo zbog suša, poplava ili fluktuacija u vodoopskrbi itd.

Planovi vodnih i zemljišnih resursa pridonose na mnogo načina regionalnom razvoju a osnovni su: povećanje dohotka regije, zaposlenosti, poboljšanje ekonomske baze, razmještanja stanovništva, proširenje obrazovnih, kulturnih i rekreacijskih mogućnosti, poboljšanje uvjeta čovjekove okoline u regiji.

Poboljšanje čovjekove okoline postiže se uređenjem, čuvanjem, zaštitom, stvaranjem, obnavljanjem ili poboljšanjem nekih određenih prirodnih ili kulturnih bogatstava i ekoloških sustava u određenom području. Ovaj cilj odražava brigu društva za prirodnu okolinu, njeno održavanje, čuvanje za sadašnje i buduće generacije.

3. POLJOPRIVREDNI PROJEKTI

Osnovni cilj investicija jest da se sadašnjim trošenjem proizvodnih resursa ostvare u budućnosti što veće koristi ili efekti.

Kod poljoprivrednih projekata to znači investicijsku aktivnost, trošenje kapitala, da bi se stvorila proizvodna imovina, od koje se u određenom vremenskom razdoblju očekuje realizacija dohotka (dobit).

Realizacija poljoprivrednih projekata skup je i dugotrajan proces, a povećane koristi u pravilu se javljaju u toku niza godina, ponegdje čak 50 i više, ovisno o vrsti i veličini projekta. Postoje različite vrste poljoprivrednih aktivnosti koje određuju vrstu, veličinu i značaj poljoprivrednog projekta. Tako npr. postoje poljoprivredni projekti za: navodnjavanje i odvodnjavanje, uređenje tla, stočarstvo, vinogradarstvo, poljoprivrednu mehanizaciju, obrađivanje poljoprivrednih proizvođača itd.

Ovdje se radi o poljoprivrednom projektu za odvodnjavanje tla.

Projekt u ovom kontekstu znači cjelokupni sustav za odvodnjavanje koji uključuje npr. branu, ustavu ili nasip sa svim pratećim objektima — kanalima, drenažnim sustavom, crpnim stanicama, kao i sva relevantna radna pravila i institucionalne instrumente koji će biti povezani s funkcioniranjem cjelokupnog projekta sustava odvodnjavanja. Radna pravila određuju način korištenja, a institucionalni instrumenti uključuju metode za utvrđivanje raspodjele troškova i koristi.

3.1. Projekti odvodnje

Odvodnja poljoprivrednog tla sastoji se od mjera za uklanjanje suvišne vode s tla koje bi inače bilo suviše vlažno za normalnu poljoprivrednu proizvodnju. Sadržaj hranjivih tvari u tlu postaje sve manji kako se smanjuje zona nezasićenog tla, a ograničeni sadržaj kisika u raskvašenim tlima može dovesti do štetnog procesa anaerobne razgradnje. Odvodnja tla uklanja vodu sakupljenu na površini i iz dijela zone korijenja koliko je potrebno da se omogući rast poljoprivrednih usjeva.

S tehničkog aspekta postoje različiti sustavi i varijante odvodnje koje ovise o količini vode u tlu, vrsti tla, konfiguraciji tla itd., u koje se neće ovdje ulaziti. Međutim, ekonomska opravdanost projekta odvodnje ovisi o tome da li će i koliko koristi nadmašiti ukupne troškove cijelog sustava odvodnje. Da bi se dobili odnosi koristi i troškova, potrebno je točno utvrditi sve koristi od projekta odvodnjavanja a također i sve troškove projekta.

Potrebno je naglasiti da je projekt odvodnje kompleksan posao koji se ne mora ograničiti na hidrotehničke radove niti na troškove njegove izgradnje. U čistoj ekonomskoj teoriji on je određen postojanjem eksternih efekata koje stvara. To se proteže na sve odlučujuće činioce koji su podložni tim vanjskim efektima. Iako je u praksi teško točno odrediti njihove granice, jasno je da ova definicija uključuje brojna komplementarna ulaganja koja uzrokuju projekt.

4. IZBOR PROJEKATA

Osnovna premisa svakog ulaganja jest da korist bude veća od uloženog kapitala-troška. Bez tog kriterija nema ni ulaganja.

Zakon o kontroli poplava u SAD iz 1936. godine tražio je da korist »ma kome pripadala« mora biti veća od troška, da bi projekt dobio odobrenje za izgradnju. Ovaj zakonski zahtjev oblikovao je razvoj analize koristi i troškova, u kojem je zakonito ekonomsko opravdanje ono koje ostvaruje korist. Prvi uvjet za realizaciju jednog vodoprivrednog projekta bio je, dakle, da je korist veća od troška, a daljnji postupak kod odlučivanja o realizaciji ovisio je o financijskim sredstvima, konkurenciji drugih projekata i dr.

Svaki projekt koji ima ukupne koristi veće od troškova, ima ekonomsko opravdanje za ostvarenje, a ekonomsko vrednovanje između usporedivih projekata treba odlučiti o njegovu mjestu u hijerarhiji prioriteta.

U situaciji perfektnog tržišta kapitala, gdje su ponuda i potražnja međusobno usklađene, ostvario bi se svaki projekt kojemu su ukupne koristi veće od ukupnih troškova. Međutim, ova situacija nastaje veoma rijetko. Primjerice, kada se donese odluka o ostvarivanju samo onih projekata koji imaju omjer dobiti i troška veći od 1,5, tada se projekti s manjim omjerom odbacuju ili čekaju bolja vremena.

U uvjetima ograničenosti kapitala za realizaciju se odabiru projekti s najvećim odnosima koristi i troškova. Kod izračunavanja ovih odnosa nastaju dva problema: usporedivost i kriteriji odnosa koristi i troškova.

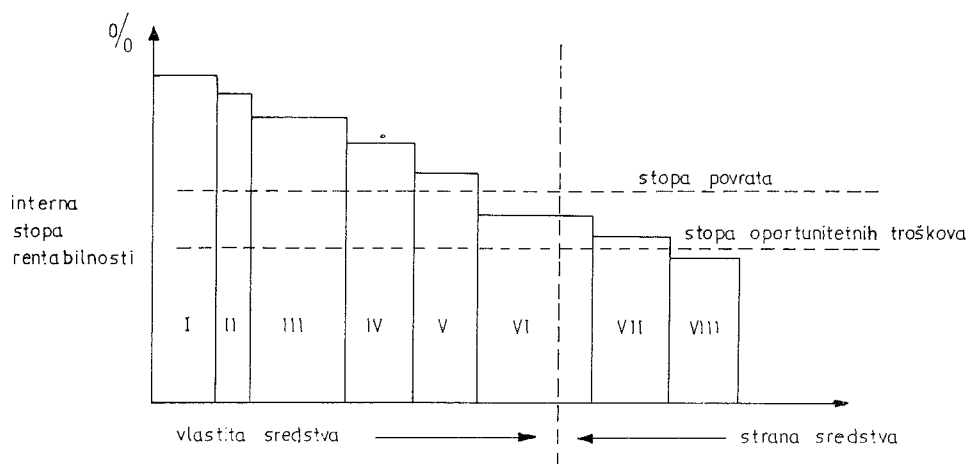
Usporedivost je istovrsnost projekata, jedinstvene cijene, kamatne stope, rokova otplata kredita, razdoblja analize itd. da bi se osigurao minimum usporedivosti.

Kriteriji odnosa koristi i troškova treba da odrede minimalne uvjete da bi projekti dobili »zeleno svjetlo« za realizaciju. Ovdje se pojavljuje problem definiranja koristi i troškova iz čega proizlazi vrednovanje i ocjena projekta.

Zapravo, s ekonomskog stanovišta najvažnije je utvrditi koristi-efekte, pozitivne i negativne, te one kod kojih sklonosti variraju, pa se, ovisno o stavu onih koji ih ocjenjuju, mogu smatrati povoljnim ili nepovoljnim. To vrijedi i pri utvrđivanju troškova.

Kod izbora projekta mogu također nastati situacije da su domaći izvori financiranja ograničeni u odnosu na ciljeve razvoja poljoprivrede i mogu se realizirati samo neki predloženi projekti. Tada se može prići izboru projekta koji nadmašuje određenu stopu povrata, a koja je s druge strane znatno veća od kamatne stope na kapital. Ta situacija je prikazana na grafu 1. Vlastitih sredstava ima za šest projekata, ali šesti se isključuje zbog manje stope povrata od planirane. Ako se žele financirati projekti br. VI i VII, tada treba osigurati vanjske izvore financiranja ili pak odgoditi njihovu realizaciju.

IZBOR PROJEKATA PREMA STOPI POVRATA



Slika 1

5. ANALIZA EFEKATA PROJEKTA

5.1. Pristup

Analiza projekta odvodnjavanja temelji se uvijek na dinamičnom promatranju projekta u toku njegova cijelog ekonomskog vijeka trajanja, pri čemu se pruža mogućnost sagledavanja efikasnosti u svim etapama: u izgradnji, u pokusnoj i redovnoj proizvodnji.

Postupak analize odvija se u nekoliko međusobno povezanih faza, i to:

- određivanju ekonomskog vijeka projekta,
- determiniranju osnovnih ekonomskih veličina kao što su: izvori financiranja, obujam proizvodnje, realizacija proizvodnje,

- određivanju visine prihoda i troškova u svakoj godini u toku ekonomskog vijeka trajanja projekta,
- svođenju svih budućih prihoda i troškova na vrijednost početne godine,
- određivanju prihoda i troškova koji nastaju realizacijom projekta (»sa« projektom i »bez« njega),
- utvrđivanju parametara koji uvjetuju rizičnost i nesigurnost oko procijenjanja budućih veličina (analiza osjetljivosti),
- izradi brojnih pokazatelja na osnovi kojih se ocjenjuje prihvatljivost projekta.

Nakon utvrđivanja relevantnih parametara iz ovih međusobno povezanih faza pristupa se izradi analize toka novca, koja pokazuje likvidnost projekta-investitora kroz cijeli ekonomski vijek, mogućnosti otplate kredita itd. Poslije analize toka novca izvršit će se analiza projekta s pomoću metode netto dobiti projekta koja je potrebna za primjenu nekih metoda ocjena projekta.

Za praktične potrebe analize efekata odvodnjavanja uzet je pojednostavljen primjer projekta odvodnje 1 ha tla pod slijednećim pretpostavkama:

- da je korisnik tla,
- da je izvedena komasacija,
- da investitor ima potrebnu mehanizaciju, obrtna sredstva, ekonomsko dvorište,
- investitor je poljoprivredna organizacija udruženog rada.

Investicijski trošak uključuje izgradnju kanalske mreže, crpnih stanica, ravnjanje i uređenje tabli, podzemnu drenažu sa šljunkom, poljske puteve i projektnu dokumentaciju.

Izvor sredstava financiranja je kredit banke na rok od 12 godina i kamatna stopa od 12%.

Utvrđivanje i raspodjela ukupnog prihoda izvršena je na osnovi kalkulacije proizvodnje kukuruza s cijenama iz 1983. godine.

U analizi su korištene tržišne cijene iz 1983. godine, i projekt je analiziran samo s aspekta investitora, odnosno izvršena je samo financijska analiza projekta.

U praksi postoji još i ekonomska analiza za utvrđivanje efekata projekta s aspekta zemlje kao cjeline, u kojoj su isključena sva transferna plaćanja zemlji, razne subvencije ili se radi analiza cijene proizvodnje pojedinih proizvoda u zemlji u usporedbi s uvozom istih proizvoda po svjetskim cijenama. Ova druga varijanta pokazuje da li je ekonomski rentabilnije sa stanovišta nacije razvijati vlastitu proizvodnju ili uvoziti gotove proizvode.

Kod mnogih vodoprivrednih projekata neophodno je potrebno izraditi samo ekonomsku analizu projekta jer oni odražavaju nacionalne interese pri upotrebi vodnih i zemljišnih resursa, a ne ostvaruju vrijednosti koje se mogu vrednovati putem tržišnih cijena, već samo putem ciljeva nacionalnog i regionalnog razvoja i zaštite čovjekove okoline za sadašnje i buduće generacije.

S obzirom na to da je subjekt odlučivanja kod investicijskog ulaganja u projekte odvodnjavanja korisnik tla, analiza u ovom primjeru usmjerena je na investitora i s njegova aspekta izvršit će se analiza i ocjena projekta. Dakle, projekt će se promatrati i ocijeniti s pomoću »financijske« analize.

5.2. Vijek projekta

Jedno od bitnih komponenti svakog projekta je njegov vijek funkcioniranja, odnosno trajanja. Može se podijeliti na tehnički, tehnološki i ekonomski.

Tehnički vijek jednog vodoprivrednog projekta-objekta može iznositi i više stotina godina, i to je, zapravo, razdoblje u kojem projekt-objekt može funkcionirati s tehničke strane. Tehnološki vijek projekta je razdoblje nakon kojega dolazi do zastare tehnologije. Ekonomski vijek projekta je vrijeme u kojem se mogu sagledati, iako s nekim rizicima, svi efekti projekta, a s druge strane to je razdoblje u kojem se očekuje rentabilno poslovanje. Npr. kod nekih vodoprivrednih projekata tehnički je vijek više od 100, tehnološki 30 a ekonomski 20 godina.

U nekim zemljama i danas se vodoprivredni projekti analiziraju kroz razdoblje od 100 godina, međutim, u posljednje je vrijeme skraćeno razdoblje analize troškova i koristi na 50 godina (SAD).

Svaki projekt čiji je ekonomski vijek kraći od tog razdoblja bit će imun na kasnije promjene, a projektu s dužim trajanjem neće biti priznate dobiti koje nastaju nakon tog razdoblja. Što je projekt dugotrajniji, veći će dio dobiti biti što se neće moći uključiti u analizu. S ekonomskog stanovišta poznato je da, što je udaljeniji datum dobiti, ona je sve riskantnija i manje bi trebalo vjerovati u nju. Međutim, zanemarivanje dobiti nakon određenog datuma bila bi gruba pogreška, jer se implicitno pretpostavlja da su dobiti prije tog datuma sigurne, a nakon tog datuma nesigurne i bezvrijedne.

Odsijecanjem dobiti nakon određenog datuma, omjeri koristi i troškova projekta umanjeni su za svotu koja izravno ovisi o ostatku dužine trajanja projekta nakon tog datuma i o intenzitetu kapitala. Za primjer uzet je ovdje tipičan projekt s omjerom koristi i troškova od 2. Dobiveni efekti za druge omjere bili bi proporcionalni. Projekti s intenzivnim kapitalom, s omjerom troškova poslovanja (proizvodni troškovi, održavanje i obrtna sredstva) i investicijskog troška od 0,01 (T_p/K), pretpostavljaju mnogo veće promjene od drugih, zbog toga što ne uzimaju u obzir dobiti nakon prekida granice analize.

Na grafikonu 2 vrijednosti T_p/K su tipične za vodoprivredne projekte, jer predstavljaju intenzitete kapitala blizu ekstrema na uobičajenim rasponima. Budući da su investicijski troškovi kod vodoprivrednih projekata u većini slučajeva veliki i veoma su rizični, ako se njihovo amortiziranje očekuje u dalekim vremenskim rokovima, a troškovi poslovanja uvijek su podložni promjenama, normalno je da se projekti intenzivnijeg kapitala više optereće kod odsijecanja dobiti poslije određene granice analize (tabela 1, slika 2).

Tabela 1.

UTJECAJ GRANICE RAZDOBLJA ANALIZE NA OMJER $K/T = 2$

Očekivano ekonomsko trajanje	Rezultirajući omjer K/T	
	$T_p/I = 0,01$	$T_p/I = 0,10$
50	2,00	2,00
60	1,87	1,95
70	1,78	1,93
80	1,72	1,91
90	1,68	1,89
100	1,65	1,88
...
∞	1,55	1,85

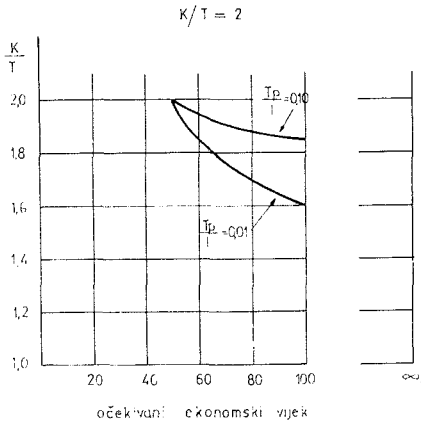
K = koristi; T_p = troškovi poslovanja (troškovi proizvodnje i obrtna sredstva),

T = ukupni troškovi; a = anuitet kod očekivanog razdoblja analize, a' = anuitet kod ograničenog razdoblja analize; I = investicija

$$\frac{K}{T} = \frac{K}{(T_p/I + a) I}, \quad I = \frac{K}{(K/T) (T_p + a)}$$

$$\frac{K'}{T'} = \frac{K}{(T_p/I + a') I} = \frac{K}{(T_p/I + a)} \cdot \frac{(K/T) (T_p/I + a)}{K} = \frac{K}{T} \left(\frac{T_p/I + a}{T_p/I + a'} \right)$$

UTJECAJ GRANICE PERIODA NA OMJER



Slika 2

Ovaj postupak može se primijeniti i kod skraćivanja ekonomskog vijeka od 50 na 25 godina, gdje će projekti s intenzivnijim kapitalom biti znatno osjetljiviji na oduzimanje dobiti od projekata čiji su omjeri T_p/I veći.

Kod projekta za odvodnjavanje ekonomski vijek obično je 20 godina, kolik je i amortizacijski vijek opreme crpnih stanica i drenažnih cijevi. Ako projekt nije rentabilan u tom razdoblju, rentabilnost se neće poboljšati ni produžetkom razdoblja analize dobiti na dalji rok, s obzirom na to da nakon 20. godine treba ponovo investirati u drenažne cijevi, opremu za crpne stanice, a i radi diskontinuiranja budućih dobiti; nakon 20 godina dobivene sadašnje vrijednosti dobiti neznatno utječu na rentabilnost projekta.

5.3. Utvrđivanje koristi i troškova

Kod utvrđivanja koristi i troškova važno je utvrditi koje će se cijene primijeniti u toku ekonomskog vijeka projekta. Prevladava praksa da se iste cijene koriste za analizu koristi i troškova, i to stalne cijene za dugoročnu projekciju koristi i troškova a tekuće cijene za troškove izgradnje. Odnosno, da se za cijene poljoprivrednih proizvoda i troškove proizvodnje upotrijebe planske ili prosječne cijene koje se mogu utvrditi u momentu izrade projekcije ekonomskog vijeka, i one moraju odražavati tržišnu verifikaciju. One su prihvatljive pod uvjetom da struktura cijena i proizvoda ostane nepromijenjena do kraja ekonomskog vijeka projekta.

Za investicijsko ulaganje koriste se tekuće tržne cijene, što ima za cilj stvarno utvrđivanje troškova izgradnje, odnosno osiguravanje potrebnih izvora financiranja.

5.3.1. Koristi

Koristi projekta odvodnje su izravne, kao što su npr. proizvodnja poljoprivrednih proizvoda, bez obzira na to da li se radi o novoj poljoprivrednoj proizvodnji ili povećanju već postojeće proizvodnje, i, neizravne, kao što su:

a) ekonomske

- godišnje izravno povećavanje društvenog proizvoda
- zaposlenost
- kvalifikacijska struktura zaposlenih
- devizna komponenta

b) sociološke

- utjecaj na demografska kretanja
- prostorna i socijalna pokretljivost stanovništva
- društvene promjene na selu
- društveni život

c) ekološke

— zaštita i unapređenje čovjekove okoline za sadašnje i buduće naraštaje.

Neki stručnjaci smatraju da se mnogi od tih efekata mogu vrednovati novčanim mjerilima, putem zapažanja koliko je društvo spremno platiti da se postignu (ili izbjegnu) neki efekti.

Zbog toga se u nekim zemljama u takvim ocjenama projekta iznose novčane vrijednosti spašenih ili izgubljenih ljudskih života, promjene u stanju narodnog zdravlja, ekoloških promjena itd.

Međutim, u praksi prevladava nastojanje da se novčanim mjerilima izražavaju samo oni efekti koji podliježu tržišnim procesima ocjenjivanja, dok se ostali efekti prezentiraju donosiocima odluke u svojim najprirodnijim mjerilima. Tako se ujedno izbjegnu razne subjektivne i spekulativne nov-

čane procjene, jer se efekti prevode na mejrila za uspjeh pri dostizanju određenih ciljeva.

5.3.1.1. Ukupni prihod

Izravan rezultat projekta odvodnje je proizvodnja poljoprivrednih usjeva a efekti proizvodnje će ovisiti o površinama, postignutim prinosima i cijenama.

Tabela 2.

UKUPNI PRIHOD

(u dinarima)

Kultura	Ukupne površine	Prinos po ha/t	Ukupna proizvodnja u t	Cijena po t	Ukupna vrijednost proizvoda
Pšenica	500	5,5	2.750	17.000	46.750.000
Kukuruz	400	7,0	2.800	15.000	42.000.000
Uljana repica	300	8,0	900	40.000	36.000.000
Ukupno	1.200		6.450		124.750.000

U tabeli 2 prikazan je jednostavan primjer proizvodnje na 1200 ha, sa svega tri kulture uz prikazane prinose i cijene ostvarena je vrijednost proizvodnje od 124,750.000 dinara. Ova je vrijednost izravna korist projekta odvodnjavanja. Jasno je da se maksimalni prinosi ne ostvare odmah u prvoj godini nakon ostvarenja projekta, već se oni postižu postepeno u vremenu do 5 godina nakon izvedbe odvodnje. Obično se uzimaju u analizu maksimalni prinosi nakon treće godine od završetka projekta.

Ukupna vrijednost proizvodnje predstavlja ukupan prihod projekta koji se nakon toga raspodjeljuje na troškove i akumulaciju prema našim zakonskim propisima. U ovom primjeru zbog pojednostavljenja analize prikazat će se raspodjela ukupnog prihoda s 1 ha koji je zasijan kukuruzom.

Tabela 3.

RASPODJELA UKUPNOG PRIHODA

I	UKUPNI PRIHOD (7,5 t × 15,00)	112.500
	1. Materijalni troškovi	19.616
	2. Usluge	19.945
	3. Vodni doprinos	2.175
	4. Ostali razni troškovi	2.958
	5. Amortizacija	650
II	DOHODAK	67.156
	6. Porezi i doprinosi	7.068
	7. Ostale obveze iz dohotka	7.980
	8. Stambeni doprinos	1.927
III	ČISTI DOHODAK	50.181
	9. Brutto osobni dohoci	10.181
IV	OSTATAK ČISTOG DOHOTKA	40.000

5.3.2. Troškovi

Ukupni prihod raspoređuje se na troškove proizvodnje koje čine stavke od 1 do 5 ,uključujući i amortizaciju, iako nije potrošena, već samo transformirana iz jednog novčanog oblika u drugi. Vodni doprinos plaća se za održavanje kanalske mreže i crpnih stanica te za povrat anuiteta za izgradnju ovih objekata.

Troškovima poslovanja pripadaju troškovi od 6 do 9, a ostatak čistog dohotka, koji je zapravo akumulacija projekta, služi zajedno s akumulacijom za povrat anuiteta.

Investicijski trošak, koji se ovdje pojavljuje u vidu anuiteta a u drugim analizama pojaviti će se odvojeno, iskazat će se u tekućim cijenama.

Tabela 4.

INVESTICIJSKA ULAGANJA U ODVODNJU PO 1 ha

(Cijena 1983. godine)

Opis	Iznos
1. Projektna dokumentacija	5.000
2. Ravnanje i uređenje tabli	20.000
3. Kanalska mreža	25.000
4. Crpne stanice	30.000
5. Drenaža (sa šljunkom)	90.000
6. Putna mreža	5.000
Ukupno:	175.000

U ovoj raspodjeli amortizacija je uključena u troškove, međutim, u drugim analizama bit će isključena iz njih, jer je ona samo knjigovodstveni trošak.

5.4. Upotreba koristi i troškova »s« projektom i »bez« njega

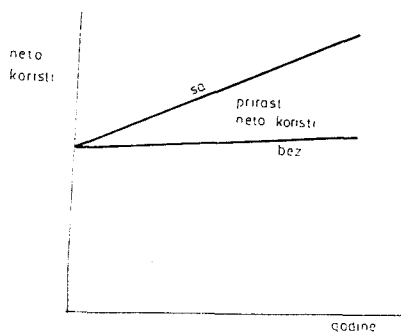
U analizi projekta moraju se utvrditi i vrednovati troškovi i dobiti koji će nastati »s« predloženim projektom i usporediti sa situacijom »bez« projekta. Razlika je povećanje netto dobiti koja proizlazi iz projekta investicije.

Ne uspoređuje se situacija »prije« i »poslije« projekta. Usporedba »prije« i »poslije« ne uzima u obzir promjene u proizvodnji do kojih bi došlo i bez projekta, te stoga navodi na pogrešan zaključak o dobitima koje se mogu propisati ulaganjima u projekt.

Do promjena u proizvodnji bez projekta može doći na dva načina. Najčešća je situacija kad proizvodnja u dotičnom području već raste, možda veoma sporo, ali će se to vjerojatno nastaviti i u toku vijeka projekta. Cilj projekta je ubrzanje rasta intenziviranjem proizvodnje. Primjerice, u ratarskoj proizvodnji očekuje se da će proizvodnja bez projekta rasti za oko 1% godišnje. Projekt je usmjeren na izgradnju otvorene kanalske mreže za gravitacijsku odvodnju, jer do sada nije bilo kvalitetne odvodnje, i na poboljšanje poljoprivredne službe. Očekuje se da će s projektom odvodnje proizvodnja u zemlji rasti po stopi od 3% godišnje. U svakom slučaju, da je analitičar jedno-

stavno usporedio proizvodnju prije i poslije projekta, on bi pogrešno pripisao sveukupno povećanje proizvodnje ulaganjima u projekt. U biti, ono što se može smatrati rezultatom ulaganja u projekt samo su 2% godišnje iznad onih 1% do kojih bi došlo i bez projekta (slika 3).

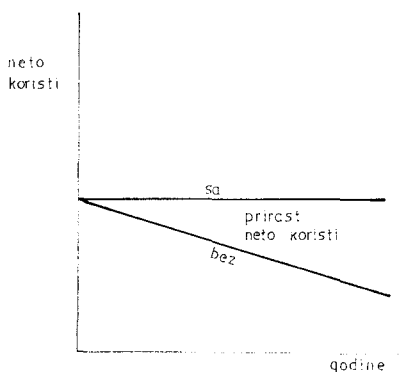
PROJEKT ODVODNJE



Slika 3

Do promjene u proizvodnji bez projekta može doći i u situaciji kad bi proizvodnja bez novih ulaganja počela opadati. Npr. na područjima koja su izložena poplavama od brdskih voda ili riječnim, ta su područja izložena eroziji i zamuljivanju. U sklopu Projekta obrane od poplave izvode se nasisipi da spriječe eroziju. Prema tome, dobit od ovog projekta nije povećana proizvodnja, nego činjenica da su njima izbjegnuti gubici poljoprivredne proizvodnje i štete na stambenim zgradama. Jednostavnom usporedbom »prije« i »poslije« ova se dobit ne bi mogla uočiti (slika 4).

OBRANA OD POPLAVA

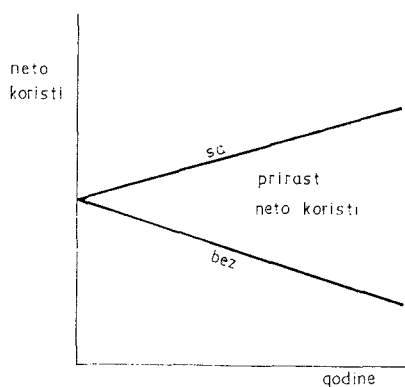


Slika 4

U pojedinim slučajevima ulaganje u cilju da se spriječe gubici proizvodnje može dovesti i do povećanja proizvodnje, pa ukupna dobit proizlazi dijelom iz spriječenog smanjenja, a dijelom iz postignutog povećanja proizvodnje. U mnogim zemljama su trajna područja izložena progresivnoj salinizaciji uslijed velikog navodnjavanja i kvašenja tla zbog procjeđivanja iz kanala za navodnjavanje.

Kapilarno djelovanje dovodi vodu na površinu gdje se ona isparava ostavljajući sol na tlu. Ako se ništa ne učini, poljoprivredna će proizvodnja opasti. Predložen je projekt da se neki kanali oblože čime bi se smanjilo procjeđivanje i omogućila bolja odvodnja između dvaju navodnjavanja. Time će se, kako se očekuje, zaustaviti salinizacija. Istodobno će projekt omogućiti korisniju upotrebu vode za navodnjavanje, koja bi se inače izgubila procjeđivanjem i uključiti komponentu koja će pomoći poljoprivrednicima da povećaju upotrebu modernih sredstava. Ova kombinacija mjera neće samo spriječiti smanjenje nego dovesti i do povećanja proizvodnje. I ovdje obična analiza »prije« i »poslije« ne bi mogla utvrditi dobit proizašlu iz toga što je izbjegnuto gubitak (slika 5).

PROJEKT OBLAGANJA KANALA



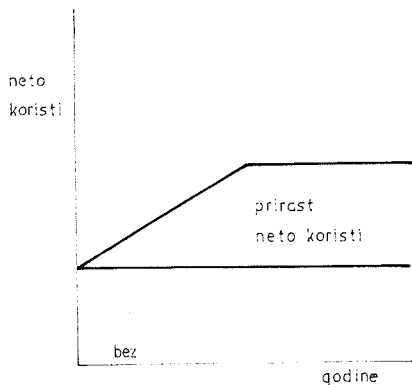
Slika 5

Naravno, ako se u projektom području ne očekuje promjena u proizvodnji bez projekta, razlika između usporedbe »prije« i »poslije« i analize »sa« i »bez« je manje važna. Kod nekih projekata mogućnosti povećanja proizvodnje bez novih ulaganja su minimalna. Npr. u projektu navodnjavanja izgrađena je mreža za navodnjavanje koja je omogućila proizvodnju druge žetve riže u sušnom razdoblju. Bez projekta većina područja korištena je za ispašu a manjim dijelom za uzgoj duhana i nekih drugih kultura uz pomoć rezidualne vlage ili malih pumpi. Nije bilo vjerojatno da bi proizvodnja mogla porasti zbog ograničenih količina raspoložive vode.

Sada se nakon realizacije projekta u sušnom razdoblju uzgaja riža. Naravno, cjelokupna vrijednost druge žetve riže ne može se smatrati kao dobit od projekta. Od te vrijednosti treba odbiti raniju vrijednost od ispaše i proizvodnje drugih usjeva.

Ulaganjima u instaliranje pumpe i izgradnju kanala može se pripisati samo razlika između tih dviju vrijednosti (slika 6).

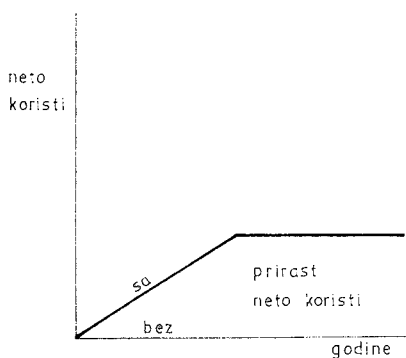
PROJEKT NAVODNJAVANJA



Slika 6

Drugi primjer da bez projekta nema promjena u proizvodnji očit je kod nekih projekata naseljavanja, gdje bez projekta ne bi bilo nikakve ekonomske koristi od dotičnog projekta. U projektu naseljavanja Alto Turi u sjeveroistočnom Brazilu naseljenici su osnivali svoje posjede krčeći šumu, sadeći visinsku rižu i stvarajući pašnjake za govedarsku proizvodnju. U vrijeme kad su naseljenici zauzimali posjede šuma se nije ekonomski iskorištavala niti se to moglo očekivati još niz godina ako projekt ne bi bio realiziran. U ovom slučaju proizvodnja bez projekta bila bi ista kao i proizvodnja prije projekta (slika 7).

PROJEKT NASELJAVANJA PODRUČJA



Slika 7

U primjeru odvodnje koji se analizira može nastati svih pet spornih prikazanih slučajeva kod utvrđivanja koristi i troškova projekta. Zbog pojednostavljenja analize uzet će se pretpostavka da je konkretni 1 ha prije odvodnje služio za ispašu, za koju su korisnici plaćali cca 650 dinara godišnje. Ovaj prihod od 650 dinara postojao je, dakle, prije projekta i on se ne može pripisati efektima projekta.

5.5. Diskontiranje budućih dobiti

Nakon utvrđivanja troškova i koristi od određenog projekta odvodnjavanja, potrebno ih je usporediti kako bi se vidjelo da li je društveno opravdano i vrijedno realizirati ga, uvažavajući pri tome rezultate koji su dobiveni vrednovanjem alternativnih investicijskih projekata.

Troškovi i koristi od projekta nastaju u različito doba u ekonomskom vijeku projekta te nisu direktno usporedivi, s obzirom na vremensku preferenciju vrijednosti novca, jer »dinar danas više vrijedi nego dinar sutra«. Dinar danas uloženi u banku porast će za $(1 + i)$ postotaka (kamatna stopa) na $(1 + i)$ dinara za godinu dana. Prema tome, jedan dinar danas jednako je $(1 + i)$ za godinu dana računajući od danas. Na osnovi ovog pristupa svatko će preferirati korist danas od iste koristi kasnije. To objašnjava postojanje i potrebu diskontne stope koja omogućuje usporedbu troškova i koristi koje nastaju u različitim vremenskim razdobljima.

Diskontna i kamatna stopa ne smiju se poistovjetiti, iako između njih postoje formalne sličnosti. Kamatna stopa predstavlja cijenu kapitala i istovjetna je profitu, a diskontna stopa je mjera onog što se gubi zbog kasnijeg primanja iznosa koji želimo svesti na dosadašnju vrijednost.

Kada bi tržište novca bilo savršeno, tada bi investitor raspolagao neograničenom količinom kapitala a data diskontna i kamatna stopa identificirale bi se.

Uz pretpostavku da je diskontna stopa 10% jedan dinar dobiven nakon pete godine projekta vrijedi danas 0,6 dinara. Ukoliko je diskontna stopa veća njegova će današnja vrijednost biti još manja, tako npr. ako je diskontna stopa 20%, dinar dobiven nakon pet godina vrijedi danas 0,4 dinara.

Tabela 5.
DANAŠNJA VRIJEDNOST DINARA
UZ PRIMJENU RAZLIČITIH DISKONTNIH STOPA

Godina	Diskontna stopa		
	10	20	30
0	1,000	1,000	1,000
1	0,909	0,833	0,769
2	0,826	0,694	0,592
3	0,751	0,579	0,455
4	0,683	0,482	0,350
5	0,621	0,402	0,269

Izbor diskontne stope za vrednovanje projekta značajna je i bitna činjenica. Već na prednjem primjeru se vidi da opada sadašnja vrijednost dinara

s porastom diskontne stope, budući da je prva vrijednost inverzna funkcija druge.

Ako pretpostavimo da će nam svaki ha nakon odvodnjavanja ostvarivati akumulaciju od cca 40.000 dinara u ekonomskom vijeku projekta od 20 godina, a da je investicijsko ulaganje bilo 175.000 din/ha, pitamo, kakva će sadašnja vrijednost te dobiti biti uz primjenu različitih diskontnih stopa.

Tabela 6.

SADAŠNJA VRIJEDNOST DOBITI
INVESTICIJSKOG ULAGANJA

Diskontna stopa	Sadašnja vrijednost dobiti
10	165.560
12	123.760
15	75.360
18	39.120
20	19.200
30	— 43.360

Projekt postaje neprihvatljiv kod diskontnih stopa koje su iznad 22%, jer se nešto iznad te stope sadašnja vrijednost dobiti izjednačuje s nulom, te svaka veća diskontna stopa pokazuje negativnu vrijednost sadašnje vrijednosti dobiti. Ako se izabere diskontna stopa od 12%, sadašnja vrijednost dobiti iznosi 123.760 dinara.

Iz ovog proizlazi mogućnost manipuliranja diskontnom stopom kako bi se opravdao projekt. Korištenje niskih diskontnih stopa favorizira projekt u odnosu prema projektima gdje su one visoke i obrnuto.

Smanjenje diskontne stope kod svođenja na sadašnju vrijednost opravdano je samo onda ako društvo smatra da je sadašnja osobna potrošnja pretjerana i da se premalo investira, te da su potrebni pojačani naponi za povećanje investicijskog ulaganja.

Osnovno načelo kod određivanja diskontne stope jest da ona treba da bude oportunitetni trošak kapitala u nekoj drugoj alternativnoj upotrebi, i to kao prosječna stopa privredne grane ili zemlje. Diskontna stopa ne može biti manja od kamatne stope na investicijsko ulaganje. Ako su kamate izjednačene kod svih investicijskih ulaganja, onda je diskontna stopa mjerena oportunitetnim troškovi jednaka kamatnoj stopi.

Sa stajališta zemlje, nacionalne koristi i troškove treba diskontinuirati po društvenoj diskontnoj stopi koja se određuje na nacionalnoj razini a koja ne može biti manja od kamatne stope bez rizika (tekuća kamatna stopa državnih obveznica).

Uobičajeno je u svijetu da se kod javnih i vodoprivrednih projekata koriste niže diskontne stope od prosječnih a obrazlaže se u obvezama društva

prema budućim generacijama. Tako je npr. prosječna diskontna stopa u SAD u razdoblju 1970—1980. bila 10% a kod vodoprivrednih projekata 7%.

U našoj zemlji, imajući u vidu značenje razvoja poljoprivrede, njen prioritet u cjelokupnom privrednom razvoju (zajedno s energetikom), politikom financiranja proširene reprodukcije određene su nešto niže kamatne stope nego kod investicijskog ulaganja u drugim privrednim granama. U tom slučaju diskontna stopa ne mora odražavati oportunitetni trošak za koji se zna unaprijed da je veći, ali diskontna stopa ne može biti manja od kamatne stope kod investicijskog ulaganja u istovrsne projekte određene privredne grane.

5.6. Tok novca

Financijska analiza projekta izvršena je na bazi toka novca, što sadrži sve prihode i troškove, i daje neophodno potrebne elemente za analizu likvidnosti programa u cjelini, a bez kojih taj osnovni cilj nije moguće postići.

Analiza toka novca vrši se na osnovi podataka iz prijašnjih poglavlja uz slijedeće napomene:

- struktura investicija se vremenski raščlanjuje prema potrebama ulaganja,

- dinamika ulaganja determinirana je redoslijedom melioracijskih radova,

- nakon izvedbe investicijskih zahvata predviđa određen broj godina pokusne proizvodnje, a maksimalni prinosi se ostvaruju nakon treće godine proizvodnje,

- ukupni troškovi proizvodnje određeni su prema planiranim efektima sjetve,

- brutto osobni dohoci uzimaju se kao fiksni troškovi,

- visina anuiteta utvrđena je na osnovi kreditnih uvjeta banke.

Nakon ekonomskog vijeka projekta od 20 godina ostaje neamortizirana vrijednost investicijskih ulaganja u osnovna sredstva, i to:

- građevinski objekti crpnih stanica

- poljski putevi

- kanalska mreža.

Zbog toga je potrebno za ovaj neamortizirani dio osnovnih sredstava, u posljednjoj, 20. godini ekonomskog vijeka projekta, uvećati prihode. Međutim, kod projekta odvodnjavanja crpne stanice i kanalska mreža nisu vlasništvo investitora odvodnje (poljoprivredne organizacije udruženog rada) već samoupravne interesne zajednice određenog područja (u SR Hrvatskoj) kojoj investitor plaća naknadu za funkcioniranje i održavanje tog sustava odvodnje; zbog toga se ovaj neamortizirani dio ne može pripisati prihodima investitora.

Tok novca u našem primjeru odvodnje prikazan u tabeli 7 pokazuje ne-likvidnost projekta, odnosno investitora u prvim dvjema godinama projekta. To proizlazi iz postavke da se nakon izvođenja drenaže tla ne mogu odmah postići maksimalni prinosi, već će se oni postupno povećavati od 5,5 t/ha na 7,5 t/ha. Međutim, kod troškova proizvodnje i poslovanja pošlo se od činjenice da su oni već od prve godine maksimalno planirani i iskorišteni za ostvarivanje optimalne proizvodnje koja će se postepeno realizirati.

Tabela 7.
TOK NOVCA

(u 10³ dinara)

Stavka	Godina				
	1	2	3	4—12	13—20
I UKUPNI PRILJEV SREDSTAVA	260	90	100	112	112
1. Realizacija proizvodnje	85	90	100	112	112
2. Kredit poslovne banke	175	—	—	—	—
3. Vlastiti udjel	—	—	—	—	—
4. Ostatak vrijednosti projekta	—	—	—	—	—
II UKUPNI ODLJEV SREDSTAVA	272	97	97	97	71
1. Investicija	175	—	—	—	—
2. Troškovi proizvodnje	44	44	44	44	44
2.1. Materijalni troškovi	20	20	20	20	20
2.2. Usluge	19	19	19	19	19
2.3. Vodni doprinos	2	2	2	2	2
2.4. Ostali troškovi	3	3	3	3	3
3. Porezi i doprinosi	7	7	7	7	7
4. Ostale obveze iz dohotka	8	8	8	8	8
5. Stambeni doprinos	2	2	2	2	2
6. Brutto osobni dohoci	10	10	10	10	10
7. Anuitet	26	26	26	26	—
III TOK NOVCA	—12	—7	3	15	41

Kod ostvarenja prinosa od 6,5 t/ha u 3. godini ostavljuje se ukupni prihod koji pokriva sve troškove proizvodnje i poslovanja, osigurava povrat anuiteta i ostvaruje akumulaciju.

Nakon 4. godine do kraja otplate kredita u 12. godini, investitor ostvaruje već znatnu akumulaciju, da bi nakon otplate kredita postigao maksimalnu planiranu likvidnoast.

5.7. Netto dobit

Metoda netto dobiti komparira godišnje netto koristi (realizacija proizvodnje) s netto troškovima (troškovima poslovanja) u toku ekonomskog vijeka projekta. U troškove poslovanja nije uključena amortizacija.

Nakon uspoređivanja koristi i troškova, od ukupne dobiti odbija se dosadašnja dobit (u našem primjeru od ispaše zemljišta), koja bi postojala i bez ovog projekta. Rezultat tog odbijanja je netto dobit iz novog investicijskog ulaganja.

Ova netto dobit ustvari predstavlja novostvorenu vrijednost investicijskog ulaganja.

Stavljanjem u odnos novostvorene vrijednosti projekta s investicijskim ulogom dobije se stopa rentabilnosti projekta.

Primjer u slučaju projekta odvodnje pokazuje da projekt ostvaruje u cijelom vijeku pozitivne iznose netto dobiti iz čega se zaključuje da je projekt rentabilan. Što je veća novostvorena vrijednost, to je rentabilnost projekta veća.

Tabela 8.
NETTO DOBIT

(u 10³ dinara)

Stavka	Godina			
	1	2	3	4—20
I UKUPNI PRIHOD	85	90	100	112
1. Realizacija proizvodnje	85	90	100	112
II UKUPNI TROŠKOVI				
2. Troškovi poslovanja	71	71	71	71
III DOBIT	14	19	29	41
3. Dobit »bez« projekta	1	1	1	1
IV NETTO DOBIT PROJEKTA	13	18	28	40

6. Ocjena projekta

6.1. Dosadašnja praksa ocjene investicijskih projekata

Opća strategija razvoja naše zemlje nakon drugog svjetskog rata bila je usmjerena na brzu izgradnju industrije, te su i investicije bile usmjerene u tom pravcu.

Investicijska politika imala je kratkoročni karakter s obzirom na to da se vezivala uz rješavanje problema pojedinih faza razvoja. U tom kontekstu prisutan je nesklad između dugoročnih programskih orijentacija i fazne godišnje realizacije planova.

Složena problematika razvoja s obzirom na nisku bazu i neminovnost transformacije privredne strukture, stavljala je još veći naglasak na analizu svih investicijskih ulaganja s obzirom na njihov doprinos privrednom razvoju zemlje. Međutim, pitanjima ocjene efikasnosti investicijskih ulaganja pridavala se veoma mala pažnja, a posebno se to odnosi na problematiku pojedinačnih ocjena investicijskih objekata.

U dosadašnjoj praksi efekti investiranja analiziraju se uglavnom u retrospektivi. Uglavnom, rasprave se vode o optimalnoj veličini investicija iz nacionalnog dohotka, o odnosu rasta osnovnih sredstava i prirasta društvenog proizvoda, o stopi rasta osnovnih sredstava, o kretanju kapitalnih koeficijenata itd.

Kod dosadašnjih ocjena investicijskih projekata prevladava parcijalnost i statičnost u pristupu. Parcijalnost pristupa odražava se u djelomičnoj ocjeni pojedinih dijelova projekta, a vrlo rijetko projekta u cjelini. Zatim, zahtjev za ocjenu investicijskih projekata javlja se kad se vidi da je projekt promašen, a utrošena su znatna društvena sredstva.

Kriteriji za utvrđivanje efikasnosti investicija kod ocjene investicijskih projekata polazili su od pokazatelja uspješnosti poslovanja, najčešće od slijedećih:

- proizvodnosti,
- ekonomičnosti,
- rentabilnosti.

Statičnost pristupa ocjeni investicijskih projekata kod ovih pokazatelja su u izboru godine poslije realizacije projekta od »n« mogućih godina u toku ekonomskog vijeka projekta. Postavlja se, naime, pitanje u kojoj mjeri je odabrana godina stvarni reprezentant cijelog ekonomskog vijeka projekta, jer statistička metoda izbora te godine ne postoji. Praktično, javlja se subjektivna mogućnost kod izbora te godine, pa se ona obično izabere kao najpovoljnija godina, a do te godine projekt često i prestane postojati.

Također, statičnost je prisutna kod izračunavanja uspješnosti poslovanja, jer ne vodi računa o vremenskoj preferenciji vrijednosti kapitala (dinar danas nije i dinar sutra, već 1 — i).

Osim parcijalnosti i statičnosti, dosadašnji način ocjene efikasnosti investicijskih projekata ima i slijedeće nedostatke:

- ne uzima u obzir vremenske preferencije novca i kamata kao kategorije koja opredjeljuje sklonost štednji ili potrošnji,
- ne uzima u obzir mogućnost alternativne upotrebe resursa investitora,
- zanemaruje analizu likvidnosti projekta kroz njegov vijek trajanja,
- zanemaruje društvene troškove i koristi od projekta,
- zanemarivanjem vremenske komponente čini analizu izbora tehnologije dosta nesigurnom,
- ograničava mogućnost analize rizika i nesigurnosti.

Iako je ove metode ocjene investicijskih ulaganja svijet napustio prije 20—30 godina, u nas zakonodavac isključivo propisuje samo njih.

6.2. Suvremeni pristup ocjeni investicijskih projekata

Noviji pristup formulaciji i ocjeni efikasnosti investicijskih projekata temelje se na spoznaji da je investiranje proces u kome se vrijeme trošenja kapitala i ostalih resursa i vrijeme dobivanja korisnih efekata razlikuju.

Naime, investirati znači uložiti proizvodne resurse sada, a dobiti korisne efekte tek u budućnosti.

Prisustvo vremenske komponente u određivanju pojma investicije determinira njene bitne karakteristike. To je prije svega postojanje vremenskog razdoblja ili vijeka trajanja investicije, u kojem izaziva određene troškove, ali i daje korisne učinke. Da bi se mogli međusobno uspoređivati ovi efekti i troškovi koji se pojavljuju u raznim vremenskim razdobljima, potrebno ih je svesti na vrijednost jednog jedinog vremenskog razdoblja — baznog razdoblja.

Daljnja karakteristika investicija je nesigurnost koja je povezana s predviđanjima u budućnosti. Što su predviđanja dalja u budućnosti, nesigurnost je sve veća, a budući da je vijek investicija vrlo često dug, to će svaka predviđanja na području investicijske politike trpjeti od nesigurnosti.

Suvremeno koncipirane metode analize efikasnosti investicijskog projekta kao podloge za donošenje investicijskih odluka polaze od toga da se na što efikasniji i precizniji način utvrdi stupanj efikasnosti projekta.

Da bi se efikasnost investicije što preciznije odredila, treba se pridržavati određenih načela:

- odrediti cilj investicije (smanjenje cijena koštanja, porast proizvodnje, supstitucija uvoza, eliminacija uskih grla proizvodnje) koji se omogućiti da se točno ustanove pripadajući efekti,

— utvrditi efikasnost svakog investicijskog projekta koji se nalazi u investicijskom programu,

— kod ocjenjivanja rentabilnosti projekta u obzir treba uzeti samo marginalne koristi i troškove, jer rentabilnost programa zavisi samo od njih,

— ne uzimati u obzir prije nastale troškove, jer resursi koji su upotrijebljeni u prošlosti ne mogu biti korišteni u sadašnjosti.

Ako se pri određivanju koristi i troškova postupa prema ovim načelima, ocjena će biti jasnija i preciznija.

U teoriji investicija i investicijskoj aktivnosti u praksi pojavljuje se mnogo metoda za ocjenu, odnosno donošenje investicijskih odluka. Međutim, ovdje će se prikazati samo one metode koje se najčešće upotrebljavaju, i to:

- period povrata investicije,
- sadašnja vrijednost netto dobiti,
- interna stopa rentabilnosti,
- omjer koristi i troškova,
- anuitetna metoda,
- analiza osjetljivosti.

6.2.1. Metoda povrata investicije

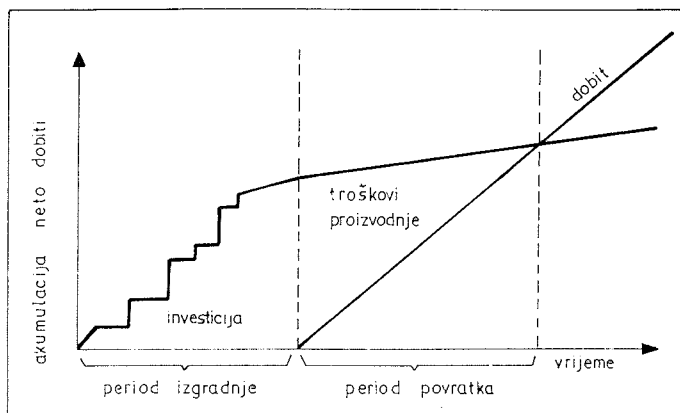
Ova metoda pokazuje koliko je godina potrebno da bi se neka investicija amortizirala. To je omjer između inicijalne investicije i godišnje netto dobiti u toku vijeka projekta (slika 8).

$$t = \frac{I}{ND} = \frac{175.000}{40.000} = 4,4 \text{ god.}$$

t = period amortizacije; I = investicija, ND = netto dobit kao razlika između godišnjih prihoda i troškova.

U našem primjeru to pokazuje da će investicija u odvodnju 1 ha tla od 175.000 dinara uz prosječnu godišnju netto dobit od 40.000 dinara amortizirati za 4,4 godina.

PERIOD POVRATA



Slika 8

Investicija će biti rentabilnija što ima kraće razdoblje amortizacije, a ako se radi o izboru između više projekata, najrentabilniji je onaj koji ima najkraće vrijeme povrata investicije, jer je manji rizik a veća likvidnost.

6.2.2. Metoda sadašnje vrijednosti netto dobiti

Metoda sadašnje vrijednosti netto dobiti ocjenjuje rentabilnost investicija prema veličini sadašnje vrijednosti tih investicijskih ulaganja. Sadašnja vrijednost investicije u nekom vremenu definirana je kao razlika svih prihoda i svih troškova u toku trajanja investicije, svedenih na određeno vrijeme.

Sušтина ove metode jest u tome da se utvrde prihodi i troškovi u cijelom vremenu trajanja investicije, a zatim određenom matematičkom tehnikom i uz primjenu diskontne stope svedu na vrijednosti bazne godine. Njihova razlika se još umanjuje za iznos investicijskog ulaganja, kao inicijalnog troška. Projekt koji pokazuje najveću sadašnju vrijednost netto dobiti je prihvatljiviji od drugih

$$S_t = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{(1+r)^i} - \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{(1+r)^i} - I = \sum_{i=1}^n \frac{P_i - T_i}{(1+r)^i} - I$$

S_t = sadašnja vrijednost netto dobiti; P_i = iznos prihoda u vremenu »i« koji treba svesti na vrijednost u vremenu »t« kad je $i = 1, 2, 3 \dots n$; T_i = iznos troškova (isto kao i P_i); i = vijek trajanja investicijskog projekta; r = diskontna stopa; I = investicijsko ulaganje.

Znači da je visina sadašnje vrijednosti netto dobiti funkcija trajanja investicije, prihoda i troškova.

Kod ove metode veoma je važan činilac primjena diskontne stope, jer ona, pored prihoda i troškova, znatno može utjecati na veličinu netto sadašnje vrijednosti.

Ovdje je upotrijebljena, u našem slučaju investicijskog ulaganja u odvodnju 1 ha tla, diskontna stopa od 15% koja je nešto niža od društvene od 20% radi prioriteta razvoja poljoprivrede u našem društvu.

Tabela 9.

SADAŠNJA VRIJEDNOST NETTO DOBITI (diskontna stopa 15%)

God.	Ukupni prihod	Ukupni troškovi	Sadašnja vrijednost		
			ukupni prihodi	ukupni troškovi	netto dobit
1	85.000	260.694	73.908	226.673	
2	90.000	85.694	68.049	64.793	
3	95.000	85.694	62.463	56.344	
4—12	100.000	85.694	313.740	268.856	
13—20	100.000	60.000	83.870	50.322	
I = 175.000 dinara			602.030	666.989	
n = 12 god.				175.000 (I)	
r = 12%				491.989	110.041
a = 25.694					
T _p = 60.000 (troškovi poslovanja)					

Sadašnja vrijednost netto dobiti od ovog investicijskog ulaganja u odvodnju 1 ha jest nakon ekonomskog vijeka 110.041 dinara, što je manje od inicijalnog ulaganja od 175.000 dinara. Razlog je, prije svega, u visokoj kamatnoj stopi od 12% za ovakvu vrstu investicijskog ulaganja i višoj diskontnoj stopi od kamatne stope.

6.2.3. Metoda interne stope rentabilnosti

Kod ove metode diskontna stopa javlja se kao nepoznanica koju računskim putem treba izračunati. Polazi se od toga da je interna stopa rentabilnosti kao nepoznata veličina, ona diskontna stopa koja izjednačuje sadašnju vrijednost netto prihoda s nabavnom vrijednošću investicijskog uloga.

Interna stopa rentabilnosti svodi razliku između sadašnje vrijednosti netto dobiti i investicija na nulu.

$$\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{(1+r)^i} - \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{(1+r)^i} = \sum_{i=1}^n \frac{P_i - T_i}{(1+r)^i}$$

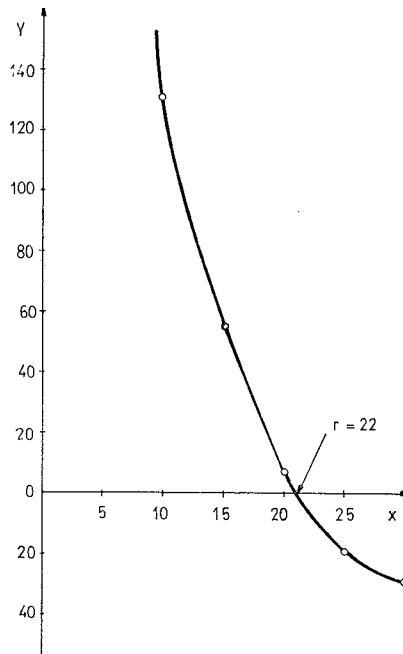
odnosno

$$\sum_{i=1}^n \frac{P_i - T_i}{(1+r)^i} = I$$

U jednadžbi je »r« nepoznanica koju treba izračunati. U nedostatku direktne metode, za rješavanje jednadžbi višeg stupnja od trećeg, primjenjuje se metoda sukcesivne aproksimacije. Postupak je da se traži ona diskontna stopa koja će izjednačiti lijevu i desnu stranu gornje jednadžbe.

Interna stopa rentabilnosti 1 ha izračunata s pomoću metode iteracije jest 22%.

INTERNA STOPA RENTABILNOSTI



Slika 9

Tabela 10.
 INTERNA STOPA RENTABILNOSTI

Diskontna stopa	Sadašnja vrijednost netto dobiti
10	130.000
15	54.000
20	7.000
25	— 19.000
30	— 29.000

Interna stopa rentabilnosti pokazuje da se sredstva uložena u odvodnju u ovom primjeru ukamaćuju po stopi od 22%. Kod te stope dobit projekta izjednačena je s ukupnim troškovima, i svaka veća kamatna stopa od ove vodila bi projekt u gubitak. S obzirom na to da je kamatna stopa od 12% znatno niža, to pokazuje da projekt odvodnje ostvaruje znatnu akumulaciju.

6.2.4. Metoda omjera koristi i troškova

Kod ove metode polazi se od sadašnje vrijednosti koristi i sadašnje vrijednosti troškova, kako je to prikazano u metodi sadašnje vrijednosti netto dobiti, i, umjesto da se jedni odbijaju od drugih i da se dobije sadašnja vrijednost netto dobiti, oni se međusobno dijele.

y = sadašnja vrijednost netto dobiti u 10^3 dinara

x = stopa rentabilnosti

$$\frac{K}{T} = \frac{\text{sadašnja vrijednost koristi}}{\text{sadašnja vrijednost troškova}}$$

Ako je suma diskontinuiranih koristi veća od troškova, projekt je povoljan za realizaciju, odnosno što je veći omjer od 1, to je projekt prihvatljiviji. U praksi kod ocjene vodoprivrednih projekata i za međusobnu usporedbu istovrsnih projekata (uz istu diskontnu stopu), ova metoda se veoma primjenjuje u mnogim zemljama.

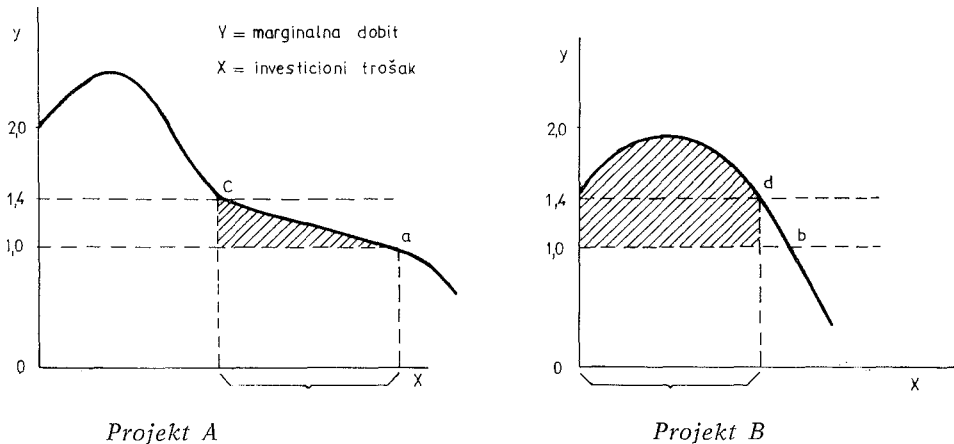
Posebno se ova metoda upotrebljava u situacijama kada su sredstva dvostupna za realizaciju projekta s najvećom stopom dobiti po jedinici troška.

Idealno, s ekonomske točke gledišta, u takvoj situaciji bi svaki projekt trebalo da se planira tako da uključuje samo one segmente čiji je omjer dobiti i troška veći npr. od 1,4. Ako je npr. izbor ograničen na projekte A i B i da financijski uvjeti sprečavaju potpuni razvoj potencijala obaju projekata.

Ako se projekt A razvija do točke a, gdje je marginalna dobit 1,0, tada se projekt B ne može razvijati zbog financijskog ograničenja. Stvarni oportunitetni trošak marginalnih troškova na A ne mjeri se vlastitim stvarnim

troškovima nego oportunitetnim troškovima koji su unaprijed predodređeni na projektu za B. Ukupna razlika dobiti i troškova može se povećati prebacivanjem sredstava od A na B. To se može vidjeti na slici 10, na zatamnjenju dijelu projekta B, koji nadmašuje gubitak pretopljen na projekt A. Pri optimumu mora biti ispunjen ovaj uvjet: postignuta marginalna dobit mora biti jednaka za sve projekte. Na grafikonu to je u točkama c i d, uz zadano ograničenje kapitala.

ODNOS MARGINALNOG I OPORTUNITETNOG TROŠKA



Slika 10

U našem primjeru projekta navodnjavanja omjer koristi i troškova iznosi 1,22 (uz diskontnu stopu 15%).

$$\frac{K}{T} = \frac{602.030}{491.989} = 1,22$$

6.2.5. Metoda anuiteta

Ocjena rentabilnosti investicije na bazi metode anuiteta temelji se na pretvaranju svih troškova i prihoda u jednake, usporedive godišnje dijelove. Ako su godišnji anuiteti prihoda veći od troškova, program se može ocijeniti rentabilnim.

Ako se pretpostavi da će se na kraju ekonomskog vijeka investicije pojaviti neki koristan likvidacijski ostatak, i njega treba uzeti u obzir. To se čini da se procijenjena nominalna vrijednost korisnog ostatka svede s pomoću diskontnog faktora

$$\frac{1}{(1 + r)^n}$$

na sadašnju vrijednost, a zatim dobiven iznos množi jediničnim anuitetnim faktorom, te se time razgraničava na svaku godinu vijeka trajanja. S obzirom na to da je riječ o korisnom ostatku, to se godišnji anuitet troškova umanjuje za pripadajući iznos ostatka.

Pri tome se koristi ovaj matematički postupak

$$R_g = \frac{R}{(1+r)^n} \cdot \frac{(1+r)^n \cdot r}{(1+r)^n - 1} = \frac{R \cdot r}{(1+r)^n - 1}$$

Na osnovi ovog ostatka mogu se odrediti ukupni godišnja troškovi (anuiteti):

$$T_g = 1 \frac{(1+r)^n \cdot r}{(1+r)^n - 1} + T_i \frac{R \cdot r}{(1+r)^n - 1}$$

U prvoj fazi svi operativni troškovi diskontinuiraju se na sadašnju vrijednost, a zatim i oni množe s anuitetnim faktorom i pretvaraju u jednake godišnje iznose, odnosno

$$T_g = \frac{(1+r)^n \cdot r}{(1+r)^n - 1} + T_o \frac{(1+r)^n \cdot r}{(1+r)^n - 1} - \frac{R \cdot r}{(1+r)^n - 1},$$

odnosno

$$T_o = \frac{T_1}{1+r} + \frac{T_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{T_n}{(1+r)^n}$$

Kod investicija u ovom projektu anuiteti troškova se izračunavaju:

$$T_g = I \cdot V^n p + T_o \cdot V^n p = 78.570$$

a to znači da, uzimajući u obzir investicijsko ulaganje i tekuće troškove svedene na nulti period, ukupni godišnji troškovi iznose 78.570,00 dinara u svakoj godini vijeka trajanja investicijskog ulaganja.

Analogno tome izračunavaju se prosječni prihodi

$$P_g = P_o \cdot V^n p = 96.144$$

Odbijanjem $P_g - T_g$ dobivaju se pozitivne godišnje razlike od 17.574,00 dinara.

6.2.6. Analiza osjetljivosti

Društveno-ekonomski razvoj nije moguće postići bez investicija, jer su one prva i osnovna pretpostavka bržeg napretka. Kod toga investicijama se smatra onaj dio društvenog proizvoda koji je namijenjen trajnijem zadovoljavanju privrednih i općih društvenih potreba. Istodobno investicije su i činilac potrošnje, jer su usko povezane s trošenjem materijalnih dobara.

Osnovni cilj investicija je, da se sadašnjim trošenjem proizvodnih dobara ostvare u budućnosti što veće koristi ili efekti. Kod poljoprivrednih projekata to znači investicijsku aktivnost, trošenje sredstava kapitala, da bi se stvorila proizvodna imovina, od koje se očekuje u određenom vremenskom razdoblju, realizacija dohotka.

Realizacije poljoprivrednih projekata su skupi i dosta dugotrajni procesi, a povećane se koristi u pravilu javljaju tokom niza godina, ponegdje čak 50 godina i više.

S obzirom na to da svako predviđanje budućnosti sadrži uvijek dosta nesigurnosti, stoga se ne mogu sa sigurnošću pretpostaviti sve buduće relevantne veličine. Zbog toga je i ocjena investicijskog projekta podložna također nesigurnosti.

Da bi se nesigurnost svela na najmanju moguću mjeru, pri ocjeni projekta treba uzeti u obzir samo one »kritične parametre projekta«, koji mogu

bitno utjecati na smanjenje ukupnih primitaka ili na povećanje ukupnih izdataka projekta.

Kritični parametri projekta mogu se podijeliti u dvije skupine: na unutrašnje i vanjske parametre.

Unutrašnjim kritičnim parametrima investicijskog projekta obično pripadaju:

- kretanje visine investicijskog ulaganja u stvarnosti,
- godišnji opseg proizvodnje,
- povećanje godišnjih troškova proizvodnje,
- točnost procjene vijeka trajanja projekta.

U vanjske kritične parametre ubrajaju se obično oni koji proizlaze iz politike ekonomskog razvoja, odnosno politike i strukture cijena, carinske politike, i koji ovise o tehničkom napretku itd.

Pri analizi osjetljivosti u ovom projektu za kritične parametre uzeti su oni koji mogu bitno utjecati na smanjenje prihoda i povećanje troškova, a to su:

- prinosi
- troškovi proizvodnje.

U prvom slučaju pretpostavlja se da će prinosi biti manji za 10%, i da će se uslijed toga smanjiti realizacija i ukupni prihod.

Kod smanjivanja prinosa za 10% stopa rentabilnosti iznosi 13,8%. U drugom slučaju pretpostavlja se da će porasti troškovi proizvodnje za 10%, odnosno analogno tome će porasti ukupni troškovi i smanjit će se dohodak.

Ako se troškovi proizvodnje povećaju za 10%, interna stopa rentabilnosti je 15,9%.

Polazeći od spomenutih predvidivih pretpostavki da su moguće promjene:

- kod prinosa — smanjenje do 10%
- kod troškova proizvodnje — povećanje do 10%

dolazi se do zaključka da promjene ovih parametara neće dovesti u pitanje likvidnost projekta, iako bi utjecale na smanjenje njegove akumulativnosti.

Od ovih dvaju kritičkih parametara, projekt je znatno osjetljiviji na smanjenje prinosa nego na povećanje troškova proizvodnje. Stoga će najkritičniji parametar biti zapravo ostvarenje planiranog obujma i efikasnosti proizvodnje. Rizik je ovim umanjen a sigurnost projekta povećana.

7. ZAKLJUČAK

Svako kvalitetnije planiranje traži dobar projekt, a svaki dobar projekt zahtijeva zdravo planiranje. To bi trebala biti polazna premisa politike razvoja i investicijske politike. Konceptija ovog izlaganja usmjerena je u tom cilju, te se polazi od značaja i zadataka poljoprivrede u privrednom razvoju, planiranja i izbora poljoprivrednih projekata. Možda će se nekome činiti da je previše naglašeno planiranje vodoprivrednih projekata, ali za autora to je osnovni dio u sustavu društvene reprodukcije, o čijoj kvaliteti ovise sve daljnje aktivnosti.

U procesu planiranja izrađuju se planovi za vodne i zemljišne resurse u kojima se koncentriraju određene komponente višenamjenskih ciljeva što se žele postići u slivu, regiji ili širem nacionalnom području. Planovi za korištenje vodnih i zemljišnih resursa, postizavanjem višenamjenskih ciljeva,

usmjereni su na poboljšanje životnih uvjeta putem unapređenja nacionalnog ekonomskog razvoja, regionalnog razvoja i životne okoline.

U tom procesu potrebno je planirati razvojne programe koji će u najvećoj mogućoj mjeri pridonijeti postizavanju tih ciljeva. Iz razvojnih programa treba odrediti prioritetne projekte koji će biti podvrgnuti procesu vrednovanja i ocjeni efikasnosti.

Pri postupku vrednovanja treba unaprijed imati određene kriterije koji će omogućiti: da se vrednovanje usmjeri na ocjenu cilja investicije određenog projekta, da se međusobno vrednuju i kompariraju istovrsni projekti, da se odrede minimalni marginalni odnosi koristi i troškova ili minimalna interna stopa rentabilnosti (povrata), diskontna stopa itd. Ovi kriteriji pridonijet će da ocjena bude jasnija i preciznija i da tako prezentirana posluži donosiocima odluke za lakši izbor između alternativnih projekata.

Postoje mnoge metode za analizu i ocjenu projekata, ali jedino dobre su one s pomoću kojih projekt ostvaruje planirane ciljeve. Metode vrednovanja ne mogu i ne smiju poboljšati loš projekt, već je njihov osnovni cilj da spriječe realizaciju loših projekata a dobre da osvijetle toliko koliko je potrebno da se iz sfere želja i potreba mogu pretvoriti u stvarnost.

LITERATURA

1. *Bebek, D., Kokanović, Đ.*: Financiranje uređenja zemljišta, referat u Zborniku radova: Aktualna pitanja poljoprivrede i sela u socijalističkom razvoju Jugoslavije, Jugoslavenski centar za teoriju i praksu samoupravnja »Edvard Kardelj«, Beograd, 1983.
2. *Bebek, D., Kokanović, Đ.*: Prostorno planiranje i poljoprivredni projekti, referat na jugoslavenskom simpoziju o zaštiti zemljišta, Jugoslavensko društvo za zaštitu zemljišta, Varaždin, 12—14. listopada 1983.
3. *Bebek, D., Škegro, R.*: Komasacija zemljišta u SR Hrvatskoj, Teorijske rasprave: Misao i revolucionarno delo E. Kardelja — Aktualna pitanja poljoprivrede i sela u socijalističkom razvoju Jugoslavije, Prilozi 1, Osijek, 27. i 28. siječnja 1983.
4. *Bebek, D.*: Projekt Črnc polje i Lonjsko polje, OVP Zagreb, 1981. i 1983.
5. *Bruce, Colin*: Social Cost-Benefit Analysis, Washington, World Bank, 1976.
6. *Douglas, L. J., Lee, R. R.*: Economics of water Resources Planning, TMH Edition, New York, 1971.
7. *Eckstein, O.*: Water Resource Development: The Economics of Project Evaluation, Cambridge, Mass. Harvard University Press, 1978.
8. *Gittner, J. P.*: Economic Analysis of Agricultural Projects IBRD, Washintog 1981.
9. *Krutilla, J. V. and Eckstein, O.*: Multiple Purpose River Development, Baltimor, The J. Hopkins Press, 1975.
10. *Udruženje banka Jugoslavije, Beograd* — Ekonomski institut Zagreb, Priručnik za planiranje investicijskih projekata, Privredna štampa, Beograd, 1981.
11. *Government, U. S.*: Policies, Standard and Procedures in The Formulation, Evaluation, and Review of Plans for use and Development of Water and Related Land Resources, Washington, Senate document N° 97, 87th Congress, 1962.
12. *Water Resources Council* — The Nation's Water Resources Washington, U SGPO, 1968.

SADRŽAJ

	Strana
Predgovor	5
<i>Dr Branko Đaković, dipl inž. agr.</i>	
PEDOLOŠKE PODLOGE	7
1. Uvod	7
2. Osnovne karakteristike tla	10
3. Fizikalna svojstva mineralnih tala	19
4. Voda u tlu	25
5. Zrak u tlu	29
6. Temperatura tla	31
7. Plodnost tla i proizvodnost	32
8. Klasifikacija tala	33
Literatura	37
<i>Dr Ognjen Bonacci, sveuč. prof.</i>	
METEOROLOŠKE I HIDROLOŠKE PODLOGE	39
1. Uvod	39
2. Meteorološke podloge	39
2.1. Sunčevo zračenje	40
2.2. Tlak zraka	42
2.3. Temperatura	45
2.4. Vlažnost zraka	47
2.5. Vjetar	50
2.6. Isparivanje	54
2.7. Padavine i oborine	59
3. Suša i klimatski indeksi vlažnosti	87
4. Hidrometrija	90
4.1. Mjerenja razine vode	91
4.2. Mjerenje dubine vode	94
4.3. Mjerenje brzine vode	96
4.4. Mjerenje protoka vode	100
4.4.1. Odnos vodostaj — protok	106
4.5. Hidrometrija podzemnih vođa	108
4.6. Obrada sakupljenih podataka i mreža stanica	109
5. Otjecanje	111
5.1. Racionalna metoda	112
5.2. Metoda izokrona	115
5.3. Metoda jediničnog hidrograma	120
Literatura	128

Dr Frane Tomić, sveuč. prof.

VAŽNOST ODNOSA BILJKA — TLO — VODA U HIDROTEHNIČKIM MELIORACIJAMA	131
1. Biljka	131
1.1. Osnovna građa i veličina korijenova sustava	132
2. Tlo	134
2.1. Osnovna fizikalna svojstva tla	134
3. Voda	138
3.1. Vrste vode u tlu	139
3.2. Osnova energetskog odnosa tla i vode	140
3.3. Vodne konstante tla	141
3.4. Gibanje vode u tlu	143
4. Interval vlažnosti tla pri uzgoju poljoprivrednih kultura	149
4.1. Rezultati vlastitih istraživanja	150
5. Kritički period biljke za vodu	154
6. Umjesto zaključka	154
Literatura	155

Dr Zorko Kos, sveuč. prof.

POTREBE VODE KULTURNOG BILJA	157
1. Uvod	157
2. Neke osnovne definicije	157
3. Određivanje evapotranspiracije	159
3.1. Izravna mjerenja evapotranspiracije (ET)	159
3.1.1. Metoda lizimetara	159
3.1.2. Mjerenja na poljskim parcelama	160
3.1.3. Mjerenje vlage tla	160
3.2. Procjena ET iz klimatskih podataka	160
3.2.1. Penmannova metoda	161
3.2.2. Metoda Turca	162
3.2.3. Metoda Thornthwaite	162
3.2.4. Metoda Blaney-Cridde	167
Literatura	184

Dr Frane Tomić, sveuč. prof.

PREKOMJERNA VLAŽNOST I PROIZVODNA SPOSOBNOST TLA	185
1. Suvišna površinska voda	185
2. Suvišna podpovršinska voda	185
2.1. Stagnirajuća voda	186
2.2. Podzemna voda	186
2.2.1. Problemi i koristi koje nastaju prisustvom podzemne vode	187
2.2.2. Korištenje podzemne vode u poljoprivredi i njezina kvaliteta	190
2.2.3. Reguliranje suvišne vode u svrhu optimalizacije biljne proizvodnje	190
Literatura	195

Dr Ivan Marinčić, dipl. inž. agr.

SLANOST TLA	197
— Vrste soli u tlu	198
— Utjecaj slanosti na rast usjeva i tlo	198
— Klasifikacija zaslanjenih tala	199
— Kratki prikaz melioracije zaslanjenih tala	202
— Literatura	204

Branko Vujašinić, dipl. inž. geod.

TOPOGRAFSKE I GEODETSKE PODLOGE	205
1. Uvod	205
2. Definicija i podjela planova i karata	205
3. Mjerilo, sadržaj i točnost karata	207
4. Podjela na listove i koordinatni sustav	210
5. Topografski znakovi na planovima i kartama	217
6. Geodetski radovi u odvodnjavanju tala	234
6.1. Geodetski radovi za projekte odvodnjavanja	234
6.2. Geodetski radovi iskolčenja i prenašanja projekata na teren	238
Literatura	240

Dr Zorko Kos, sveuč. prof. i Mr Josip Marušić, dipl. grad. inž.

PROJEKTIRANJE, PROPISI I STANDARDI KOD ODVODNJAVANJA	241
1. Planiranje i projektiranje odvodnih sustava	241
1.1. Osnovni principi izrade tehničke dokumentacije	241
1.2. Zakonska regulativa o izradi tehničke dokumentacije	243
1.3. Podaci o tezama, prijedlozima i uputstvima za Pravilnik o projektiranju hidromelioracijskih i vodoprivrednih objekata	245
1.3.1. Uvod	245
1.3.2. Izrada idejnog projekta	246
1.3.3. Podloge idejnog projekta	247
1.3.4. Sastavni dijelovi idejnog projekta	249
1.3.5. Prijedlog za donošenje odgovarajućih propisa, standarda za poslove odvodnjavanja	253
2. Reguliranje vodnog režima u tlu mjerama podzemne odvodnje	254
2.1. Osnovne napomene	254
2.2. Područje primjene DIN-1185 (Deutsche ingebieure norme)	255
2.2.1. DIN-1185 — prvi dio	256
2.2.2. DIN-1185 — drugi dio	260
2.3. Prijedlog mjera i radova za izradu domaćih propisa i normi iz područja podzemne odvodnje	278
Literatura	260

Mr Drago Bebek, dipl. econ.

EKONOMSKO VREDNOVANJE HIDROMELIORACIJSKIH PROJEKATA	281
1. Uvod	281
2. Planiranje vodoprivrednih objekata	282
3. Poljoprivredni projekti	283
3.2. Projekti odvodnje	284
4. Izbor projekata	284
5. Analiza efekata projekata	258
5.1. Pristup	285
5.2. Vijek projekta	287
5.3. Utvrđivanje koristi i troškova	289
5.4. Upotreba koristi i troškova »s« projektom i »bez« njega	291
5.5. Diskontiranje budućih dobiti	295
5.6. Tok novca	297
5.7. Netto dobit	298
6. Ocjena projekta	299
6.1. Dosadašnja praksa ocjene investicijskih projekata	299
6.2. Suvremeni pristup ocjeni investicijskih projekata	300
7. Zaključak	307
Literatura	308