

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Sveučilišta u Rijeci

HRVATSKO DRUŠTVO ZA ODVODNJAVANJE I NAVODNJAVANJE

PRIRUČNIK

ZA HIDROTEHNIČKE MELIORACIJE

II. KOLO

NAVODNJAVANJE

KNJIGA 2

POTREBE VODE ZA NAVODNJAVANJE

Rijeka 1993.

Sadržaj ove knjige predstavlja rezultat druge godine istraživanja u okviru znanstvenog projekta "Znanstvene osnove za razvoj navodnjavanja u Hrvatskoj", financiranog od Ministarstva znanosti, tehnologije i informatike Republike Hrvatske. Izdavanje rezultata istraživanja u vidu priručnika u ograničenom broju primjeraka omogućeno je novčanom potporom Javnog vodoprivrednog poduzeća "Hrvatska vodoprivreda".

Rijeka, siječanj 1993.

Ministarstvo znanosti tehnologije i informatike
Republike Hrvatske

Projekt: Znanstvene osnove za razvoj navodnjavanja u Hrvatskoj

Šifra: 2-11-059

Voditelj projekta: Prof.dr. Zorko Kos

Istraživači:

Prof. dr. Zorko Kos

Prof. dr. Ognjen Bonacci

Mr. Vladimir Prosen

Prof. dr. Frane Tomić

Prof. dr. Stjepan Mađar

Mr. Davor Romić

Mr. Ivica Plišić

Dragutin Gereš, dipl.inž.građ.

Ostali suradnici:

Prof. dr. Željko Vidaček

Katalogizacija u publikaciji - CIP Naučna biblioteka Rijeka UDK 626.87(03) PRIRUČNIK za hidrotehničke melioracije /glavni i odgovorni urednik Zorko Kos/. - Rijeka: Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 1993.- sv.;24cm Kolo 2: Knj. 2 Potrebe vode za navodnjavanje /autori Zorko Kos.../et al./.- 1993.-IV, 95, 16. str: ilustr, graf. prikazi Bibliografija: str. 44, 55, 76, 88, 155, 172.
--

Rezultati istraživanja na temi tokom 1992.

GRAĐEVINSKI FAKULTET
Sveučilišta u Rijeci

PRIRUČNIK
ZA HIDROTEHNIČKE MELIORACIJE

II. KOLO

NAVODNJAVANJE

KNJIGA 2

POTREBE VODE ZA NAVODNJAVANJE

Autori:

Prof. dr. Zorko Kos

Prof. dr. Ognjen Bonacci

Prof. dr. Frane Tomić

Prof. dr. Željko Vidaček

Mr. Davor Romić

Mr. Ivica Plišić

Dragutin Gereš, dipl.inž.grad.

Rijeka 1993.

GRAĐEVINSKI FAKULTET
Sveučilišta u Rijeci

Za izdavača:

Prof. dr. Zorko KOS

Uredništvo:

Prof. dr. Zorko KOS

Prof. dr. Juraj PLENKOVIĆ

Prof. dr. Edvard PAVLOVEC

Prof. dr. Ante MATKOVIĆ

Doc. dr. Ivica KOŽAR

Glavni i odgovorni urednik:

Prof. dr. Zorko KOS

Recenzenti:

Prof. dr. Ivo MARINČIĆ

Prof. dr. Božidar EKL

Lektor:

Mr. Istočnica BABIĆ

Kategorizacija:

Znanstvena monografija

Adresa uredništva: Rijeka, Viktora Cara Emina 5

Naklada: 200 primjeraka

Kompjuterski slog: *STUDIO ARS* - Rijeka

Tisak: *Tipograf* Rijeka

PREDGOVOR

Nastavljajući višegodišnju tradiciju izdavanja Priručnika za hidrotehničke melioracije tla, ove se godine objavljuje osmi svezak, odnosno drugi po redu u drugom kolu koje se odnosi na navodnjavanje.

Kao i prošle godine, ova je knjiga pripremljena u okviru projekta "Znanstvene osnove za razvoj navodnjavanja u Hrvatskoj" koji financira Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike Republike Hrvatske. Istraživačka radna grupa koja je pripremala rukopis nije se bitno izmijenila u odnosu na prošlu godinu: popunjena je samo s istraživačem Gereš Dragutinom, dipl.inž.građ. Objavljeni radovi izrađeni su tijekom 1992. god.

Tema je ovogodišnjeg izdanja kao što je bilo već ranije najavljeno, određivanje potrebe kulturnog bilja za vodom. Koristeći se najnovijom literaturom i rezultatima istraživanja, u radu su obrađene više-manje sve neposredne i posredne metode za određivanje toga tako značajnog parametra u navodnjavanju, a koje se danas u svijetu najviše upotrebljavaju. Za svaku značajniju metodu ili korak u redosljedu proračuna izrađen je i odgovarajući jednostavan računski primjer koristeći se fizičkim podlogama za neku našu stanicu ili područje, kako bi se čitalac lakše snašao u primjeni obrađenih metoda za naše prilike.*

Grada je tematski izložena u šest poglavlja uz Predgovor. U poglavlju 2, u kojemu su obrađene direktne metode za određivanje potreba bilja za vodom, dat je nešto jači naglasak na prikaz klimatskih značajki tla, jer je u standardnim udžbenicima to područje najčešće zanemareno, a bitno je u prosudbi pojedinih parametara. U poglavlju 6, u kojemu je obrađen način određivanja potreba za vodom za pojedine projekte - natapne sustave, nešto je opširnije obrađen od moguće potrebe dio koji se odnosi na utvrđivanje efektivne oborine. To je učinjeno radi toga da čitalac stekne uvid u širinu i značaj te problematike, kojoj se do nedavno u nas nije pridavala gotovo nikakva pažnja.

Kod obrade gradiva i prikaza primjene pojedinih metoda nastojalo se na jednostavan način izložiti osnovni materijal koji je potreban inženjeru-projektantu, odnosno inženjeru u pogonu u svakodnevnom radu. Za slučaj da je potrebno rješavati specifične zadatke koji nisu u dovoljnoj mjeri obrađeni u knjizi, čitalac se upućuje na odnosnu literaturu koja je navedena uz pojedina poglavlja.

Rijeka, siječnja 1993. godine

Prof. dr. Zorko Ćos

* Kod građe gdje nije bilo moguće dati primjer iz domaće prakse, to je učinjeno iz svjetske literature.

SADRŽAJ:

Prof. dr. ZORKO KOS

1.	UVOD.....	1
1.1.	OPĆENITO.....	1
1.2.	VAŽNIJE DEFINICIJE.....	3
1.3.	RASPOLOŽIVE METODE PRORAČUNA ET.....	5
1.4.	IZBOR RAČUNSKE METODE.....	7
1.5.	POSTUPAK PRORAČUNA.....	9

Prof. dr. ZORKO KOS

2.	DIREKTNE METODE ODREĐIVANJA EVAPOTRANSPIRACIJE...12	
2.1.	OSNOVE KLIME TLA.....	12
2.1.1.	Sunčevo zračenje i grijanje.....	12
2.1.2.	Grijanje zračenjem i rasipanje topline.....	13
2.2.	KONTROLA KLIME POVRŠINE TLA.....	17
2.2.1.	Sezonska kolebanja klime površinskog sloja tla.....	17
2.2.2.	Utjecaj na temperaturu tla.....	17
2.3.	MJERENJE POTROŠNJE VODE LIZIMETRIMA.....	19
2.4.	MJERENJA NA POLJSKIM PARCELAMA.....	21
2.5.	MJERENJE VLAGE TLA.....	21
2.6.	OSTALE METODE.....	22

DRAGUTIN GEREŠ, dipl. inž. građ.

3.1.	PENMANOVA METODA.....	23
3.1.1.	Originalna Penmanova metoda.....	23
3.1.2.	Računski primjer.....	26
3.1.3.	Modificirana Penmanova metoda, verzija FAO-24.....	30
3.1.3.1.	Tlak vodene pare ($e_a - e_d$).....	31

3.1.3.2.	Funkcija vjetra $f(u)$	32
3.1.3.3.	Faktor ponderacije $(1-W)$	33
3.1.3.4.	Faktor ponderacije (W)	33
3.1.3.5.	Neto radijacija (R_n)	36
3.1.3.6.	Korekcijski faktor (c)	40
3.1.3.7.	Računski primjer proračuna ET_o	42
3.1.3.8.	Nomogram za približno rješenje ET_o	42
DODATAK.....		43
LITERATURA		44

DRAGUTIN GEREŠ, dipl. inž. građ.

3.2.	TURCOVA METODA ODREĐIVANJA POTENCIJALNE EVAPOTRANSPIRACIJE	45
3.2.1.	Prva Turcova formula (1951.g.)	45
3.2.2.	Računski primjer.....	47
3.2.3.	Druga Turcova formula (1960. g.)	48
3.2.4.	Računski primjer.....	49
LITERATURA		55

Prof. dr. FRANE TOMIĆ
Prof. dr. ŽELJKO VIDAČEK
Mr. DAVOR ROMIĆ

3.3.	METODA THORNTHWAITEA.....	57
3.4.	METODA BLANEY - CRIDDLE.....	63
UMJESTO ZAKLJUČKA		74
UPOTRIJEBLJENA LITERATURA		76

Prof. dr. OGNJEN BONACCI

3.5.	METODA SUNČANOG ZRAČENJA (RADIJACIJE)	77
3.6.	METODA ISPARITELJA.....	83
	LITERATURA	88

Prof. dr. ZORKO KOS
Prof. dr. FRANE TOMIĆ
Mr. IVICA PLIŠIĆ

4.	IZBOR KOEFICIJENTA USJEVA K_c	89
4.1.	UTJECAJ OPSKRBE VODOM NA PRIRODE.....	89
4.2.	ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA USJEVA K_c	92
4.2.1.	Određivanje koeficijenta usjeva k_c na bazi trave	94

Prof. dr. ZORKO KOS

5.	ANALIZA UTJECAJNIH FAKTORA NA ET USJEVA	103
5.1.	OPĆENITO	103
5.2.	KLIMA	103
5.2.1.	Promjene u vremenu.....	103
5.2.2.	Promjena s udaljenošću.....	108
5.2.3.	Promjene vezane za veličinu natapnog područja	109
5.2.4.	Promjene vezane za nadmorsku visinu	111
5.3.	VODA U TLU	112
5.3.1.	Raspoloživa voda u tlu	112
5.3.2.	Podzemna voda.....	116
5.3.3.	Voda i prirodi	117
5.4.	NAČIN NATAPANJA	119
5.5.	AGROTEHNIČKE MJERE	120

6.	PRORAČUN POTREBA ZA VODOM	121
6.1.	OPĆENITO	121
6.2.	HIDROLOŠKA BILANCA NATAPNOG PODRUČJA	122
6.3.	ANALIZA OBORINA	123
6.4.	EFEKTIVNE OBORINE	127
6.4.1.	Razvojni put određivanja efektivnih oborina	127
6.4.2.	Čimbenici koji utječu na efektivnu oborinu	136
6.4.3.	Mjerenje efektivnih oborina	137
6.4.4.	Empirijske metode za određivanje efektivne oborine	137
6.4.4.1.	Promjena vlage tla	139
6.4.4.2.	Dnevno bilanciranje vlage tla	139
6.4.4.3.	Metoda integrirajućeg mjerenja	140
6.4.4.4.	Metoda Ramdasa	141
6.4.4.5.	Metoda lizimetra	142
6.4.4.6.	Metoda triju posuda	143
6.4.4.7.	Primjena empirijskih formula	144
6.4.4.8.	Primjena empiričkih iskustava	148
6.5.	DOPRINOS PODZEMNE VODE, Z_e	150
6.6.	POVRŠINSKO I PODZEMNO DOTJECANJE I OTJECANJE, D, O	150
6.7.	DUBOKO PONIRANJE, P_o	150
6.8.	PROMJENA USKLADIŠTENE VODE U TLU, ΔV	151
7.	NETO POTREBA ZA VODOM, N_n	151
7.1.	MJESEČNE I SEZONSKЕ POTREBE ZA VODOM	151
7.2.	VRŠNE POTREBE ZA VODOM	152
8.	BRUTO POTREBA ZA VODOM, N_b	152
8.1.	EFIKASNOST NATAPANJA, E_n	152
8.2.	OSTALE POTREBE ZA VODOM	155

BIBLIOGRAFIJA (ZA POGLAVLJA 1,2,4,5 I 6).....	155
---	-----

Prof. dr. ŽELJKO VIDAČEK

Prof. dr. FRANE TOMIĆ

Mr. DAVOR ROMIĆ

DODATAK

BILANCA VODE U TLU

1. UVOD.....	157
2. BILANCA VODE U TLU PO METODI THORNTHWAITEA.....	157
3. BILANCA VODE U TLU PO METODI PALMERA.....	163
ZAKLJUČAK.....	171
LITERATURA	172

1. UVOD

1.1. OPĆENITO

Određivanje potreba pojedinih usjeva za vodom tijekom vegetacijske sezone predstavlja jednu od osnovnih podloga za svrsishodno i pravilno planiranje sustava za navodnjavanje te ekonomski opravdano projektiranje pojedinih elemenata mreže. Od prvih pokušaja, koji potječu još od Lawesa iz 1848. godine, pa sve do danas, provedena su mnogobrojna istraživanja da bi se kvalitetno i na što jednostavniji način utvrdile te veličine. Napori stručnjaka u tom pravcu bili su posebno intezivni zadnjih 50-tak godina, od kada potječu sve metode koje se danas primjenjuju. Računa se da je u tom razdoblju širom svijeta objavljeno oko stotinjak metoda, od kojih se njih 30-tak pojavljuje u stručnoj specijaliziranoj literaturi, od čega se njih 5-6 najviše upotrebljava.

Još su Briggs i Shantz (1913-1916.) ukazali na uzajamnu vezu između transpiracije bilja i meteoroloških činilaca, kao što su vlažnost zraka, isparavanje sa slobodne vodne površine i temperature zraka. Kasnije (1944.) Manzoni i Puppo utvrdili su da transpiracija ponajviše ovisi o globalnoj radijaciji, a da su klimatski činioci, kao što su temperatura, relativna vlaga zraka i vjetar, ovisnosti drugoga reda. Razlike u dobivenim rezultatima ponajviše potječu od toga što su prvi istraživali u uvjetima aridne klime male zemljopisne širine (Akson, Kolorado), a drugi subhumidne klime velike zemljopisne širine (Conegliano Veneto).

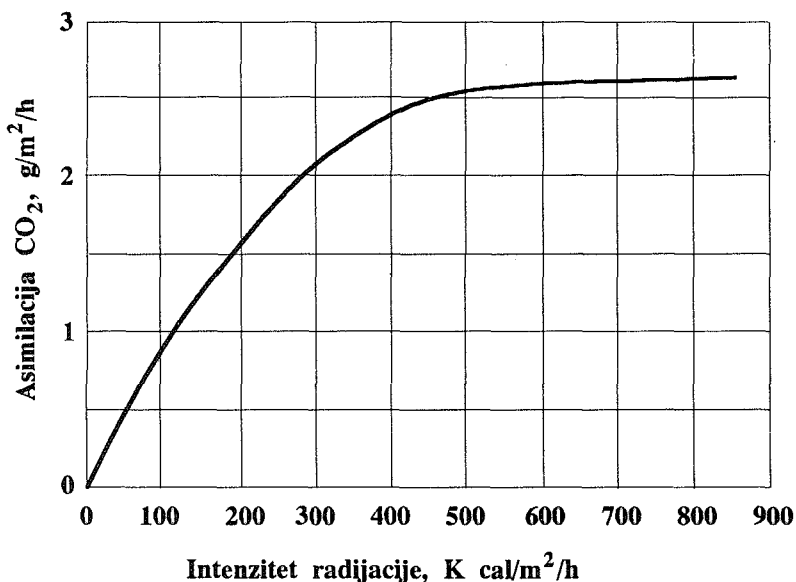
Istraživanja Briggsa i Shantza i Manzoni - Puppa, kao i velikog broja drugih znanstvenika u razdoblju 1910-1940., dovela su do toga da su se u praksu uvele metode jedinične potrošnje vode, tj. potrebe pojedinih usjeva za vodom radi proizvodnje jedinice suhe tvari (tzv. transpiracijski koeficijenti). Ova je metoda suvereno vladala u praksi sve do negdje 40-tih godina ovog stoljeća, kada se redom pojavljuju nove koje su i danas u upotrebi i o kojima će kasnije biti više riječi. Neki karakteristični podaci ovih istraživanja navedeni su u tablici 1-1. Ti podaci imaju više teorijsko značenje i nisu prikladni za praktičnu primjenu zbog velike disperzije rezultata, pa su proračuni na tim osnovama već odavno napušteni. Osnovne zamjerke tom pristupu mogu se sažeti u sljedećem:

a) Proizvodnja suhe tvari ovisi o asimilaciji CO_2 koja nije direktno (linearno) proporcionalna s transpiracijom. Pratolongo i još neki drugi autori dokazali su da dok transpiracija raste uglavnom proporcionalno (linearno)

Jedinična potrošnja vode u litrama za proizvodnju 1 kg suhe tvari

tablica 1-1

Usjev	Jedinična potrošnja vode		
	Briggs-Shantz SAD	Manzoni-Puppo Italija	G.Z. Ventskevich Rusija
djetelina	750	500	500-700
duhan (Kentucky)	-	345	-
ječam	520	375	500-600
konoplja	-	300	600-800
krumpir	500-650	290	-
kukuruz	320-420	170-235	200-400
kukuruz hibridni	250-290	-	-
lan	620-890	-	400-500
lucerna	815-920	650	700-900
pšenica	520-660	290-380	450-600
pamuk	570	-	300-600
povrće	500-750	300-350	500-800
raž	-	355	500-600
repa šećerna	275-375	245-290	-
riža	680	-	500-800
sirak	275-300	150-175	-
suncokret	-	310	400-500



Sl.1-1 Krivulja fotosinteze u ovisnosti o intezitetu radijacije (prema Nichipovovichu)

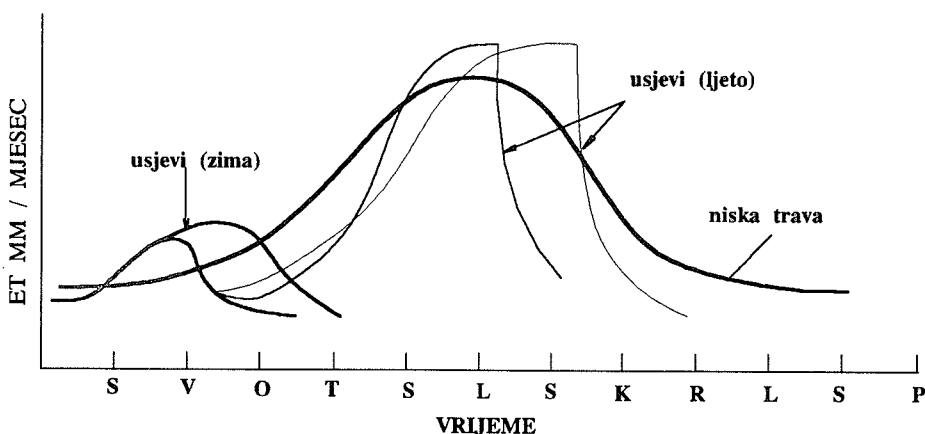
globalnoj radijaciji, dotle intezitet fotosinteze, u istim uvjetima, raste po eksponencijalnoj krivulji koja progresivno opada te dosiže maksimum mnogo ranije negoli radijacija dostigne svoju najveću vrijednost;

b) Količina hranjivih tvari koje biljka usiše nije direktno proporcionalna transpiriranoj količini vode u istom vremenskom razdoblju;

c) Pod istim klimatskim i hidrološkim uvjetima tla, potrošnja vode može značajno varirati u ovisnosti o plodnosti tla i "ponašanju" glede transpiracije pojedinih sorti istog usjeva.

1.2. VAŽNIJE DEFINICIJE

Evapotranspiracija (ET) definira se kao kombinirani proces kojim se voda s površine zemlje transferira u atmosferu. Uključuje isparavanje vode u tekućem ili krutom stanju s površine tla i bilja plus transpiraciju (disanje) vode kroz biljno tkivo izraženu kao transfer latentne topline po jedinici površine. Ona obično čini oko 99% ukupno apsorbirane količine vode. Isparavanje uglavnom ovisi o klimatskim faktorima (temperatura, sunčeva radijacija, kišnost, vlažnost zraka, vjetrovi i sl.), pedološkim značajkama (tekstura, struktura, sadržaj organske tvari i dr.), hidrološkom režimu, agrofitološkom sklopu (vrsta usjeva, obrada tla i dr.). Bitni činioci koji utječu na transpiraciju nisu još u cijelosti istraženi, ali je očigledno da značajno mjesto zauzimaju globalna radijacija, temperatura i vlaga zraka.



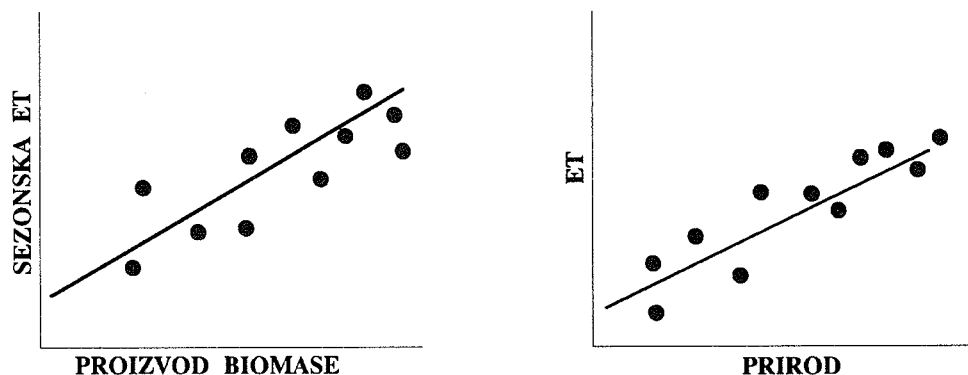
Sl.1-2 Godišnji hod evapotranspiracije (Pruit et al., 1972.)

Evapotranspiracija se obično dijeli na potencijalnu (ET_p) i realnu (ET_r). ET_r je stvarno utrošena količina vode što je utroši neki usjev izražena po jedinici površine ili stupcu vode. Za definiciju ET_p ima kontroverznih mišljenja, a shodno tome i više njih. Jedna od tih definicija kaže da je ET_p količina vode koju bi bilje utrošilo iz tla i površine biljnih organa u optimalnim uvjetima razvoja. Doorenbos i

Pruit (1977) definirali su ET_p "kao veličinu ET iz prostrane površine zasijane zelenom travom jednolične visine od 8 do 15 cm, koja aktivno raste, pokriva cijelu površinu i ima dovoljno vode". Dakako, ima još nekoliko definicija, ali se ovdje neće navoditi.

Odnos između ET nekog određenog usjeva (E_t) u određenom stadiju uzrasta i ET_p jest od velikog praktičnog značaja za projektiranje i pogon sustava za natapanje jer se procjene ET obično izvode iz ET_p . Taj nas odnos dovodi do koeficijenta usjeva (kulture) i definira se kao

$$K_c = \frac{E_t}{ET_p}$$



sl. 1-3 Sezonska evapotranspiracija u odnosu na biljnu proizvodnju

gdje K_c označuje koeficijent usjeva koji uključuje utjecaje stadija razvoja biljke, sklop i druge bitne činioce usjeva koji imaju utjecaja na ET. Ovdje treba napomenuti da se gore navedeni K faktor razlikuje od K koeficijenta upotrebljenoga u originalnoj Blaney - Criddleovoj formuli.

Evapotranspiracija za referentni usjev ET_0 jest prema Doorenbosu i Pruitu (1977.), jednaka vrijednosti potencijalne evapotranspiracije ET koja je ranije opisana.

Prema tome

$$E_t = K_c \cdot ET_p \text{ ili } E_t = K_c \cdot ET_0$$

Efektivna se oborina P_e obično znatno teže određuje negoli ET. Prema Dastoneu (1974.), to je ona količina oborine koja je iskoristiva ili raspoloživa za biljku u bilo kojoj fazi njena razvoja. Danas je u svijetu u optičaju nekoliko metoda za određivanje ove vrijednosti, o čemu će kasnije biti više riječi.

1.3. RASPOLOŽIVE METODE PRORAČUNA ET

Općenito uzevši, potreba za vodom za navodnjavanje može ovisiti, pored ostaloga, o kontroli saliniteta tla, klijavosti sjemena, rasporedu biljaka, utjecaju na klimu, zaštiti od mraza, primjeni gnojiva i kemikalija te utjecaja na temperaturu tla.

Određivanje potrebe za vodom za navodnjavanje može se provesti pomoću tri različite metode, i to: vodne bilance, energetske bilance (meteorološka metoda) i ekstrapolacijom mjerenjem isparavanja sa standardne površine. Danas je najviše raširena i u širokoj primjeni meteorološka metoda (iz klimatskih elemenata). Kao što je već napomenuto, formula za ovaj proračun ima jako mnogo. U nastavku se navode neke najznačajnije, uz prikaz osnovnih parametara i dobivenih rezultata.

Važnije formule korištene za procjenu potrebe kulturnog bilja za vodom

tablica 1-2

Autor	Parametri											Rezultati			
	Temperatura	Vlaga zraka	Termom.:suh/vlažan	Dužina dana	Insolacija/naoblaka	Zračenje	Brzina vjetra	Isparitelj	Kulture	Fakt. kulture	Fakt. pedologije		Korekc. faktor	Oborine	Barograf
Makkink, 1957, Nizoz.	x					x									ET _p trave
Blaney-Cridde, 1964, SAD	x			x						x					Ukupne potrebe mjesec. i dnevne
Jensen-Haise, 1963, SAD	x			(x)	(x)	x				x		(x)			ET _p i ET _r
Penman, 1948-56, UK	x	x		(x)	(x)	x	x			(x)					E _o ili ET _c
Bouchet, 1962, Franc.	x	x						x				x			ET _p
Halkais, 1955, SAD								x				x			ET _c
Lowry-Johnson, 1942, SAD	x											x			ET polja
Thornthwaite, 1955, SAD	x			(x)								x			ET _c
Turc-Langbein, 1954, Franc	x												x		ET _o i ET _c
Sarow, SSSR	x											x			ET za opt. proizv.
Haude, 1952, Njemačka			x	(x)			(x)					x			ET _c
Skvortsov, 1950, SSSR			x									x			ET _c
Blaney-Morin, 1942, SAD	x	x		x						x					ET _c mjesecni
Prescott, 1949, SAD	x	x	x									x			ET _c
Halstead, 1951, SAD	x	x	x												ET _c
Rohwer, 1931, SAD	x	x					x				x			x	ET _c
Ivanov, 1957, SSSR	x	x													ET _c optim.vlažn.
Kostjakov, SSSR	x	x										x			ET _c

u klimatskim i pedološkim prilikama sličnijim onima na kojima je primjenjujemo. To je, svakako, prvo i osnovno pravilo kojega se trebamo pridržavati, a sljedeće je već gore navedeno, a to je korekcija prema lokalnim prilikama.

1.4. IZBOR RAČUNSKE METODE

Kao što je već naglašeno ranije, prije negoli započnemo proračun ET_o , potrebno je za razmatrano područje analizirati sve raspoložive hidrološke i pedološke podloge, kao i do tada već provedena istraživanja (mjerjenja) o potrošnji vode pojedinih usjeva.

Na osnovi raspoloživih meteoroloških podataka, bira se odgovarajuća metoda proračuna evapotranspiracije za referentni usjev, ET_o . Za slučaj da se raspolože sa svim meteorološkim podacima, izabrat će se metoda u skladu sa zahtjevnom točnošću određivanja ET_o . Tako npr. Penmanova metoda i metoda radijacije daju najbolje rezultate za dekadne ili duže vrijednosti. S tim u vezi, Penmanova je metoda vrlo pouzdana i za jako kratka razdoblja (čak do 1 sat) ako je kalibracija (baždarenje) pažljivo provedena. Za kratka razdoblja, baždarenje mora biti provedeno pomoću lizimetara baziranih na vaganju. Klimatski podaci moraju uključiti sunčevu radijaciju, ako je moguće i neto radijaciju, vjetar, temperaturu zraka, tlak zraka i oborine i sve to mjereno u vremenskim intervalima koji odgovaraju zahtjevnom intervalu proračuna ET_o . Kada se provodi baždarenje vezano na lokalne prilike, treba utvrditi konzistentnu vezu između upotrijebljenoga referentnog usjeva, koeficijenta kulture i računске metode za određivanje odnosa ($R_a - R_d$). Za baždarenje Penmanove metode na dnevne vrijednosti treba slijediti upute Wrighta (1981). Ovisno o položaju isparitelja, metoda evaporimetra mogla bi doći na drugo mjesto po točnosti. Za slučaj da je isparitelj postavljen na izvrsnom mjestu i da su vjetrovi na lokaciji uglavnom slabiji, može čak zauzeti i prvo mjesto.

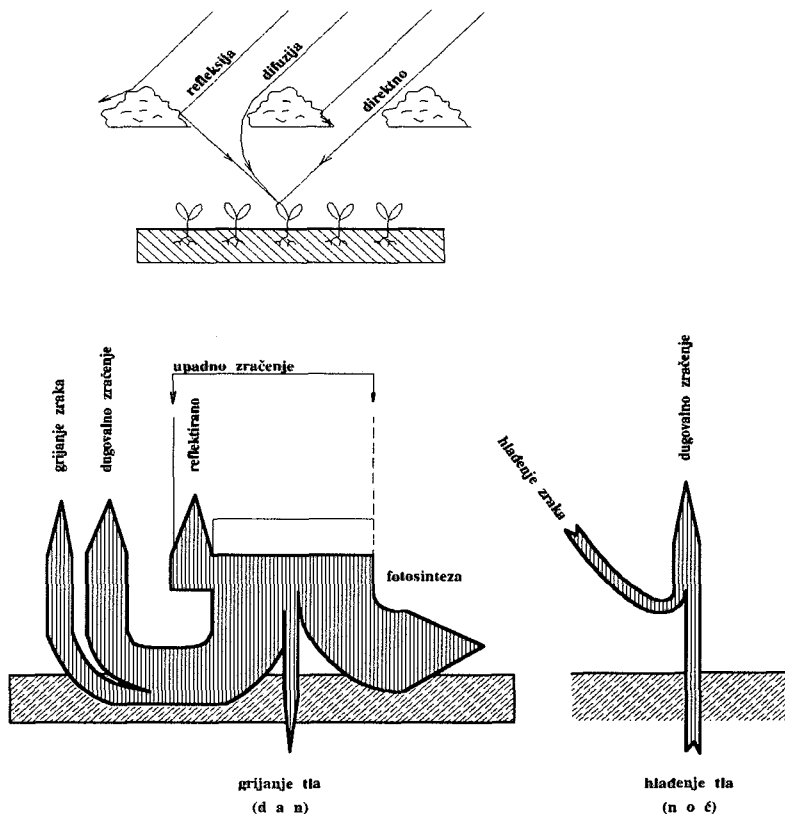
Metoda Blaney-Cridle objavljena je prvi put 1945. godine i temeljila se na mjerenjima ET na američkom Zapadu. Metoda je mnogo puta dopunjavana i mijenjana tako da je teško i nabrojati varijante. Vjerojatno je najpoznatija u SAD varijanta objavljena u izdanju USDA SCS iz 1970. U Europi je najpopularnija verzija objavljena u FAO publikaciji ID-24. Ta će varijanta biti detaljnije obrađena i u ovome radu. Ta se modifikacija bazira na podacima 20 stanica lociranih u veoma različitim klimatskim prilikama, ali je unatoč tome lokalno baždarenje poželjno. Najbolje rezultate daje za mjesečne vrijednosti i duže.

Fracunski istraživač Turc objavio je prvu verziju svoje formule još 1951. godine i bila je u prvom redu namijenjena za određivanje deficita otjecanja na osnovi vodne bilance. Druga verzija ove metode (1960.) prilagođena je proračunu ET, višestruko je testirana na lizimetarskim stanicama u Versaillesu kao i u brojnim hidrološkim bilancama širom svijeta (oko 250).

Američki istraživač Thornthwaite predložio je svoju formulu nakon što je proveo veliki broj ispitivanja u subhumidnom i semiaridnom klimatu (američki zapad), i to mjerenjem isparavanja "niske guste vegetacije", što očigledno odgovara

stanju kulturnog bilja. Baždarena je na osnovi prikupljenih podataka mjerenja isparavanja na srednjoj zemljopisnoj širini (od 29° do 43°), i to u lizimetrima površine 4 m² i dubine podzemne vode od 0,5 m.

U tablici 1-3 navode se početni minimalni podaci neophodni za upotrebu svake od formula koje će u nastavku biti obrađene te podloge koje moraju biti mjerene.



Sl. 1-4 Energetska bilanca za razdoblje svibanj-rujan 1949. za stanicu Rothamstead (Penman)

Podaci potrebni za primjenu pojedinih metoda

tablica 1-3

Metoda	Temperatura	Vlaga zraka	Vjetar	Osunčanje	Zračenje	Isparavanje	Okolina
Blaney-Criddle	*	o	o	o			o
Radijacija	*	o	o	*	(*)		o
Penman	*	*	*	*	(*)		o
Isparitelj		o	o			*	o
Turc	*			*	(*)		o
Thornthwaite	*			(*)			o

- * *mjereni podaci*
- o *procijenjeni podaci*
- (*) *poželjno, ali ne i prijeko potrebno*

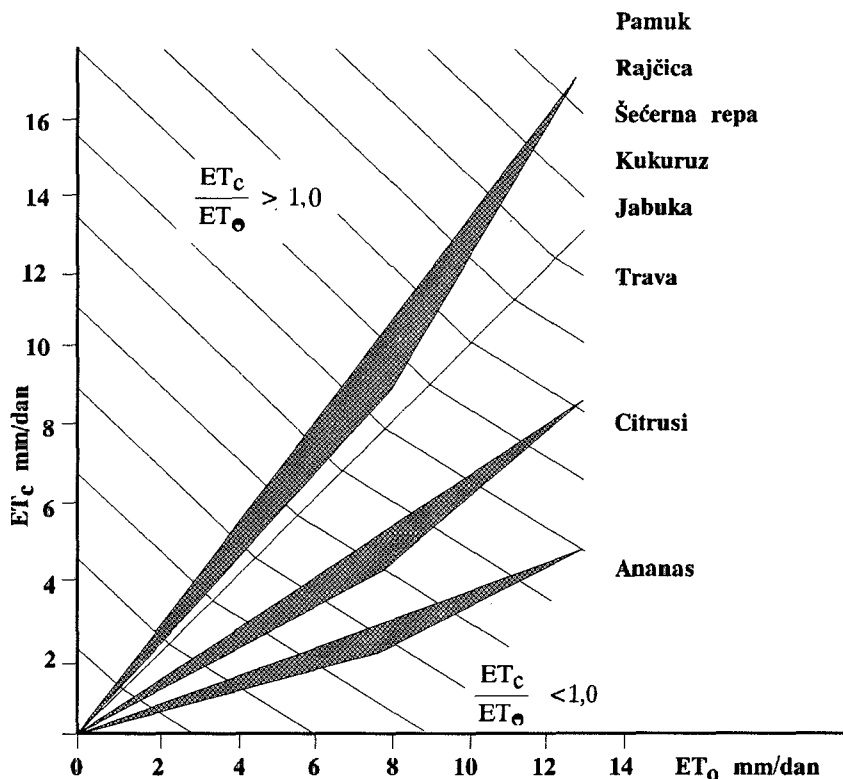
1.5. POSTUPAK PRORAČUNA

Zbog neadekvatne formulacije potencijalne ET, često se pojam ET referentnog usjeva ili ET_o zamjenjuje i brka, što je u stvari veoma blisko. Tako Doorenbos i Pruitt (1977.) definiraju ET kao "veličinu ET iz prostrane površine trave visine 8 do 15 cm, jednolične visine, koja aktivno raste uz dovoljno vode, te potpuno zasjenjuje površinu". Druga definicija ET koja je široko raspostranjena na Zapadu SAD i objavljena od Jensen et. al. (1970.) glasi: "ET_r predstavlja gornju granicu ili maksimum evapotranspiracije koja se pojavljuje u zadanim klimatskim uvjetima na polje s usjevom dobro opskrbljenim vodom i aerodinamički hrapavom površinom kao što je lucerna visine 30 do 45 cm." Stvarna ET se procjenjuje po formulama:

$$ET = K_c \cdot ET_r \text{ ili } ET = K_c \cdot ET_o \dots\dots\dots (2)$$

gdje se ET_r odnosi na referentni usjev lucerna, a ET_o na referentni usjev trava. Definicija K_c iz formule (1) jest u stvari ista kao i u formuli (2), s tom razlikom što se ET_r i ET_o dobivaju po drugoj referentnoj osnovi (lucerna ili trava).

Izbor koeficijenta usjeva K_c provodi se nakon što je izračunata ET_o za razdoblje od 30 ili 10 dana, kod čega su upotrijebljeni prosječni podaci za pojedine klimatske veličine. Potom se bira razdoblje vegetacije usjeva; vrijeme sjetve ili sadnje i ritam razvoja. Za "američki" način to se provodi iz dijagrama razvoja pojedinih usjeva, a za metodu FAO iz tablica koje se u nastavku navode.



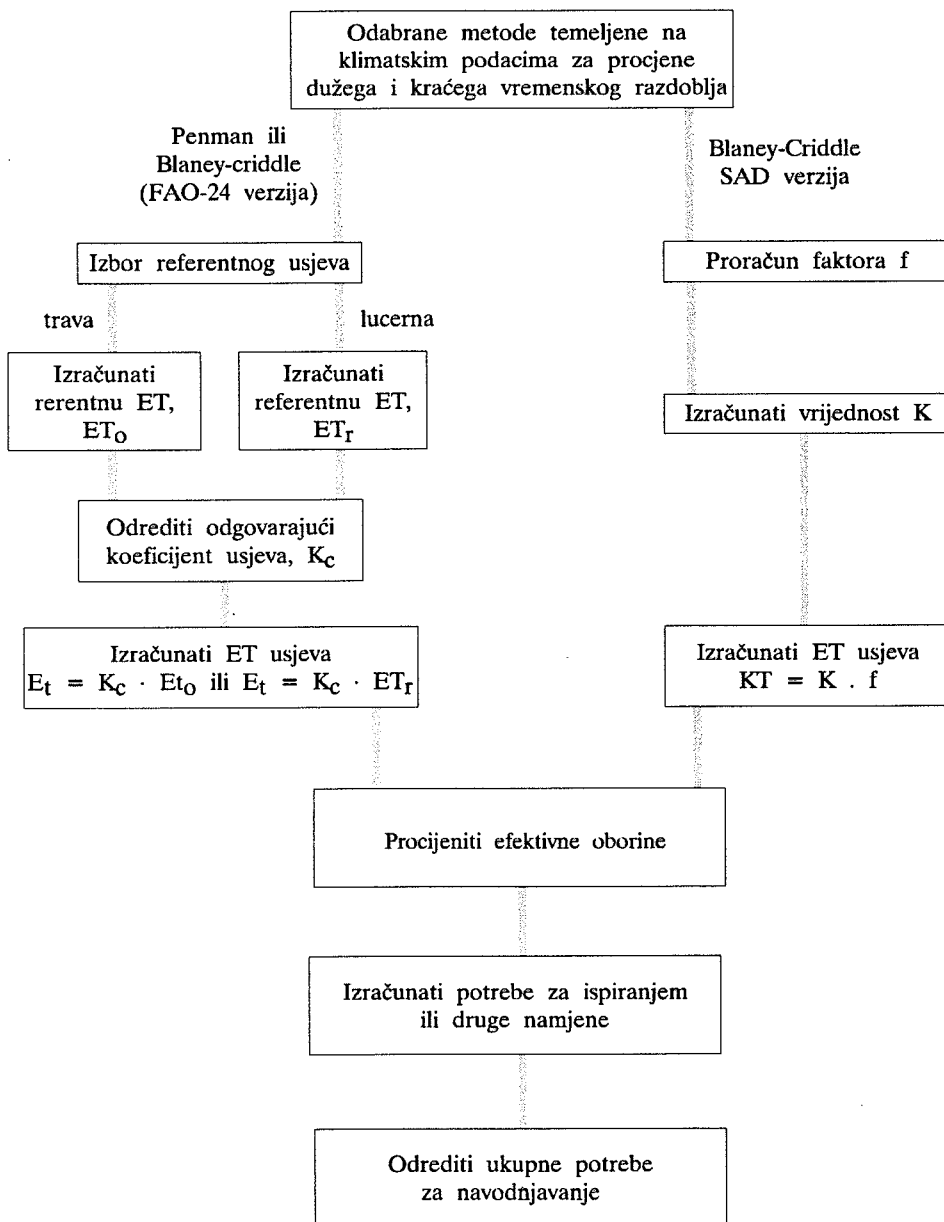
Sl.1-5 Odnos ET_c prema ET_0

Za metodu FAO to se provodi u skladu s vladajućim klimatskim faktorima, pa se za svaki slučaj izradi krivulja koeficijenta usjeva K_c . Potom se izračuna ET_c za razdoblje od 30 ili 10 dana po obrascu $ET_c = K_c \cdot ET_0$

Sljedeći je korak utvrđivanje utjecaja klime kao i njene promjenjivosti u prostoru i vremenu na veličinu ET_c .

Nakon gornje analize treba utvrditi utjecaj raspoložive količine vode u tlu na veličinu ET_c . I, konačno efekt agrotehničkih zahvata i tehnike natapanja na ET_c .

Ovdje napominjemo da u nastavku nećemo detaljnije obrađivati postupak proračuna po američkoj metodi, odnosno po metodi koja se za referentnu osnovu koristi lucernom. već FAO metodu, koja je prilagođena europskim, posebno sredozemnim prilikama, i to radi toga da kod čitaoca ne stvorimo zabunu, a da i olakšamo primjenu pojedinih formula. Čitalac koji želi detaljnije obrađivati tu materiju upućuje se na specijaliziranu literaturu koja je navedena u popisu.



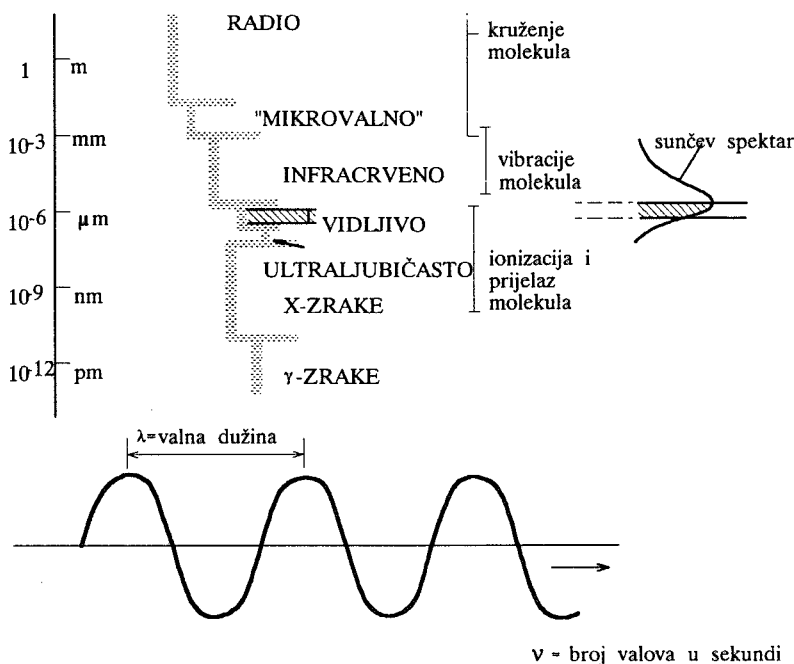
Sl.1-6 Tipičan dijagram toka za procjenu količine natapne vode iz klimatskih podataka

2. DIREKTNE METODE ODREĐIVANJA EVAPOTRANSPIRACIJE

2.1. OSNOVE KLIME TLA

2.1.1. Sunčevo zračenje i grijanje

Elektromagnetsko zračenje u obliku valova i brzih čestica (fotona) pronosi energiju kroz prostor brzinom svjetlosti. Veličina energije fotona uglavnom ovisi o njihovoj valnoj dužini, i to kroz čitav spektar radijacije.



sl.2-1 Oblici zračenja

Svi predmeti zrače, uključujući tlo, bilje i sunce. Veličina zračenja i valna dužina ovise o temperaturi predmeta koji zrači. Što je tijelo toplije to više fotona emitira po jedinici vremena i površine i to su kraće valne dužine fotona.

Kratkovalno zračenje lako prodire kroz atmosferu, ali ne i dugovalno. Dugovalno zračenje u najvećoj mjeri apsorbira vodena para i CO₂ i na taj način sprečava prolaz (učinak staklenika). Tako npr. oblačno nebo smanjuje gubitak topline, a time i opasnost od mraza u hladno doba godine.

Kod sudara zraka s nekim predmetom, mogu se dogoditi sljedeće promjene:

- a) zračenje se prenosi (transmisija) kao u slučaju prolaza svjetla kroz zrak i staklo;
- b) zračenje se raspršuje (difuzija) kao u slučaju sudara zračenja s oblacima, maglom i prašinom;
- c) zračenje može biti odbijeno (izračivanje, refleksija). Veći dio predmeta odbijaju bar dio upadnog zračenja;
- d) zračenje može biti upijeno (apsorbirano), kao u slučaju većeg broja crnih predmeta.

Kod svih vrsta navedenih promjena zračenje ne mijenja bit, već se samo pretvara u kemijsku, električnu ili toplinsku energiju. Toplinska se energija izražava kao gibanje molekula u materijalima, pa se prema tome može pojaviti samo u njima jer joj je za prijenos (transmisiju) potreban neki materijalni predmet (vodič). Nasuprot tome zračenje ne treba materiju za gibanje i prijenos: živa ga bića osjećaju i termometri registriraju tek nakon što su ga apsorbirali i pretvorili u toplinu.

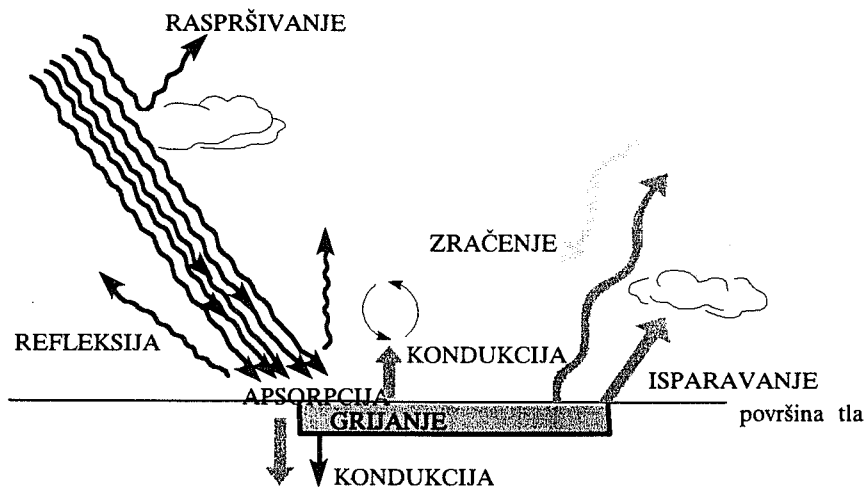
2.1.2. Grijanje zračenjem i rasipanje topline

Tlo i biljke griju se upijanjem sunčeva zračenja, a nakon toga griju zrak neposredno iznad površine. Na taj način upijanje i rasipanje energije na površini tla odražava standardni temperaturni režim na tlu i u krošnji bilja. To bitno utječe na formiranje ostalih mikroklimatskih faktora klime površinskog sloja kao što su isparavanje, transpiracija i transfer ugljičnog dioksida i kisika.

Na temelju navedenoga zaključuje se da intezitet grijanja, odnosno dostignut stupanj toplinskog stanja tla (temperatura) ovisi o toplinskom kapacitetu tla, intezitetu upijanja zračenja i količini rasipanja topline. U detaljniju obradu ovih čimbenika neće se ulaziti.

Općenito uzevši, upijanje na površini tla ovisi o količini upadne radijacije i reflektirajućih svojstava površine. Količina se zračenja smanjuje smanjenjem upadnog kuta i dužine dana, povećanjem nadmorske visine i promjenom godišnjeg doba (zimi). Razne prepreke na putu sunčevih zraka, kao što su oblaci, magla, krošnje drveća i slično, odbijaju ili upijaju zračenje, pa se time i griju. Stupanj ozračivanja površine tla postaje značajniji kod golog tla jer svijetla tla upijaju manje topline i ostaju nekoliko stupnjeva hladnija u odnosu prema tamnijima.

Rasipanje (disipacija) topline površinskog sloja tla ovisi o zračenju, isparavanju, vodljivosti prema atmosferi i u tlo. Ukupna količina rasipanja topline dobiva se zbrojem tih četiriju procesa.



(a) IZMJENA ENERGIJE PO DANU

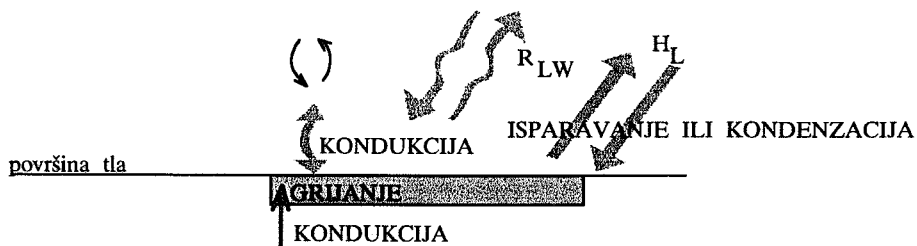
JEDNADŽBA O OČUVANJU ENERGIJE

$$R_{SW} - R_R = R_{APSORBIRANO} = H_G + H_A + H_L + R_{LW}$$

H_G = grijanje tla H_A = grijanje zraka H_L = latentna toplina

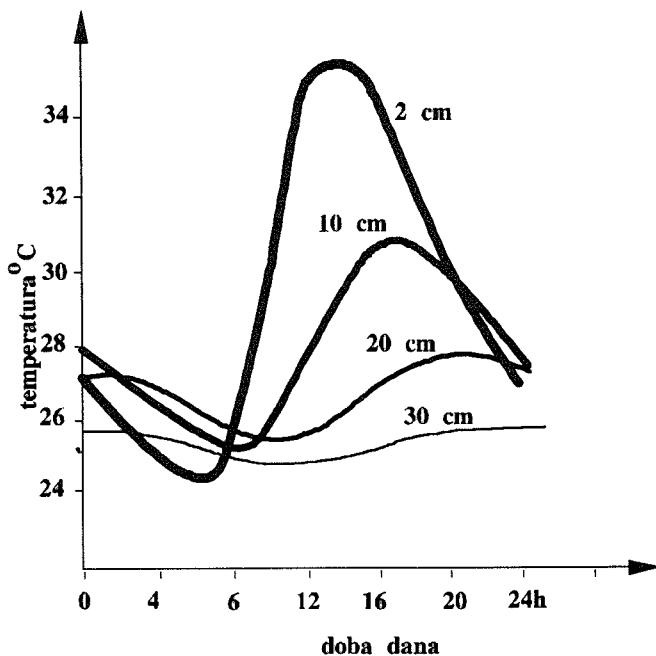
R_{SW} = upadno kratkovalno zračenje R_R = reflektirano kv zračenje

R_{LW} = dugovalno zračenje

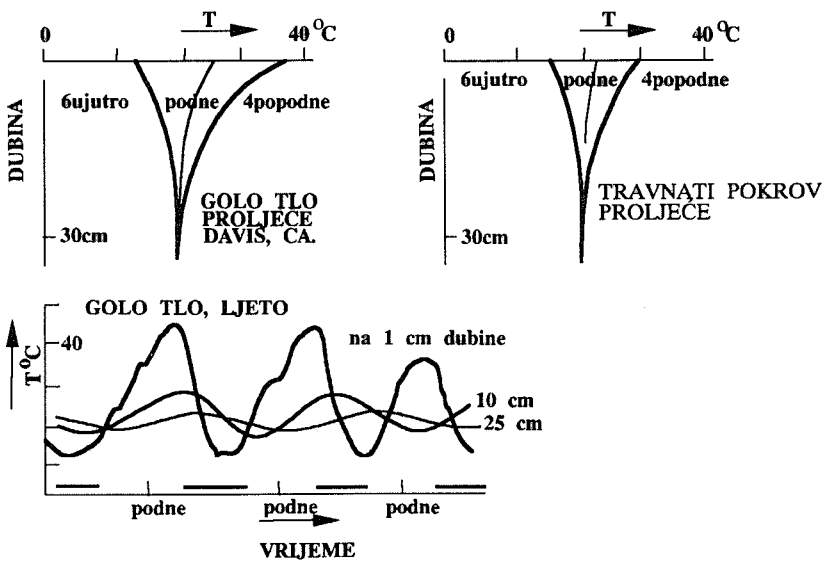


(b) IZMJENA ENERGIJE PO NOĆI

Sl.2-2 Procesi grijanja i hlađenja na površini zemlje



Sl.2-3 Dnevni hod temperature tla na različitim dubinama

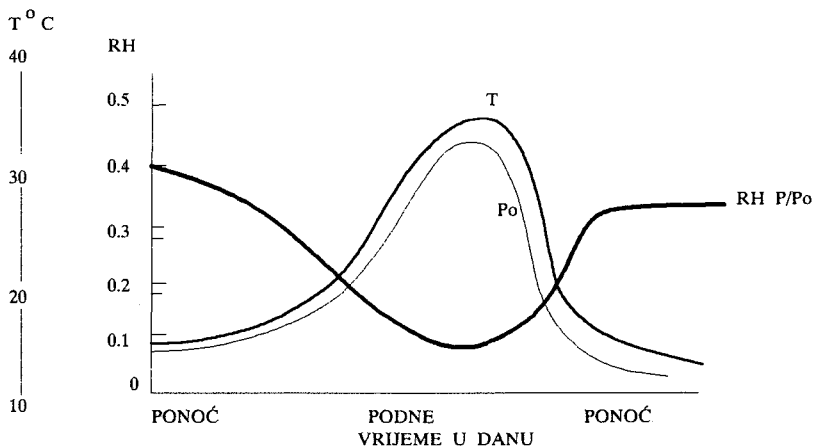


Sl.2-4 Dnevno i sezonsko kolebanje temperature površinskog sloja tla

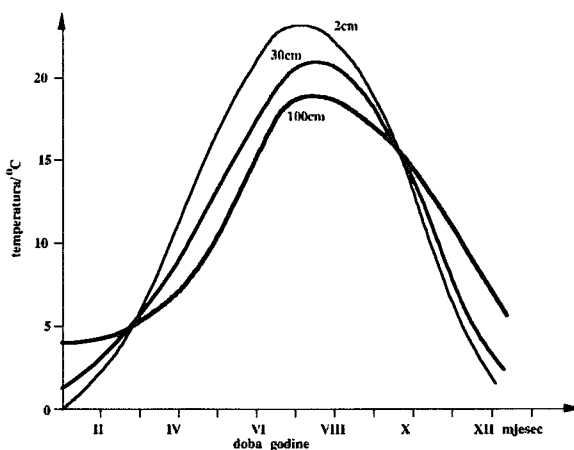
Gubitak topline zračenjem naglo se ubrzava porastom temperature tla, ali je ta veličina značajna i kod relativno niske temperature. Noću, bez upadnog zračenja, gubitak topline zračenjem obično premašuje ulaznu energiju, tako da površina tla postane bitno hladnija od one u nižim slojevima ili čak zraka iznad površine. Posljedica toga su led i mrazevi.

Isparavanjem se oduzima toplota iz tla i zraka (latentna toplota), pa se time značajno hlade biljke i vlažna površina tla.

Neposredna provodljivost topline u zračni omotač, potpomognuta turbulencijom zraka, ubrzava hlađenje tla, te je glavni čimbenik grijanja zraka na površini tla. I, konačno, toplota prolazi u donje slojeve tla kada je gornji topliji (konvekcija) i obratno. To je svakodnevni slijed smjenjivanja tih pojava.



Sl.2-5 Dnevni hod temperature i vlaga zraka



Sl.2-6 Sezonski hod temperature tla na različitim dubinama

2.2. KONTROLA KLIME POVRŠINE TLA

2.2.1. *Sezonska kolebanja klime površinskog sloja tla*

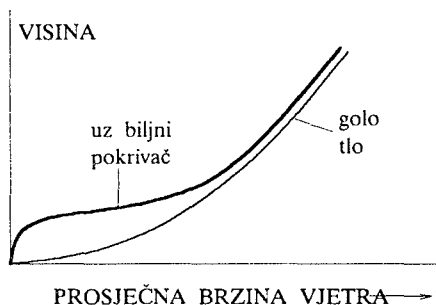
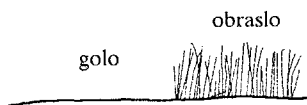
Općenito uzevši, dnevna kolebanja temperature površine tla su ovisna o sezonskom kliznom prosjeku, što je približno jednako opažanoj temperaturi na 50 do 100 cm dubine. Sezonska kolebanja ovise o količini sunčeva zračenja koje dopire do površine tla, tj. o dužini dana, upadnom kutu sunčevih zraka, naoblaci, magli i sl. S tim u vezi, najveće količine energije prima tlo, npr. u sredozemnom klimatu male zemljopisne širine, niske nadmorske visine i to ako u najdužim ljetnimdanima imamo vedro nebo. U predjelima velike zemljopisne žirine tlo istovremeno prima manje energije zbog manjeg upadnog kuta i redovito veće naoblake. Zbog istih razloga tropski predjeli imaju cjelogodišnji ravnomjerniji приход zračenja i, obično, ne suviše topla tla.

2.2.2. *Utjecaj na temperaturu tla*

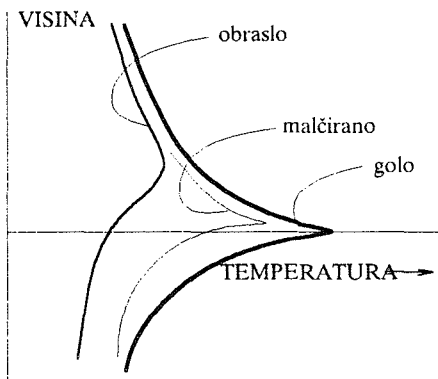
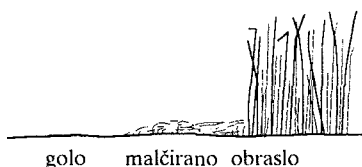
Često se javlja potreba djelotvornog utjecaja na temperaturu tla kako bi se zadovoljili određeni zahtjevi uzgajanaoga kulturnog bilja. U najvećem je broju slučajeva pažnja stručnjaka usmjerena u suprotnom pravcu, tj. prilagodbi (odabira prikladnih usjeva) klimatskom režimu tla. Naime, gotovo uvijek zahvat u promjenu klime tla nalaže velike troškove, a prilagodba gotovo nikakve. Međutim, načina za promjenu, dakako, ima više, pa se ponekad i upotrebljavaju.

Općenito je poznato da većina poljoprivrednih usjeva za djelotvoran napredak zahtijeva temperaturu tla od 15 ili 20 °C, a neke vrste i višu. S tim u vezi povišenje temperature tla pospješuje klijanje i rast bilja. Ponekad samo malo povećanje temperature tla, i to u ranijoj fazi razvoja, može donijeti poljoprivredniku značajne koristi u smislu ranijeg dospijea poljoprivrednog usjeva. Kao što je poznato, na taj se način mogu postići značajne koristi, tako da ponekad usjev koji dospijeva oko dva tjedna prije uobičajenog roka može dostići i dvostruku cijenu. Tako se npr. temperaturu tla za male vrijednosti može podići bez nekih značajnijih troškova i bez umjetnog grijanja. Za to je dovoljno tlo očistiti od korova - time omogućiti bolje grijanje sunčevim zrakama i pospijesiti nicanje i rast bilja. S druge pak strane, povoljan učinak na rast temperature tla može se postići i ako se tlo drži suho, jer se na taj način smanjuje njegov toplinski kapacitet i termička vodljivost. Malčiranjem (pokrivanjem površine tla) može se smanjiti gubitak topline i zadržati upadnu insolaciju. Sveukupni učinak se obično očituje u smanjenju temperaturnih kolebanja i sniženju prosječne temperature tla. Prozirni pokrov omogućuje prolaz sunčevih zraka a time i grijanje tla, ali istovremeno sprečava gubitak energije dugovalnim izračivanjem, isparavanjem i kondukcijom. U tu kategoriju spadaju staklenici, plastenici, plastične folije položene neposredno na tlo i klijalista (okviri).

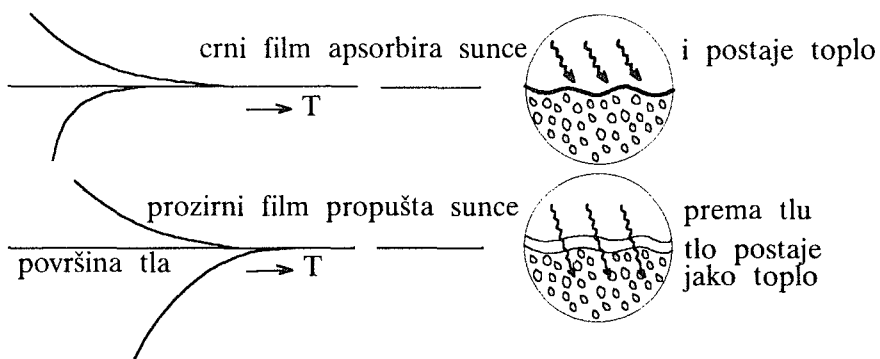
A. OVISNOST BRZINE VJETRA
O VISINI



B. OVISNOST TEMPERATURE
O VISINI



Sl.2-7 Utjecaj površinskog pokrivača na brzinu vjetra i temperaturu

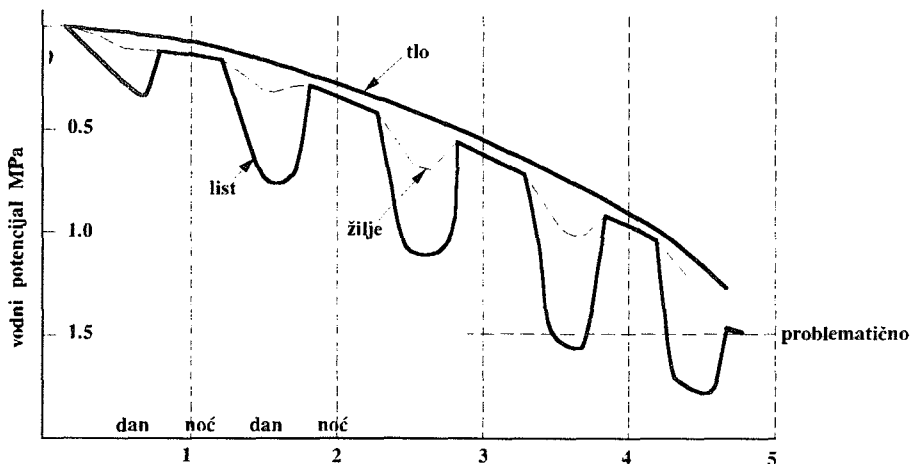


Sl.2-8 Reguliranje temperature tla vegetacijom i malčiranjem

U nekim specifičnim prilikama i za neke usjeve poželjno je smanjiti temperaturu tla. Poznato je, naime, da sve vrste kulturnog bilja usporavaju rast kad temperatura tla prelazi 40°C, a poneke osjetljivije i već iznad 30°C.

Postoji više mogućnosti da se spriječi ta neželjena pojava: malčiranje neprozirnim folijama, zasjenjivanjem, ranijom sjetvom i sl. Nadalje, isti učinak može se postići ako se tlo održava vlažnim jer se na taj način povećava toplinski kapacitet, vodljivost topline i isparavanje. U svakom slučaju, temperatura tla može se regulirati smanjivanjem biljnog pokriva.

Posebno je osjetljivo i opasno povećanje temperature tla u bilju uzgajanom u loncima i staklenicima. Povećanje temperature tla lončanica zbiva se zbog dva razloga: prvo, jer ispod lonaca nema dubokog sloja tla (obično su na "podu") pa se toplina ne može gubiti prema dubljim slojevima, i drugo, jer se grijanje tla u loncima zbiva ne samo s površine, već i sa strane, što povećava količinu energije koja se unosi u tlo lonaca. Provjetravanje (ventilacija) unutrašnjosti staklenika, obično nije djelotvorna mjera, jer rashlađuje samo zrak, ali ne i tlo.



SI2-9 Kolebanje vlage tla i bilja u lončanicama

Ima, međutim, veći broj mjera koje se u takvim prilikama mogu uspješno primijeniti, npr.: zasjenjivanje krova staklenika, zasjenjivanje kontejnera, ličenje u bijelu boju podova i strana staklenika kako bi se povećalo kratkovalno izračivanje; zbijenost lonaca, povećanje obujma lonaca, svakodnevno vlaženje, itd.

2.3. MJERENJE POTROŠNJE VODE LIZIMETRIMA

Najpoznatija i ujedno najraširenija metoda neposrednog određivanja potrošnje vode bilja jest pomoću lizimetara. Sastoji se u izdvajanju unutar

poljoprivredne parcele manje površine tla, obično veličine 2x2 m po jedinici, na kojoj se sagrade betonske ili metalne posude za uzgoj poljoprivrednih usjeva u "poljskim" uvjetima. Jedinice imaju odgovarajuće uređaje (vidi sliku) za dovod i mjerenje natapne vode (ako je potrebno), odvod i mjerenje drenirane vode, a stanica je opremljena i odgovarajućom agrometeorološkom stanicom, posebno što se tiče prihoda vode od oborina.

Utvrđivanje utroška vode od strane bilja (ET) provodi se po jednostavnoj jednadžbi vodne bilance, odnosno:

$$ET = P + Q - D \pm V$$

gdje je:

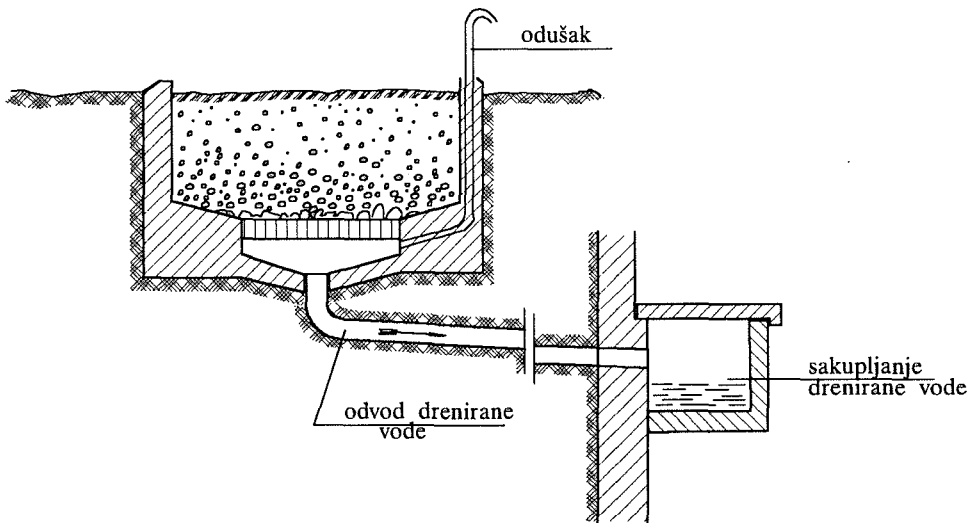
ET - evapotranspiracija uzgajanog bilja

P - приход vode od strane oborina

Q - dodatak vode natapanjem

D - odvod drenirane vode

V - promjena sadržaja vode u tlu



Sl.2-10 Tipični presjek lizimetra

Točnost tako provedenog načina mjerenja ovisi u prvome redu o uvjetima pod kojima je provedeno. Naime, teško je u izdvojenom elementu tla (pa makar se radilo o nekoliko kubičnih metara) u potpunosti osigurati prirodne uvjete okoline koji imaju utjecaja na rast i razvoj, a ponajviše utrošak vode, posebno što se tiče različitih gubitaka. Zato nije ni čudo što se kod nekih lizimetarskih stanica pojavljuje i "koeficijent lizimetra", što znači korekcija utrošene vode u odnosu na

stvarne uvjete rasta u prirodnom ambijentu. Zato kod primjene ove metode treba strogo voditi računa da se poduzme sve kako bi uvjeti uzgoja u lizimetrima bili u cijelosti "istovjetni" prirodnim uvjetima.

Lizimetara po konstrukciji i opremi ima veći broj tipova. Što se materijala tiče, najčešće su izgrađeni iz betonskih, a ponekad i limenih stijenki s odgovarajućom opremom i infrastrukturom. Rijetko se grade kao pojedinačne građevine, već u baterijama od više jedinica, najčešće međusobno povezanih.

U posljednje se vrijeme opremaju sofisticiranom elektroničkom opremom za kontinuirano praćenje utroška vode tako da se stanje može pratiti praktički iz minute u minutu.

U svijetu ima veći broj veoma dobro opremljenih lizimetarskih stanica, obično u sklopu nekih poznatih znanstvenih, znanstveno-nastavnih institucija ili odjeljenja ministarstva poljoprivrede. Na tim se stanicama testiraju različiti obrasci za utrošak vode pojedinih usjeva kao i ostalih mikroklimatskih elemenata. Kao poznatiji centri istraživanja mogu se navesti oni u Versaillesu, zatim u Rimu, Twin Fallsu (SAD), Davisu (također SAD) i drugi.

2.4. MJERENJA NA POLJSKIM PARCELAMA

Prva mjerenja utroška vode na poljskim parcelama, i to za 14 usjeva, objavio je I.A. Widstoe već 1902-1911. Izraelsen i Hansen (1962.) navode da su vrijednosti mjerene na eksperimentalnim poljskim parcelama pouzdanije i točnije od vrijednosti dobivenih na lizimetrima, jer su u cijelosti sačuvani prirodni uvjeti. U tom je slučaju osnovni problem koji treba adekvatno riješiti, kako izabrati takav položaj pokusne plohe da se može besprijekorno kontrolirati ulaz vode iz oborina (otjecanje) i onemogućiti dotjecanje podzemne vode. S obzirom na izvjesne poteškoće oko izbora adekvatnih pokusnih ploha i osiguranja svrsishodnog praćenja svih parametara vodne bilance te na vrijeme trajanja i cijenu pokusa, ta se metoda danas rijetko primjenjuje.

Utvrđivanje utrošene količine vode provodi se po toj metodi na isti način kao u prethodnom slučaju, tj. pomoću jednadžbe vodne bilance.

2.5. MJERENJE VLAGE TLA

Slično kao u prethodnom slučaju, ETP se može utvrditi i mjerenjem vlage tla. Za tu metodu analize potrebno je provesti veliki broj mjerenja sadržaja vlage u tlu, i to prije i poslije svake promjene (natapanja, npr.). Tu se zapravo bilancira utrošak vode u intervalima između dviju sukcesivnih promjena, a ukupna godišnja ETP predočena je u obliku sumarne krivulje potrošnje. Osnovni problemi koje treba riješiti kod te metode sastoje se u utvrđivanju realnih vrijednosti efektivnih oborina, odnosno definiranju veličine otjecanja i dubokog poniranja.

2.6. OSTALE METODE

Od ostalih metoda koje se za tu namjenu upotrebljavaju, spominje se integralna metoda utvrđivanja ETP, koja se sastoji u definiranju pojedinih članova izlaznog dijela vodne bilance, odnosno utroška vode. To se poglavito odnosi na ETP, i to za svaki usjev posebno, zatim isparavanje s golog tla, isparavanje s vodne površine, itd. Ukupnu (integralnu) potrošnju dobiva se kao zbroj pojedinačnih.

I, konačno, spomena vrijedna je i metoda ulaza-izlaza (inflow-outflow) koja se može primijeniti jedino za pojedine slivove kao cjelina. Kod toga treba izmjeriti sve elemente vodne bilance za razmatrani sliv, i to uglavnom za jednu hidrološku godinu. Prema tome, treba odrediti oborine, dotok vode na to područje, razliku između sadržaja vlage u tlu na početku i na kraju razdoblja te veličine otjecanja.

Dakle, možemo pisati:

$$B = P + D + V_1 - O,$$

gdje je:

B - godišnja bilanca, izražena u vidu ETR, u m³ ili mm

P - godišnje oborine

D - dotok vode

V₁ - razlike vlage tla na početku i na kraju

O - otjecanje

3.1. PENMANOVA METODA

3.1.1. ORIGINALNA PENMANOVA METODA

Penmanova je metoda objavljena 1948.godine (Penman, 1948.), a 1963. je pojednostavljena (Penman, 1963.). Metoda se koristi složenim izrazima. Složeni su izrazi izvedeni iz kombinacije jednačbi bilanca energije i transporta masa. Izvještaj ASCE-CU (Jensen, 1974.) pokazao je da ta kombinacija metoda daje vrlo dobre rezultate za široko polje klimatskih uvjeta. Točnost metode proizlazi iz teorijskih osnova metode. Metoda je primjenjiva za razdoblje od jednog dana do jednog mjeseca. S izvjesnim je modifikacijama moguća procjena ET za jedan sat.

Penmanov izraz, prilagođen za referentni usjev lucerna, glasi:

$$ET_r = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n + G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} 15,36 W_f (e_a - e_d), \dots \dots \dots (1)$$

gdje je:

- ET_r = evapotranspiracija referentnog usjeva, u cal/cm².d
- Δ = nagib krivulje: tlak pare - temperatura, u mb/°C
- γ = psihrometrička konstanta, u mb/°C
- R_n = neto radijacija, u cal/cm².d
- G = fluks topline prema površini tla, u cal/cm².d
- W_f = funkcija (ili utjecaj) vjetra, bezdimenzionalno
- $(e_a - e_d)$ = srednji dnevni deficit tlaka vodene pare (razlika tlaka saturirane pare i stvarnoga prosječnog tlaka vodene pare), u mb
- 15,36 = konstanta proporcionalnosti, u cal/cm².d.mb

a) Za približnu procjenu vrijednosti može se upotrijebiti izraz Bosena (1960.):

$$\Delta = 2,0 (0,00738T + 0,8072)^7 - 0,00116, \dots \dots \dots (2)$$

gdje je:

T = srednja dnevna temperatura, u °C

b) Za proračun psihrometrijske konstante γ može se upotrijebiti izraz Brunta (1952.):

$$\gamma = \frac{0.386 P}{L}, \dots\dots\dots (3)$$

gdje je:

P = srednji barometarski tlak stanice, u mb

L = latentna toplina isparavanja, u cal/g

Obično se pretpostavlja da je vrijednost P konstantna za određenu lokaciju i može se proračunati iz izraza:

$$P = 1013 - 0,1055 E \dots\dots\dots (4)$$

gdje je:

E = nadmorska visina, u m

Latentna toplina L računa se po izrazu Brunta:

$$L = 595 - 0,51 T, \dots\dots\dots (5)$$

gdje je:

T = srednja temperatura zraka, u °C

Varijacija vrijednosti $\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$ s visinom i temperaturom prikazana je u tablici 31-5.

c) Funkcija vjetra W_f određuje se obično regresijskom tehnikom, u kojoj W_f ima oblik:

$$W_f = a_w + b_w \cdot U_z \dots\dots\dots (6)$$

gdje je:

a_w i b_w = regresijski koeficijenti

U_z = dnevna brzina vjetra (u km/d) na visini z iznad tla.

Preporučljivo je da se vrijednost a_w i b_w odrede za lokaciju, ukoliko postoje podaci. Vrijednost a_w kreće se od 0,75 do 1,00 a vrijednost b_w od 0,00621 do 0,01.

Dnevna brzina vjetra U_z dobije se često za visinu od 2 m iznad tla za razvoj funkcije vjetra za Penmanovu metodu. Za podatke o vjetru na različitim visinama vrši se ekstrapolacija sa sljedećim izrazom:

$$U_2 = U_z \left(\frac{2}{Z} \right)^{0,2} \dots\dots\dots (7)$$

gdje je:

z = visina na kojoj se mjeri vjetar, u m

U_z = procijenjena brzina vjetra na visini 2 m, u km/d

d) Za srednji dnevni deficit tlaka vodene pare, ($e_a - e_d$) upotrebljavaju se razni postupci. Ovdje se prikazuju dva postupka:

Prvi postupak koristi se tlakom saturirane vodene pare pri srednjoj dnevnoj temperaturi za vrijednost e_a i tlakom saturirane vodene pare pri srednjoj dnevnoj temperaturi rosišta kao vrijednost e_d . Ovaj je postupak detaljno opisan u Doorenbos i Pruitt (1984.) i obrađuje se u 3.1.3. poglavlju ovog rada.

Drugi je postupak primjenjiviji u sušnim regijama i većim nadmorskim visinama, gdje postoje znatne dnevne temperaturne razlike:

$$e_a = \frac{1}{2} (e_a \text{ max} + e_a \text{ min}) \dots \dots \dots (8)$$

Važno je, pri proračunu, koristiti se koeficijentom kulture koji je temeljen na istoj funkciji vjetra W_f koja je upotrijebljena za procjenu referentne ET.

Podvlači se i nužda kompatibilnosti funkcije vjetra W_f s metodom za određivanje srednjega dnevnog deficita vodene pare. Koeficijent kulture temelji se, dakle, na istom postupku proračuna ($e_a - e_d$) i funkcije vjetra W_f .

e) Nedostatak podataka o vlažnosti jest često razlog da se ne upotrebljava kombinirana formula za proračun ET. Postoje alternative za procjenu srednje dnevne temperature rosišta. Tako je Pochop et al. (1973.) pokazao empiričke odnose između srednje dnevne temperature rosišta i dnevne minimalne temperature. Tlak saturirane vodene pare, u mb za bilo koju temperaturu $T(^{\circ}\text{C})$ može se odrediti iz aproksimacije po Bosenu (1960):

$$e_s \cong 33,864 [(0,00738 T + 0,807)^8 - 0,000019 (1,8 T + 48) + 0,001316] (9)$$

f) Neto radijacija, R_n , u $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{d}$ može se izračunati iz podataka solarne radijacije. Oznake R_1 i G u izrazu 1 pretpostavljaju da je pozitivno kretanje topline prema površini tla. U praksi se često pretpostavlja da je $G=0$ za proračun dnevnih ET_r . Za procjenu vrijednosti R_n upotrebljava se izraz:

$$R_n = (1 - a) R_s - R_b \dots \dots \dots (10)$$

gdje je:

a = reflektirana kratkovalna radijacija, nazvana albedo, izražena kao decimalni broj. Česta je vrijednost albeda 0,23 za komercijalne biljke. Albedo se mijenja s položajem Sunca.

R_s = ulazna kratkovalna solarna radijacija

R_b = netto izlazna dugovalna radijacija, određuje se po izrazu:

$$R_b = \left[a \frac{R_s}{R_{so}} + b \right] R_{bo}, \dots\dots\dots (11)$$

gdje je:

R_{so} = sunčeva radijacija u potpuno vedrom danu

a,b = koeficijenti, vrijednosti se kreću od -0,2 do 1,2

R_{bo} = netto izlazna dugovalna radijacija u potpuno vedrom danu, a određuje se po izrazu:

$$R_{bo} = (a_1 + b_1 \sqrt{e_d}) 11,71 \times 10^{-8} T_k^4, \dots\dots\dots (12)$$

gdje je:

T_k = srednja dnevna temperatura zraka, u °K

a_1, b_1 = koeficijenti, vrijednosti se kreću od 0,39 do-0,05

3.1.2. RAČUNSKI PRIMJER

Penmanovom metodom, opisanom u poglavlju 3.1., odredit će se dnevna evapotranspiracija ET. Podaci za proračun jesu za tipični ljetni dan, područje projekta nalazi se na 42,5 °N.

- datum 19. 7, dan broj 200
- visina 1195 m n.m.
- maks. temperatura zraka 32,2 °C
- minimalna temperatura zraka 12,2 °C
- srednja temperatura zraka 22,2 °C
- srednja temperatura rosišta 10,0 °C
- srednja dnevna temperatura za 3 prethodna dana 20,9 °C
- sunčeva radijacija vedrog dana 747 cal/cm² (ili 747 ly-langley)
- mjerena solarna radijacija 686 ly
- mjerena neto radijacija 350 ly
- brzina vjetra na 3,66 m visine 164 km/dan
- procijenjeno: odnos dnevni/noćni vjetar 4,0
- mjerene ET za lucernu 8,5 mm

Za proračun se koristimo izrazom (1):

$$ET_r = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n + G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} 15,36 W_f (e_a - e_d),$$

$$\Delta = 2,0 (0,00738 \times 22,2 + 0,8072)^7 - 0,00116 = 1,627 \text{ mb}^\circ\text{C}$$

$$P = 1013 - 0,1055 \times 1195 = 887 \text{ mb}$$

$$L = 595 - 0,51 \times 22,2 = 584 \text{ cal/g}$$

$$\gamma = \frac{0,386 \times 887}{584} = 0,586 \text{ mb}^\circ\text{C}$$

$$\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} = \frac{1,627}{1,627 + 0,586} = 0,735$$

$$\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} = 1,00 - 0,735 = 0,265$$

$$U_2 = 164 \left(\frac{2}{3,66} \right)^{0,2} = 145 \text{ km/d}$$

$$e_d = 33,8639 [(0,00738 \times 10,0 \times 0,872)^8 - 0,000019 (1,8 \times 10,0 + 48) + 0,001316] = 12,3 \text{ mb}$$

$$e_a = \frac{1}{2} (48,1 + 14,2) = 31,1 \text{ mb}$$

$$R_{bo} = (0,325 - 0,044 \sqrt{12,3}) \frac{11,71 (273 + 22,2)^4}{10^8} = 152 \text{ ly}$$

$$R_b = \left[1,22 \times \frac{686}{747} - 0,18 \right] 152 = 143 \text{ ly}$$

$$R_n = (1 - 0,23) 686 - 143 = 385 \text{ ly}$$

Pretpostavimo $G=0$

$$ET_r = 0,735 (385 + 0) + 0,265 (15,36)(0,75 + 0,0115 \times 145)$$

$$(31,1 - 12,3) = 468 \text{ ly/d}$$

$$= \frac{468 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \cdot \text{d}}}{584 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^3}} \times 10 \frac{\text{mm}}{\text{cm}} = 8,01 \text{ mm/dan}$$

$$ET_r = 8,01 \text{ mm/dan}$$

**TLAK SATURIRANE VODENE PARE (e_a) U mbar KAO
FUNKCIJA SREDNJE TEMPERATURE ZRAKA (T) U °C**

Tablica 31-1

Temperatura u °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
e_a mbar	6,1	6,6	7,1	7,6	8,1	8,7	9,3	10,0	10,7	11,5	12,3	13,1	14,0	15,0	16,1	17,0	18,2	19,4	20,6	22,0
Temperatura u °C	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
e_a mbar	23,4	24,6	26,4	28,1	29,8	31,7	33,6	35,7	37,8	40,1	42,4	44,9	47,6	50,3	53,2	56,2	59,4	62,8	66,3	69,9

Iz te se tablice može dobiti vrijednost stvarnog tlaka vodene pare (e_d) koristeći se podacima o temperaturi rosišta T_{ros} .
(Primjer: $T_{ros} = 18\text{ °C}$, $e_d = 20,6$ mbar).

**TLAK VODENE PARE (e_d) U mbar IZ PODATAKA SUHOGA I
VLAŽNOG TERMOMETRA U °C (ASPIRIRANI PSIHROMETAR)**

Tablica 31-2

Depresija vlažnog termometra T°C nadm. visina 0-1000 m													Depresija vlažnog termometra T°C nadm. visina 1000-2000 m.												
Suhi term. T°C																									
0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22		
73,8	64,9	56,8	49,2	42,2	35,8	29,8	24,3	19,2	14,4	10,1	6,0	73,8	65,2	57,1	49,8	43,0	41,8	31,0	25,6	20,7	16,2	12,0	8,1		
66,3	58,1	50,5	43,6	37,1	31,1	25,6	20,5	15,8	11,4	7,3		66,3	58,2	50,9	44,1	37,9	36,7	26,8	21,8	17,3	13,2	9,2	5,7		
59,4	51,9	44,9	38,4	32,5	26,9	21,8	17,1	12,7	8,6	4,9		59,4	52,1	45,2	39,0	33,3	32,1	23,0	18,4	14,3	10,4	6,8	3,5		
53,2	46,2	39,8	33,8	28,3	23,2	18,4	14,0	1	6,2			53,2	46,4	40,1	34,4	29,1	24,1	19,6	15,4	11,5	8,0	4,6	1,5		
47,5	41,1	35,1	29,6	24,5	19,8	15,4	11,3	7,5	4,0			47,5	41,3	35,5	30,2	25,3	20,7	16,6	12,6	9,1	5,8	2,6			
42,4	36,5	30,9	25,8	21,1	16,7	12,6	8,8	5,3				42,4	36,7	31,3	26,4	21,9	17,7	13,8	10,2	6,9	3,8	0,9			
37,8	32,3	27,2	22,4	18,0	14,0	10,2	6,7	3,4				37,8	32,5	27,5	23,0	18,9	14,9	11,4	8,0	4,9	2,1				
33,6	28,5	23,8	19,4	15,3	11,5	8,0	4,7	1,6				33,6	28,7	24,1	2	16,1	12,5	9,2	6,0	3,2	0,5				
29,8	25,1	20,7	16,6	12,8	9,3	6,0	2,9					29,8	25,3	21,1	17,2	13,9	10,3	7,2	4,3	1,6					
26,4	22,0	18,0	14,2	10,6	7,4	4,3	1,4					26,4	22,3	18,3	14,3	11,5	8,3	5,5	2,7	0,2					
23,4	19,3	15,5	12,0	8,7	5,6	2,7						23,4	19,5	15,9	12,6	9,5	6,6	3,9	1,3						
20,6	16,8	13,3	1	6,9	4,1	1,4						20,6	17,1	13,7	10,6	7,8	5,0	2,5	0,1						
18,2	14,6	11,4	8,3	5,4	2,7							18,2	14,9	11,7	8,9	6,2	3,6	1,3							
16,0	12,7	9,6	6,7	4,0	1,5							16,0	12,9	1	7,3	4,8	2,4	0,3							
14,0	10,9	8,1	5,3	2,8								14,0	11,2	8,4	5,9	3,6	1,4								
12,3	9,4	6,7	4,1	1,7								12,3	9,6	7,0	4,7	2,6	0,4								
10,7	8,0	5,5	3,1	0,8								10,7	8,2	5,8	3,7	1,6									
9,3	6,8	4,4	2,1									9,3	7,0	4,8	2,7	0,7									
8,1	5,7	3,4	1,6									8,1	6,0	3,8	1,8										
7,1	4,8	2,8	0,8									7,1	5,0	2,9	1,0										
6,1	4,0	2,0										6,1	4,1	2,1											

3.1.3. MODIFICIRANA PENMANOVA METODA, VERZIJA FAO-24

Organizacija FAO Ujedinjenih naroda osnovala je 1971. Konzultivnu grupu s namjerom da prouči pitanje izbora objektivne metode za procjenu ET i da nađe najprihvatljivije rješenje. Razlike u veličinama evapotranspiracije uvjetovane su zemljopisnim širinama, nadmorskom visinom i, u vezi s tim, klimom. Stručnjaci Konzultivne grupe uveli su novi pojam: referentna evapotranspiracija. Stvorene su sljedeće modificirane metode: Blaney-Criddle, metoda radijacije, Penmana i isparitelja.

Modificirana Penmanova metoda - verzija FAO-24 prikazuje se u nastavku, prema Doorenbos i Pruitt (1984.). Originalna je Penmanova metoda nešto modificirana, izvršena je revizija funkcije vjetra. Uključen je također utjecaj razlika dnevnih i noćnih klimatatskih uvjeta. Tom modificiranom metodom određuje se referentna evapotranspiracija, ET_o .

Predložni izraz za modificiranu Penmanovu metodu glasi:

$$ET_o = c [W \cdot R_n + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d)] , \dots\dots\dots (13)$$

gdje je:

- ET_o = evapotranspiracija referentnog usjeva
- W = faktor ponderacije utjecaja temperature
- R_n = neto radijacija kao ekvivalent isparavanja, u mm/dan
- $f(u)$ = funkcija (ili utjecaj) vjetra
- $e_a - e_d$ = srednji dnevni deficit vodene pare, u mbar
- c = korektivni faktor za izravnavanje dnevnih i noćnih meteoroloških uvjeta

Zbog međuovisnosti varijabli u izrazu (13) važno je ispravno upotrijebiti jedinice u kojima su izražene varijable. U računskim se primjerima pokazuje korektna uporaba jedinica.

Predložena funkcija vjetra primjenjuje se za uvjete tijekom ljeta, s umjerenim vjetrom, maksimalna relativna vlažnost RH_{max} jest oko 70% i odnos vjetra tijekom dana i noći od 1,5 do 2,0. Za te uvjete nije potrebna prilagodba. Ako se primjenjuje 24-satni vjetar, tada će ET_o biti podcijenjena za 15 do 30% u područjima gdje dnevni vjetar znatno premašuje vjetar u toku noći, gdje je RH_{max} oko 100% i gdje je radijacija visoka. Obratno, u područjima sa srednjim do jakim vjetrom, s noćnom niskom vlažnosti (RH_{max}), s niskom radijacijom, izraz za ET_o

daje precijenjene vrijednosti. One rastu sa smanjivanjem odnosa u danju/noću. Za te uvjete mora se primijeniti korektivni faktor C.

3.1.3.1. Tlak vodene pare ($e_a - e_d$)

Vlažnost zraka utječe na veličinu ET_o . Vlažnost se izražava kao deficit tlaka vodene pare $e_a - e_d$. To je razlika između srednjeg tlaka saturirane vodene pare - e_a i srednjega stvarnog tlaka vodene pare - e_d .

Podaci o vlažnosti zraka mogu se izraziti kao relativna vlažnost: RH_{max} i RH_{min} , u %; kao psihometrijski broj ($T^\circ C$ suhoga ili vlažnog termometra) očitana bilo s ventiliranoga ili neventiliranoga vlažnoga ili suhog termometra te kao temperatura točke rosišta (T rosišta, $^\circ C$). Vrijeme je mjerenja važno, ali obično nije dato. Stvarni je tlak vodene pare približno konstantan i jedno mjerenje u danu može zadovoljiti potrebe primjene. Tlak vodene pare mora se izraziti u mbarima. Ako je e_d dato u mmHg množi se faktorom 1,33 da se dobije mbara. U tablicama se prikazuju podaci za izračunavanje e_a i e_d iz raspoloživih klimatskih podataka.

Računski primjer:

a) Zadano: nadmorska visina (za sve slučajeve): 0 m n.m.

$$T_{max} = 35^\circ C, T_{min} = 22^\circ C$$

$$RH_{max} = 80\%, RH_{min} = 30\%$$

Proračun:

$$T_{sr} = 28,5^\circ C$$

$$RH_{sr} = 55\%$$

$$e_a \text{ pri } 28,5^\circ C \text{ Tab. 31-1} = 38,9 \text{ mbar}$$

$$e_d = e_a \times RH_{sr}/100 = 21,4 \text{ mbar}$$

$$(e_a - e_d) = \underline{17,5 \text{ mbar}}$$

b) Zadano: $T_{max} = 35^\circ C, T_{min} = 22^\circ C$

$$T_{suh} = 24^\circ C, T_{vlažni} = 20^\circ C$$

Proračun:

$$T_{sr} = 28,5^\circ C$$

$$e_a \text{ pri } 28,5^\circ C \text{ tab. 31-1} = 38,9 \text{ mbar}$$

$$e_d \text{ pri } T_{suh} 24^\circ C \text{ tab. 31-2}$$

$$T_{vlažni} \text{ depr. } 4^\circ C, \text{ t.2a} = 20,7 \text{ mbar}$$

$$(e_a - e_d) = \underline{18,2 \text{ mbar}}$$

c) Zadano:

$$T_{\max} = 35^{\circ}\text{C}, T_{\min} = 22^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{rosišta}} = 18^{\circ}\text{C}$$

Proračun:

$$T_{\text{sr}} = 28,5^{\circ}\text{C}$$

$$e_a \text{ pri } 28,5^{\circ}\text{C tab. 31-1} = 38,9 \text{ mbar}$$

$$e_a \text{ pri } T_{\text{rosišta}} \text{ tab. 31-1} = 20,6 \text{ mbar}$$

$$(e_a - e_d) = \underline{18,3 \text{ mbar}}$$

3.1.3.2. Funkcija vjetra $f(u)$

Utjecaj vjetra na ET_o analizirao se na različite klimate, a rezultat je analiza revizija funkcije vjetra iz originalne formule Penmana.

Revidirana funkcija vjetra glasi:

$$f(u) = 0,27 \left(1 + \frac{U}{100}\right), \dots\dots\dots (14)$$

gdje je:

U = dnevna brzina vjetra u km/dan na visini od 2m.

Taj izraz vrijedi u slučaju kada je $(e_a - e_d)$ izražena u mbar i kada je njegova vrijednost proračunata metodom pokazanom u slučajevima a), b) i c).

Tablica 31-3 se može upotrijebiti za vrijednosti funkcije vjetra.

Ako se brzina vjetra ne mjeri na 2 m visine, ispravljaju se mjerenja na različitim visinama pomoću sljedećih faktora:

Mjerenje na visini m	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Korekcijski faktor	1,35	1,15	1,06	1,0	0,93	0,88	0,85	0,83

Računski primjer:

Zadano: brzina vjetra mjerena na 3 m visine = 250 km/dan Proračun:

$$U = 232 \text{ km/dan}$$

$$f(u) \text{ tab.31-3} = \underline{0,90}$$

**VRIJEDNOSTI FUNKCIJE VJETRA $f(u) = 0,27(1 + \frac{U}{100})$
ZA VJETAR NA 2m VISINE U km/dan**

Tablica 31-3

Vjetar km/dan	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	-	,30	,32	,35	,38	,41	,43	,46	,49	,51
100	,54	,57	,59	,62	,65	,67	,70	,73	,76	,78
200	,81	,84	,86	,89	,92	,94	,97	1,00	1,03	1,05
300	1,08	1,11	1,13	1,16	1,19	1,21	1,24	1,27	1,30	1,32
400	1,35	1,38	1,40	1,43	1,46	1,49	1,51	1,54	1,57	1,59
500	1,62	1,65	1,67	1,70	1,73	1,76	1,78	1,81	1,84	1,90
600	1,89	1,92	1,94	1,97	2,00	2,02	2,05	2,08	2,11	2,15
700	2,16	2,19	2,21	2,24	2,27	2,29	2,32	2,35	2,38	2,40
800	2,43	2,46	2,48	2,51	2,54	2,56	2,59	2,62	2,64	2,65
900	2,70									

3.1.3.3. Faktor ponderacije (1-W)

To je faktor utjecaja vjetra i vlažnosti na ET_o . Vrijednost W računa se prema: $W = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$; oznake su prikazane kod izraza (1).

Vrijednosti (1-W) u odnosu prema temperaturi i nadmorskoj visini prikazane su u tablici 31-4

Za temperaturu se upotrebljava $\frac{T_{max} + T_{min}}{2}$

Računski primjer:

Zadano: nadmorska visina 95 m n. m.

$$T_{max} = 35^{\circ}C, T_{min} = 22^{\circ}C$$

Proračun:

$$T_{sr} = 28,5^{\circ}C$$

(1-W) tab. 31-4 0,23

3.1.3.4. Faktor ponderacije (W)

Faktor ponderacije pokazuje utjecaj radijacije na ET_o . Vrijednosti ovise o temperaturi i nadmorskoj visini i prikazane su u tablici 31-5.

Računski primjer:

Zadano: nadmorska visina 95 m n. m.

$$T_{max} = 35^{\circ}C, T_{min} = 22^{\circ}C$$

VRIJEDNOSTI FAKTORA PONDERACIJE (1-W) ZA UTJECAJ VJETRA I VLAŽNOSTI NA ET.

Tablica 31-4

Temperatura °C	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
(1-W) nadm, visina m																					
0	0,57	0,54	0,51	0,48	0,45	0,42	0,39	0,36	0,34	0,32	0,29	0,27	0,25	0,23	0,22	0,20	0,19	0,17	0,16	0,15	
500	0,56	0,52	0,49	0,46	0,43	0,40	0,38	0,35	0,33	0,30	0,28	0,26	0,24	0,22	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14	
1000	0,54	0,51	0,48	0,45	0,42	0,39	0,36	0,34	0,31	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,20	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13	
2000	0,51	0,48	0,45	0,42	0,39	0,36	0,34	0,31	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	
3000	0,48	0,44	0,41	0,39	0,36	0,34	0,31	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	
4000	0,46	0,42	0,39	0,36	0,34	0,31	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	

VRIJEDNOSTI FAKTORA PONDERACIJE (W) ZA UTJECAJ RADIJACIJE NA ET.

Tablica 31-5

Temperatura	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
W nadm, visina m																					
0	0,43	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,68	0,71	0,73	0,75	0,77	0,78	0,80	0,81	0,83	0,84	0,85	
500	0,44	0,48	0,51	0,54	0,57	0,60	0,62	0,65	0,67	0,70	0,72	0,74	0,76	0,78	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86	
1000	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77	0,79	0,80	0,82	0,83	0,85	0,86	0,87	
2000	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	
3000	0,52	0,56	0,59	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	
4000	0,54	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	

RADIJACIJA NA GRANICI ATMOSFERE (R_a) IZRAŽENA U EKVIVALENTU ISPARAVANJA U mm/dan

Tablica 31-6

	Sjeverna hemisfera												Južna hemisfera											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	š.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
3,8	6,1	9,4	12,7	15,8	17,1	16,4	14,1	10,9	7,4	4,5	3,2	50,0°	17,5	14,7	10,9	7,0	4,2	3,1	3,5	5,5	8,9	12,9	16,5	18,2
4,3	6,6	9,8	13,0	15,9	17,2	16,5	14,3	11,2	7,8	5,0	3,7	48,0°	17,6	14,9	11,2	7,5	4,7	3,5	4,0	6,0	9,3	13,2	16,6	18,2
4,9	7,1	10,2	13,3	16,0	17,2	16,6	14,5	11,5	8,3	5,5	4,3	46,0°	17,7	15,1	11,5	7,9	5,2	4,0	4,4	6,5	9,7	13,4	16,7	18,3
5,3	7,6	10,6	13,7	16,1	17,2	16,6	14,7	11,9	8,7	6,0	4,7	44,0°	17,8	15,3	11,9	8,4	5,7	4,4	4,9	6,9	10,2	13,7	16,7	18,3
5,9	8,1	11,0	14,0	16,2	17,3	16,7	15,0	12,2	9,1	6,5	5,2	42,0°	17,8	15,5	12,2	8,8	6,1	4,9	5,4	7,4	10,6	14,0	16,8	18,3
6,4	8,6	11,4	14,3	16,4	17,3	16,7	15,2	12,5	9,6	7,0	5,7	40,0°	17,9	15,7	12,5	9,2	6,6	5,3	6,0	7,9	11,0	14,2	16,9	18,3
6,9	9,0	11,8	14,5	16,4	17,2	16,7	15,3	12,8	10,0	7,5	6,1	38,0°	17,9	15,8	12,8	9,6	7,1	5,8	6,3	8,3	11,4	14,4	17,0	18,3
7,4	9,4	12,1	14,7	16,4	17,2	16,7	15,4	13,1	10,6	8,0	6,6	36,0°	17,9	16,0	13,2	10,1	7,5	6,3	6,8	8,8	11,7	14,6	17,0	18,2
7,9	9,8	12,4	14,8	16,5	17,1	16,8	15,5	13,4	10,8	8,5	7,2	34,0°	17,8	16,1	13,5	10,5	8,0	6,8	7,2	9,2	12,0	14,9	17,1	18,2
8,3	10,2	12,8	15,0	16,5	17,0	16,8	15,6	13,6	11,2	9,0	7,8	32,0°	17,8	16,2	13,8	10,9	8,5	7,3	7,7	9,6	12,4	15,1	17,2	18,1
8,8	10,7	13,1	15,2	16,5	17,0	16,8	15,7	13,9	11,6	9,5	8,3	30,0°	17,8	16,4	14,0	11,3	8,9	7,8	8,1	10,1	12,7	15,3	17,3	18,1
9,3	11,1	13,4	15,3	16,5	16,8	16,7	15,7	14,1	12,0	9,9	8,8	28,0°	17,7	16,4	14,3	11,6	9,3	8,2	9,6	10,4	13,0	15,4	17,2	17,9
9,8	11,5	13,7	15,3	16,4	16,7	16,6	15,7	14,3	12,3	10,3	9,3	26,0°	17,6	16,4	14,4	12,0	9,7	8,7	9,1	10,9	13,2	15,5	17,2	17,8
10,2	11,9	13,9	15,4	16,4	16,6	16,5	15,8	14,5	12,6	10,7	9,7	24,0°	17,5	16,5	14,6	12,6	10,2	9,1	9,5	11,2	13,4	15,6	17,1	17,7
10,7	12,3	14,2	15,5	16,3	16,4	16,4	15,8	14,6	13,0	11,1	10,2	22,0°	17,4	16,5	14,8	12,6	10,6	9,6	10,0	11,6	13,7	15,7	17,0	17,5
11,2	12,7	14,4	15,6	16,3	16,4	16,3	15,9	14,8	13,3	11,6	10,7	20,0°	17,3	16,5	15,0	13,0	11,0	10,0	10,4	12,0	13,9	15,8	17,0	17,4
11,6	13,0	14,6	15,6	16,1	16,1	16,1	15,8	14,9	13,6	12,0	11,1	18,0°	17,1	16,5	15,1	13,2	11,4	10,4	10,8	12,3	14,1	15,8	16,8	17,1
12,0	13,3	14,7	15,6	16,0	15,9	15,9	15,7	15,0	13,9	12,4	11,6	16,0°	16,9	16,4	15,2	13,5	11,7	10,8	11,2	12,6	14,3	15,8	16,7	16,8
12,4	13,6	14,9	15,7	15,8	15,7	15,7	15,7	15,1	14,1	12,8	12,0	14,0°	16,7	16,4	15,3	13,7	12,1	11,2	11,6	12,9	14,5	15,8	16,5	16,6
12,8	13,9	15,1	15,7	15,7	15,5	15,5	15,6	15,2	14,4	13,3	12,5	12,0°	16,6	16,3	15,4	14,0	12,5	11,6	12,0	13,2	14,7	15,8	16,4	16,5
13,2	14,2	15,3	15,7	15,5	15,3	15,3	15,5	15,3	14,7	13,6	12,9	10,0°	16,4	16,3	15,5	14,2	12,8	12,0	12,4	13,5	14,8	15,9	16,2	16,2
13,6	14,5	15,3	15,6	15,3	15,0	15,1	15,4	15,3	14,8	13,9	13,3	8,0°	16,1	16,1	15,5	14,4	13,1	12,4	12,7	13,7	14,9	15,8	16,0	16,0
13,9	14,8	15,4	15,4	15,1	14,7	14,9	15,2	15,3	15,0	14,2	13,7	6,0°	15,8	16,0	15,6	14,7	13,4	12,8	13,1	14,0	15,0	15,7	16,8	16,7
14,3	15,0	15,5	15,5	14,9	14,4	14,6	15,1	15,3	15,1	14,5	14,1	4,0°	15,5	15,8	15,6	14,9	13,8	13,2	13,4	14,3	15,1	15,6	15,5	15,4
14,7	15,3	15,6	15,3	14,6	14,2	14,3	14,9	15,3	15,3	14,8	14,4	2,0°	15,3	15,7	15,7	15,1	14,1	13,5	13,7	14,5	15,2	15,5	15,3	15,1
15,0	15,5	15,7	15,3	14,4	13,9	14,1	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8	0,0°	15,0	15,5	15,7	15,3	14,4	13,9	14,1	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8

Proračun:

$$T_{sr} = 28,5^{\circ}\text{C}$$

$$\text{W tab. 31-5} \quad \underline{0,77}$$

3.1.3.5. Neto radijacija (R_n)

Neto radijacija R_n jest razlika između ulazne i izlazne radijacije. Može se mjeriti, ali su ti podaci rijetko raspoloživi. R_n se može proračunati iz solarne radijacije ili trajanja sunčevog svjetla (ili stupnja oblačnosti), temperature i podataka o vlažnosti zraka.

Ukupna se radijacija dijeli na :

- R_a : količina radijacije na granici atmosfere, ovisi o zemljopisnoj širini i datumu u godini. Vrijednosti su prikazane u tablici 31-6

- R_s : sunčeva radijacija (na površini zemlje). Dio radijacije R_a apsorbira atmosfera. R_s ovisi o R_a i transmisiji kroz atmosferu, što ovisi najviše o oblačnosti. Dio od R_s reflektira se u atmosferu s tla i biljaka; to je izgubljena radijacija. Refleksija (a) ovisi o pokrivaču tla i približno iznosi 5-7% za vodu i 15 do 25% za većinu usjeva.

Preostali je dio radijacije neto kratkovalna sunčeva radijacija R_{ns} .

- R_{n1} : razlika između izlazne i ulazne dugovalne radijacije naziva se neto dugovalna radijacija.

- R_n : ukupna neto radijacija

$$R_n = R_{ns} - R_{n1} \dots\dots\dots (15)$$

Radijacija se izražava u različitim jedinicama. Pretvorena u toplinu povezuje se u energiju potrebnu za isparavanje sa slobodne vodene površine i prikazuje se u ekvivalentu evaporacije u mm/dan.

Postupak proračuna ukupne neto radijacije R_n provodi se na sljedeći način:

a) Ako nije dostupna mjerena veličina sunčeve radijacije (R_n), tada se iz tablice 31-6 određuje vrijednost R_a u mm/dan za određeni mjesec i širinu

b) Za određivanje sunčeve radijacije (R_s) ispravlja se vrijednost R_a za odnos stvarnoga (n) i maksimalnog mogućega (N) sunčeva sjaja u danu:

$$R_s = (0,25 + 0,50 n/N) R_a \dots\dots\dots (16)$$

Vrijednosti za N prikazane su u tablici 31-7 Veličine su n i N u satim kao srednje dnevne vrijednosti za razmatrano razdoblje.

Za proračun R_s mogu se upotrijebiti i podaci o opažanju oblačnosti. Potreban je dulji niz podataka. Naoblaka može biti izražena u oktama (0 do 8) ili desetinama (0 do 10). Ti se podaci prvo pretvore u ekvivalentnu vrijednost n/N :

SREDNJE DNEVNO TRAJANJE MAKSIMALNO MOGUĆEGA SUNČEVA SVJETLA (N) U SATIMA

Tablica 31-7

Sjeverna g.širina	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Južna g.širina	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI
50	8,5	10,1	11,8	13,8	15,4	16,3	15,6	14,5	12,7	10,8	9,1	8,1
48	8,8	10,2	11,8	13,6	15,2	16,0	15,4	14,3	12,6	10,9	9,3	8,3
46	9,1	10,4	11,9	13,5	14,9	15,7	15,2	14,2	12,6	10,9	9,5	8,7
44	9,3	10,5	11,9	13,4	14,7	15,4	14,9	14,0	12,6	10,0	9,7	8,9
42	9,4	10,6	11,9	13,4	14,6	15,2	14,2	13,9	12,6	11,1	9,8	9,1
40	9,6	10,7	11,9	13,3	14,4	15,0	14,7	13,7	12,5	11,2	10,0	9,3
35	10,1	11,0	11,9	13,1	14,0	14,5	14,3	13,5	12,4	11,3	10,3	9,8
30	10,4	11,1	12,0	12,9	13,6	14,0	13,9	13,2	12,4	11,5	10,6	10,2
25	10,7	11,3	12,0	12,7	13,3	13,7	13,5	13,0	12,3	11,6	10,9	10,6
20	11,0	11,5	12,0	12,6	13,1	13,3	13,2	12,8	12,3	11,7	11,2	10,9
15	11,3	11,6	12,0	12,5	12,8	13,0	12,9	12,6	12,2	11,8	11,4	11,2
10	11,6	11,8	12,0	12,3	12,6	12,7	12,6	12,4	12,1	11,8	11,6	11,5
5	11,8	11,9	12,0	12,2	12,3	12,4	12,3	12,3	12,1	12,0	11,9	11,8
0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0

**FAKTORI ZA PRETVARANJE RADJACIJE NA GRANICI ATMOSFERE (R_A)
U NETTO SUNČEVU RADJACIJU (R_{ns}) ZA $\alpha = 0,25$ I RAZLIČITE ODNOSNE n/N ($1 - \alpha$) ($0,25 + 0,50 n/n$)**

Tablica 31-8

n/N	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
$(1-\alpha)(0,25+0,5n/N)$	0,19	0,21	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34	0,36	0,37	0,39	0,41	0,43	0,45	0,47	0,49	0,51	0,52	0,54	0,56

UTJECAJ TEMPERATURE $f(T)$ NA NETTO DUGOVALNU RADJACIJU (R_{nl})

Tablica 31-9

$T^{\circ}C$	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
$F(T)=\sigma T_k^4$	11,0	11,4	11,7	12,0	12,4	12,7	13,1	13,5	13,8	14,2	14,6	15,0	15,4	15,9	16,3	16,7	17,2	17,7	18,1		

UTJECAJ TLAKA VODENE PARE $f(e_d)$ NA NETTO DUGOVALNU RADJACIJU (R_{nl})

Tablica 31-10

e_d mbar	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
$f(e_d)=0,34-0,44\sqrt{e_d}$	0,23	0,22	0,20	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06

ODNOS (n/N) NA NETTO DUGOVALNU RADJACIJU (R_{nl})

Tablica 31-11

n/N	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
$f(n/N)=0,1+0,9n/N$	0,10	0,15	0,19	0,24	0,28	0,33	0,37	0,42	0,46	0,51	0,55	0,60	0,64	0,69	0,73	0,78	0,82	0,87	0,91	0,96	1,00

oblačnost (okta)	0	1	2	3	4	5	6	7	8		
odnos n/N	0,95	0,85	0,75	0,65	0,55	0,45	0,30	0,15	0		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

oblačnost (deset.

odnos n/N	0,95	0,85	0,8	0,75	0,65	0,55	0,5	0,4	0,3	0,15	0
-----------	------	------	-----	------	------	------	-----	-----	-----	------	---

c) Neto kratkovalna radijacija R_{ns} određuje se iz sunčeve radijacije R_s :

$$R_{ns} = (1-a) R_s \dots\dots\dots (17)$$

za većinu biljaka $a = 0,25$.

Tablica 31-8 daje podatke za brzi proračun R_{ns} .

d) Neto dugovalna radijacija R_{n1} određuje se iz podataka o temperaturi (T), tlaku vodene pare (ed) i odnosu n/N. Vrijednosti funkcija f(T), f(ed) i f(n/N) prikazane su u tablicama 31-9, 31-10, 31-11.

e) Ukupna neto radijacija R_n jest algebarska suma neto kratkovalne radijacije (R_{ns}) i neto dugovalne radijacije (R_{n1}). R_{n1} uvijek predstavlja neto gubitke pa je $R_n = R_{ns} - R_{n1}$.

Računski primjer

- Zadano: zemljopisna širina 30°N,
nadmorska visina 95 m n. m.
mjesec srpanj
 $T_{sr} = 28,5^\circ\text{C}$, $RH_{sr} = 55\%$
srednje osunčenje $n = 11,5$ s/dan

Proračun:

$$R_a \quad \text{tablica 31-6} \quad = 16,8 \text{ mm/dan}$$

$$R_s = (0,25 + 0,50 n/N) R_a \quad n = 11,5 \text{ sati}$$

$$\text{tablica 31-7 } N = 13,9 \text{ sati}$$

$$n/N = 0,83 \quad = 11,2 \text{ mm/dan}$$

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s \quad \text{tablica 31-8} \quad = 8,4 \text{ mm/dan}$$

$$R_{n1} f(T) \times f(ed) \times f(n/N)$$

$$\text{tablica 31-9 } f(T) = 16,4$$

$$\text{tablica 31-10 } f(ed) = 0,13$$

tablica 31-11 $f(n/N) = 0,85$ = 1,8 mm/dan

$R_n = R_{ns} R_{n1}$ 6,6 mm/dan

3.1.3.6. Korekcijski faktor (c)

Penmanova je formula izrađena uz pretpostavke srednjih uvjeta, gdje je radijacija srednja do visoka, najveća relativna vlažnost zraka srednja do visoka, srednje jaki vjetar, dvostruko jači po danu nego po noći. Međutim, takve se pretpostavke ne susreću svagdje. Za uvjete različite od gornjih potrebna je korekcija.

U tablici 31-12 su prikazani podaci za korekcijski faktor C za različite uvjete RH_{max} , R_s , U_{dan} i $U_{dan}/U_{noć}$

KOREKCIJSKI FAKTOR (c) ZA PENMANOVU METODU

Tablica 31-12

	$RH_{max}=30\%$				$RH_{max}=60\%$				$RH_{max}=90\%$			
R_s mm/dan	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
U_{dan} m/sec	$U_{danju}/U_{noću} = 4.0$											
0	0.86	0.90	1.00	1.00	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	0.79	0.84	0.92	0.97	0.92	1.00	1.11	1.19	0.99	1.10	1.27	1.32
6	0.68	0.77	0.87	0.93	0.85	0.96	1.11	1.19	0.94	1.10	1.26	1.33
9	0.55	0.65	0.78	0.90	0.76	0.88	1.02	1.14	0.88	1.01	1.16	1.27
	$U_{danju}/U_{noću} = 3.0$											
0	0.86	0.90	1.00	1.00	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	0.76	0.81	0.88	0.94	0.87	0.96	1.06	1.12	0.94	1.04	1.18	1.28
6	0.61	0.68	0.81	0.88	0.77	0.88	1.02	1.10	0.86	1.01	1.15	1.22
9	0.46	0.56	0.72	0.82	0.67	0.79	0.88	1.05	0.78	0.92	1.06	1.18
	$U_{danju}/U_{noću} = 2.0$											
0	0.86	0.90	1.00	1.00	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	0.69	0.76	0.85	0.92	0.83	0.91	0.99	1.05	0.89	0.98	1.10	1.14
6	0.53	0.61	0.74	0.84	0.70	0.80	0.94	1.02	0.79	0.92	1.05	1.12
9	0.37	0.48	0.65	0.76	0.59	0.70	0.84	0.95	0.71	0.81	0.96	1.06
	$U_{danju}/U_{noću} = 1.0$											
0	0.86	0.90	1.00	1.00	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	0.64	0.71	0.82	0.89	0.78	0.86	0.94	0.99	0.85	0.92	1.01	1.05
6	0.43	0.53	0.68	0.79	0.62	0.70	0.84	0.93	0.72	0.82	0.95	1.00
9	0.27	0.41	0.59	0.70	0.50	0.60	0.75	0.87	0.62	0.72	0.87	0.96

PRORAČUN ET₀ PO MJESECIMA PENMANOVOM METODOM - VERZIJA FAO 24

Tablica 31-13

OZNAKA	MJESECI	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T _{sr}	°C	14	15	17,5	21	25,5	27,5	28,5	28,5	26	24	20	15,5
RH _{sr}	%	65	65	63	50	45	50	55	57	60	64	68	68
n	sati	7,4	8	8,9	9,7	10,8	11,4	11,5	11,1	10,4	9,6	8,6	7,5
U	km/dan	173	181	207	207	232	251	232	181	164	190	164	155
R _s	mm/dan	4,9	6,4	8,5	9,8	10,8	11,3	11,3	10,4	9,1	7,1	5,4	4,5
RH _{max}	%	95	95	95	70	65	70	75	80	80	90	95	95
U _{dan}	m/s	2,5	2,5	3	3	3,3	3,5	3,3	2,5	2,3	2,5	2,3	2,3
c		0,9	0,95	1,02	1	1	1,01	1,01	1,01	1,01	1,95	0,93	0,93
ET ₀	mm/dan	2,7	3,8	5	7	8,9	9,4	8,8	7,6	6,1	4,8	3,2	2,3
	mm/mj	84	106	154	210	276	282	273	236	183	149	96	71

Računski primjer

Zadano: zemljopisna širina 30°N

nadmorska visina 95 m n.m.

mjesec srpanj

$R_s = 11,2$ mm/dan

$RH_{\max} = 80\%$

$U_{\text{dan}} = 3,2$ m/s, $U_{\text{noć}} = 2,1$ m/s

$U_d/U_n = 1,5$

Proračun:

vrijednost faktora C tablica 31-12 = 1,06

3.1.3.7. Računski primjer proračuna ET_o

Zadano: (kao u računskim primjerima do sada prikazanima) 30°N,
95mn.m., srpanj

$W = 0,77$, $R_n = 6,6$, $(1-W) = 0,23$,

$f(u) = 0,90$, $(e_a - e_d) = 17,5$, $c = 1,01$

Proračun: po izrazu (13)

$ET_o = 1,01 (0,77 \times 6,6 + 0,23 \times 0,90 \times 17,5) = 8,8$ mm/dan

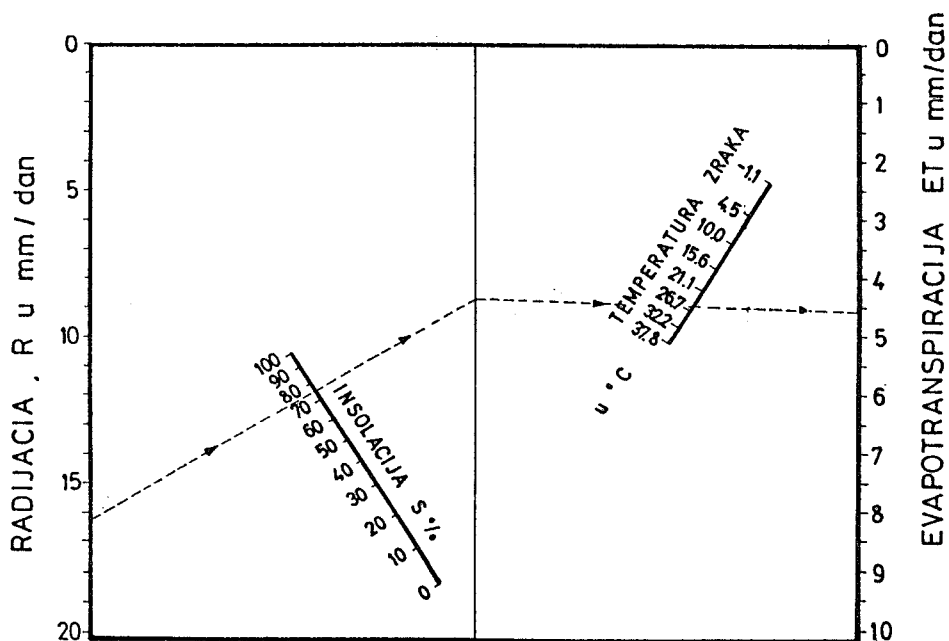
U tablici 31-13 se prikazuje proračun ET_o za svaki mjesec, koristeći se srednjim dnevnim podacima.

3.1.3.8. Nomogram za približno rješenje ET_o

Za proračun ET Penmanovom metodom nalaze se u literaturi nomogrami, i to za ukupan izraz ili njegove pojedine dijelove. Pri tome se uglavnom polazi od više mjerenih vrijednosti.

Kako se radi o aproksimaciji da je evapotranspiracija približno jednaka evaporaciji ($ET \cong E$), može se primijeniti i pojednostavljeni nomogram Van Babela (Srebrenović, 1986.), koji je prikazan na slici broj 31-2.

Tim se nomogramom dolazi do veličina evapotranspiracije na brži način, ali te veličine nisu potpuno točne.



Slika 31-2 Nomogram Van Bavela za približno rješenje izraza za evapotranspiraciju po Penmanu

DODATAK

1. FAKTORI KONVERZIJE: RADIJACIJA-EKVIVALENTNA DUBINA SLOJA VODE KOJA EVAPORIRA

1 cal/cm ²	= 1/59 mm
1 cal/cm ² .min	= 1 mm/sat
1 mW/cm ²	= 1/70 mm/sat
1 mW/cm ² (24 sata)	= 0,344 mm/dan
1 cal/cm ² .min (24sata)	= 24 mm/dan
1 Joule/cm ² .min (24 sata)	= 5,73 mm/dan

Psihometrijska konstanta:

$$\gamma = 0,485 \text{ mm Hg/}^{\circ}\text{C}$$

$$\gamma = 0,66 \text{ mbar/}^{\circ}\text{C}$$

Latentna toplina isparavanja

$$L = 590 \text{ cal/cm}^3$$

LITERATURA

1. Doorenbos, J. and Pruitt, W.O.: *Crop water requirements*. FAO Irrig. and Drain. Pap. 24. Roma, 1984.
2. Jensen, M.E. (Ed): *Consumptive use of water and irrigation water requirements*. ASCE, Irrig. Drain. Div. 1974.
3. Penman, H.L.: *Natural evaporation from open water, bare soil and grass*. Proc. Roy. Soc. London. A 193. 1948.
4. Penman, H.L.: *Vegetation and hydrology*. Tech. Commun. No.53. Harpenden, England, 1963.
5. Srebrenović, D.: *Primjenjena hidrologija*. Tehnička knjiga. Zagreb, 1986.
6. Van Bavel, C.H.M.: *Potential evapotranspiration: the combination concept and its experimental verification*. Water Resour. 2(3), 1966.

DRAGUTIN GEREŠ, dipl.inž.grad.
Javno vodoprivredno poduzeće
"Hrvatska vodoprivreda", Zagreb

3.2. TURCOVA METODA ODREĐIVANJA POTENCIJALNE EVAPOTRANSPIRACIJE

L.Turc je objavio dvije metode za određivanje evapotranspiracije, prvu 1951. godine a drugu 1960. godine.

3.2.1. PRVA TURCOVA FORMULA (1951.g.)

Temelj je prve metode (Turc, 1951.) statističko proučavanje vodnog bilansa na oko 250 slivova. Mjerodavni činioci za utvrđivanje evapotranspiracije jesu globalna radijacija, oborine i temperatura.

Izraz za godišnju evapotranspiraciju glasi:

$$ET = \frac{P}{\left[0.90 + \left(\frac{P}{L} \right)^2 \right]^{1/2}} \text{ mm/god} \dots\dots\dots (1)$$

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \dots\dots\dots (2)$$

gdje je:

- ET = evapotranspiracija, mm/god
- P = oborine, godišnje, mm
- L = faktor, ovisan o radijacijskoj energiji
- T = srednja godišnja temperatura zraka, °C

Za kraće vremensko razdoblje izraz (1) postaje složeniji i s više parametara. Za desetodnevno razdoblje (dekada) primjenjuje se sljedeći izraz:

$$ET = \frac{P + a + K}{\left[1 + \left(\frac{P + a}{L} + \frac{K}{2L} \right)^2 \right]^{1/2}} \text{ mm/10 dana,} \dots\dots\dots (3)$$

gdje je:

ET = evapotranspiracija za razdoblje od 10 dana, mm

P = oborine u dekadi, mm

a = faktor koji ovisi o prethodnoj vlažnosti tla.

a = 35-d, gdje je d deficit vlažnosti prethodne dekade, a jednak je sumi deficita svih ranijih dekada od početka promatranja. Vrijednosti a kreću se od 10 do 1.

K = faktor usjeva, vrijednost se kreće od 0 do 70. Izračunava se po izrazu

$$K = 25 \left(\frac{M \cdot c}{Z} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (4)$$

M = prirod suhe tvari, 100 kg/ha

C = konstanta (koeficijent) usjeva i iznosi

za kukuruz i repu	0,67
krumpir	0,83
žitarice	1,00
grašak, djetelinu	1,17
trave (krmiva)	1,33

Z = duljina vegetacijskog razdoblja u dekadama

$$L = \frac{t + 2}{16} R_c^{1/2} \dots\dots\dots (5)$$

L = faktor koji ovisi o radijacijskoj energiji

t = srednja temperatura zraka u dekadi, °C

R_c = ulazna radijacija za vrijeme od 10 dana, cal/cm²

Vrijednost faktora usjeva K iznosi 70 za usjev koji se uzgaja u optimalnim uvjetima, a K = 0 za golo, neobraslo tlo.

Za golo se tlo izraz (3) transformira u izraz koji služi za računanje evaporacije golog tla:

$$ET = \frac{P + a}{\left[1 + \left(\frac{P + a}{L} \right)^2 \right]^{1/2}} \text{ mm/10 dana} \dots\dots\dots (6)$$

Oblik formule Turca iz 1954. godine glasi:

$$ET = \frac{P + 80}{\left[1 + \left(\frac{P + 45}{L} \right)^2 \right]^{1/2}} \text{ mm/10 dana} \dots\dots\dots (7)$$

Oznake su ranije navedene.

3.2.2. RAČUNSKI PRIMJER:

Područje projekta nalazi se na 42,5°N.

Meteorološki podaci su sljedeći (mjesec srpanj):

- srednja temperatura zraka (na 2 m) 23,1°C
- srednji tlak pare (na 2 m) 12,9 mm Hg
- srednja brzina vjetra (na 10 m) 2,19 m/s
- srednje trajanje sunčeva svjetla (n) 9,74 s/dan
- srednja visina oborine (P) 18 mm/10d

Za srpanj dobije se maksimalno trajanje sunčeva svjetla u danu (iz tablice broj 31-7): N = 14,96 sati.

Relativno trajanje sunčeva svjetla

-insolacija iznosi: $n/N = 9,74/14,96 = 0,65$

Iz tablica 32-2, 32-3: ulazna radijacija iznosi 961 cal/cm²/dan.

Ulazna radijacija Rc za relativnu insolaciju $n/N = 0,65$ iznosi:

$$Rc = 0,5445 \times 961 = 523 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$$

Po izrazu (5) izračunato: L = 36

Evapotranspiracija iznosi (izraz 7)

$$ET = \frac{18 + 80}{\left[1 + \left(\frac{18 + 45}{36} \right)^2 \right]^{1/2}} = 49 \text{ mm/10 dana}$$

ili 4,9 mm/dan.

3.2.3. DRUGA TURCOVA FORMULA (1960. g.)

Godine 1960. Turc je predložio sljedeći izraz za računanje potencijalne evapotranspiracije:

$$ET_p = 0,40 \frac{t}{t + 15} (I_g + 50) \text{ mm/mj.} \dots\dots\dots (8)$$

gdje je:

ET_p = potencijalna evapotranspiracija, mm/mjesec

t = srednja mjesečna temperatura zraka u °C (za mjesec s $t \leq 0^\circ\text{C}$ ET_p je jednako nuli)

I_g = globalna radijacija u mjesecu, u malim kalorijama

po cm^2 i po 1 danu, na vodoravnoj površini. I_g se može dobiti mjerenjem ili proračunom:

$$I_g = I_{gA} (0,18 + 0,62 \frac{n}{N}) \dots\dots\dots (9)$$

I_{gA} = maksimalna radijacija uz prozirnost atmosfere = 1

n = efektivno trajanje sunčeva svjetla u tok mjeseca, u satima

N = mjesečno trajanje dana u satima

$\frac{n}{N}$ = relativno trajanje sunčeva svjetla-insolacija

Račun se izvodi po mjesecima. Pri tome se ne pravi razlika za mjesece koji traju 30 ili 31 dan. Međutim, za mjesec veljaču koeficijent 0,40 zamjenjuje se s 0,37. Ako se izraz (8) želi primjeniti za razdoblje od 10 dana, tada se koeficijent 0,40 zamjenjuje s 0,13. Oblik je formule (8) predviđen za relativnu vlažnost $h_r \geq 50\%$.

Za relativnu vlažnost $h_r < 50\%$ ispravlja se osnovni izraz (8) korekcijskim faktorom:

$$\left(1 + \frac{50 - h_r}{70}\right) \dots\dots\dots (10)$$

Druga se Turcova metoda temelji na brojnim eksperimentima na lizimetarskoj stanici u Versaillesu kao i na analizama hidroloških bilansa područja u cijelom svijetu.

Ta se metoda sve više upotrebljava u navodnjavanju, za određivanje potreba kultura za vodom. U početku se metoda najviše primjenjivala za procjenu hidrološkog bilanca slivova.

Lacoste (1963) je izradio nomogram za brzi proračun potencijalne evapotranspiracije po drugoj Turcovoju formuli. Nomogram je prikazan na slici 32-1.

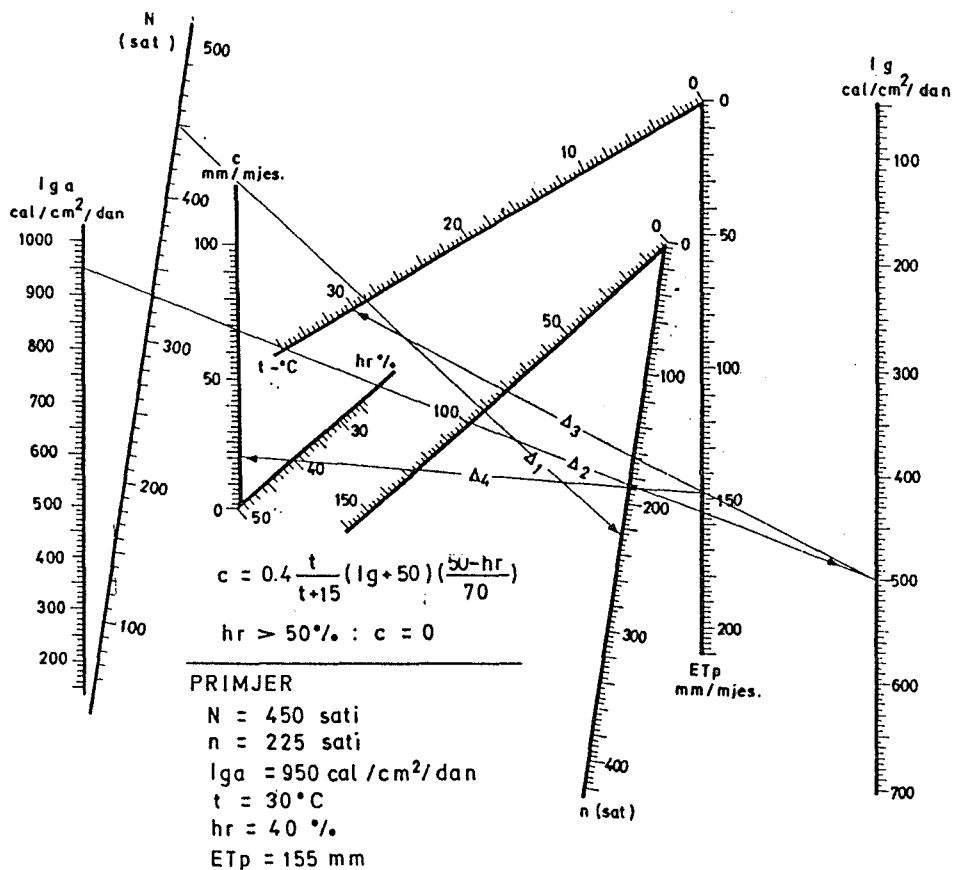
3.2.4. RAČUNSKI PRIMJER

Upotrebljavaju se isti podaci iz brojčanog primjera za prvu Turcovu metodu i uvrštenjem u izraz dobije se:

$$ETp = 0,40 \frac{23.1}{23.1 + 15} (523 + 50) = 139 \text{ mm/mjesec ili } 4,49 \text{ mm/dan}$$

Tablice 32-2 i 32-3.

Iz rezultata računskog primjera vidi se da druga Turcova formula daje za oko 8,4% niže rezultate od prve Turcove formule.



Slika 1. Nomogram Lacoste za proračun ETp po Turcu

a) VRIJEDNOSTI IZRAZA $(0,20 + 0,53 n/N)$
ZA UMJERENU KLIMU

Tablica 32-1a

n/N	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	n/N
0,00	0,2000	0,2053	0,2106	0,2159	0,2212	0,2265	0,2318	0,2371	0,2424	0,2477	0,00
0,10	0,2530	0,2583	0,2636	0,2689	0,2742	0,2795	0,2848	0,2901	0,2954	0,3007	0,10
0,20	0,3060	0,3113	0,3166	0,3219	0,3272	0,3325	0,3378	0,3431	0,3484	0,3537	0,20
0,30	0,3590	0,3643	0,3696	0,3749	0,3802	0,3855	0,3908	0,3961	0,4014	0,4067	0,30
0,40	0,4120	0,4173	0,4226	0,4279	0,4332	0,4385	0,4438	0,4491	0,4544	0,4597	0,40
0,50	0,4650	0,4703	0,4756	0,4809	0,4862	0,4915	0,4968	0,5021	0,5074	0,5127	0,50
0,60	0,5180	0,5233	0,5286	0,5339	0,5392	0,5445	0,5498	0,5551	0,5604	0,5657	0,60
0,70	0,5710	0,5763	0,5816	0,5869	0,5922	0,5975	0,6028	0,6081	0,6134	0,6187	0,70
0,80	0,6240	0,6293	0,6346	0,6399	0,6452	0,6505	0,6558	0,6611	0,6664	0,6717	0,80
0,90	0,6770	0,6823	0,6876	0,6929	0,6982	0,7035	0,7088	0,7141	0,7194	0,7247	0,90
1,00	0,7300										
n/N	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	n/N

b) VRIJEDNOSTI IZRAZA $(0,28 + 0,48 n/N)$ ZA
SUPROTROPSKU I TROPSKU KLIMU

Tablica 32-1b

n/N	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	n/N
0,00	0,2800	0,2848	0,2896	0,2944	0,2992	0,3040	0,3088	0,3136	0,3184	0,3232	0,00
0,10	0,3280	0,3328	0,3376	0,3424	0,3472	0,3520	0,3568	0,3616	0,3664	0,3712	0,10
0,20	0,3760	0,3808	0,3856	0,3904	0,3952	0,4000	0,4048	0,4096	0,4144	0,4192	0,20
0,30	0,4240	0,4288	0,4336	0,4384	0,4432	0,4480	0,4528	0,4576	0,4624	0,4672	0,30
0,40	0,4720	0,4768	0,4816	0,4864	0,4912	0,4960	0,5008	0,5056	0,5104	0,5152	0,40
0,50	0,5200	0,5248	0,5296	0,5344	0,5392	0,5440	0,5488	0,5536	0,5584	0,5632	0,50
0,60	0,5680	0,5728	0,5776	0,5824	0,5872	0,5920	0,5968	0,6016	0,6064	0,6112	0,60
0,70	0,6160	0,6208	0,6256	0,6304	0,6352	0,6400	0,6448	0,6496	0,6544	0,6592	0,70
0,80	0,6640	0,6688	0,6736	0,6784	0,6832	0,6880	0,6928	0,6976	0,7024	0,7072	0,80
0,90	0,7120	0,7168	0,7216	0,7264	0,7312	0,7360	0,7408	0,7456	0,7504	0,7552	0,90
1,00	0,7600										
n/N	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	n/N

ULAZNA RADIJACIJA (Ra) NA GRANICI ATMOSFERE U
cal/cm2 dan (SMITHSONIAN METEOROLOGICAL TABLES,
TABLE 132) ANGOT-VRIJEDNOSTI

Tablica 32-2

°N	month	Jan			Feb			March			April			May			June		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
80	10d							45	105	195	310	455	615	750	865	960	1020	1050	1060
	month								115			460			860			1045	
70	10d				30	75	125	185	260	345	445	550	650	740	840	915	975	1010	1010
	month					75			265			550			830			100	
60	10d	60	80	110	150	210	270	335	405	480	565	655	735	805	865	920	955	980	975
	month		85			210			405			650			865			970	
50	10d	190	215	250	300	355	415	475	540	605	680	745	805	860	910	945	970	985	985
	month		215			355			540			745			905			980	
40	10d	335	360	395	440	495	550	600	655	710	765	820	865	905	940	965	980	990	990
	month		365			495			655			815			935			985	
30	10d	480	500	535	575	620	665	710	750	795	835	875	905	930	950	965	970	975	975
	month		505			620			750			870			950			975	
20	10d	615	635	665	695	730	765	795	825	850	875	895	910	920	930	935	935	935	935
	month		640			730			825			895			930			935	
10	10d	745	760	775	800	820	840	860	875	890	895	900	895	895	890	885	880	875	870
	month		760			820			875			895			890			875	
0	10d	850	860	870	880	890	895	900	895	890	880	870	860	840	825	810	800	795	790
	month		860			890			895			870			825			795	
10	10d	935	935	835	935	930	925	910	895	870	845	820	790	760	735	715	700	690	690
	month		935			930			895			820			730			695	
20	10d	995	990	980	965	945	920	890	860	825	785	745	700	665	630	605	580	570	570
	month		990			945			860			745			635			575	
30	10d	1035	1025	1000	970	930	890	850	805	750	700	645	595	550	510	480	455	440	440
	month		1020			930			800			645			515			445	
40	10d	1050	1025	990	950	895	835	780	720	660	590	530	470	420	380	340	315	305	300
	month		1020			895			720			530			380			305	
50	10d	1040	1010	965	905	835	765	690	620	545	465	395	335	285	240	205	180	170	165
	month		1005			835			620			400			245			170	
60	10d	1020	980	920	840	755	665	580	495	415	330	255	195	145	110	80	60	50	50
	month		975			755			495			260			110			55	
70	10d	1040	985	900	780	660	550	455	360	270	190	115	55	25					
	month		975			665			360			120			10				
80	10d	1090	1030	925	785	620	460	325	210	125	50								
	month		1015			620			210			15							
°S	10d																		
	month																		

MONTH = MJESEC (30 dana)

10 d = 10 dana

JAN = SIJEČANJ

FEB = VELJAČA

MARCH = OŽUJAK

APRIL = TRAVANJ

MAY = SVIBANJ

JUNE = LIPANJ

NASTAVAK

Tablica 32.

July			August			Sept.			Oct.			Nov.			Dec.		
I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
103	980	900	795	670	505	355	230	135	65	10							
5																	
	970			655			240			25							
980	935	860	770	670	570	470	375	290	210	135	80	35					
	925			670			380			140			10				
960	930	885	825	750	670	590	510	430	350	280	215	160	85	60	50	50	
	925			750			510			280			120			55	
975	955	920	875	820	760	695	625	555	490	420	360	305	255	220	195	180	
	950			820			625			425			260			185	
980	970	940	910	870	825	775	720	665	605	550	495	445	400	360	335	320	
	965			870			720			550			400			325	
970	960	950	930	905	875	840	800	755	710	670	620	580	540	510	485	470	
	960			905			800			665			545			475	
935	930	925	920	910	895	875	855	830	795	760	725	695	665	640	625	610	
	930			910			855			760			665			615	
875	880	880	885	890	890	890	880	870	855	840	820	800	775	760	745	735	
	880			890			880			840			780			740	
795	800	815	830	844	855	870	880	885	890	890	885	870	860	855	850	845	
	805			840			880			890			860			845	
695	710	725	745	770	800	830	850	875	895	910	920	925	930	930	930	930	
	710			770			850			910			930			930	
575	590	615	645	680	720	760	800	840	870	905	930	950	970	980	980	1000	
	595			680			800			900			965			995	
450	470	490	530	570	620	675	725	775	825	870	915	955	985	1010	1030	1040	
	470			575			725			870			985			1035	
305	325	360	400	450	505	565	625	690	750	810	870	925	970	1010	1040	1055	
	330			450			625			810			970			1050	
175	190	220	260	310	370	440	510	585	660	740	810	885	945	995	1030	1050	
	195			315			510			735			940			1045	
55	70	95	130	175	230	300	375	460	550	640	730	820	895	960	1010	1040	
	75			180			380			640			890			1030	
				50	95	160	230	325	420	525	635	745	860	950	1020	1070	
				50	240	525	850	1055									
						35	95	175	280	410	565	740	895	1000	1070	1115	
							100	420	880	1105							
I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
July			August			Sept.			Oct.			Nov.			Dec.		

JULY = SRPANJ
 AUGUST = KOLOVOZ
 SEPT. = RUJAN
 OCT. = LISTOPAD
 NOV. = STUDENI
 DEC. = PROSINAC

**SREDNJE MJESEČNE VRIJEDNOSTI RADIJACIJE I_{gA} U MALIM
cal/cm² dan (TURCOVA FORMULA)
ANGOT-VRIJEDNOSTI**

Tablica 32-4

Sjeverna zemljopisna širina

	0°	2°	4°	6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°	20°	22°	24°
I	858	839	819	799	779	759	736	713	690	666	642	616	589
II	888	875	862	849	835	821	804	786	768	750	732	711	690
III	890	887	884	881	877	873	866	858	850	842	834	820	806
IV	862	869	876	882	888	894	896	898	900	901	902	898	894
V	816	830	844	858	872	885	894	903	912	921	930	934	938
VI	790	807	824	841	857	873	886	898	910	922	934	942	950
VII	804	819	834	849	864	879	890	900	910	920	930	935	940
VIII	833	843	853	862	871	880	885	890	894	898	902	900	898
IX	875	875	874	874	873	872	867	861	855	849	843	832	821
X	880	870	860	850	840	830	815	800	785	770	755	736	717
XI	860	842	824	805	786	767	745	723	701	679	656	631	606
XII	842	821	800	779	757	735	710	685	660	635	610	581	553

	26°	28°	30°	32°	34°	36°	38°	40°	42°	44°	46°	48°	50°
I	562	537	508	480	451	422	393	364	335	306	278	250	222
II	668	646	624	599	573	547	521	495	468	441	414	387	360
III	792	778	764	746	728	710	692	673	651	629	607	585	562
IV	890	885	880	871	862	853	843	833	820	806	792	778	764
V	942	946	950	949	948	947	946	944	940	935	930	925	920
VI	958	965	972	975	978	981	983	985	985	984	984	983	983
VII	945	950	955	956	957	957	958	958	954	950	946	942	938
VIII	896	894	891	885	879	872	865	858	847	836	824	812	800
IX	810	799	788	773	758	742	726	710	690	670	649	628	607
X	698	678	658	634	610	586	561	536	510	484	458	431	404
XI	580	554	528	501	474	446	418	390	362	333	304	275	246
XII	525	497	469	439	410	381	352	323	294	265	236	208	180

Južna zemljopisna širina

	0°	2°	4°	6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°	20°	22°	24°	26°	28°	30°
I	858	865	872	879	886	893	911	930	949	968	986	991	996	1001	1005	1009
II	888	888	888	888	888	888	898	908	918	928	937	935	932	929	926	923
III	890	887	884	880	876	872	867	862	857	851	845	833	821	809	796	783
IV	862	854	846	838	829	820	802	783	764	745	726	807	686	669	649	629
V	816	804	792	780	767	754	727	700	672	644	616	591	567	543	519	495
VI	790	777	764	751	738	724	693	662	631	601	571	544	517	491	465	439
VII	804	794	782	771	760	748	717	687	657	627	597	572	547	522	497	473
VIII	833	828	822	816	810	804	781	758	735	713	691	670	649	628	607	586
IX	875	875	874	873	872	871	858	845	832	820	808	793	778	763	748	734
X	880	884	887	890	893	896	898	900	902	904	905	900	895	890	885	880
XI	860	868	876	884	892	900	915	929	943	957	971	975	978	981	984	987
XII	842	851	861	871	891	891	912	932	952	972	992	1000	1008	1016	1024	1031

MJESEČNO TRAJANJE DANA N U satima/mjeseć
(MAKSIMALNO MOGUĆE SUNČEVO SVJETLO)
TURCOVA FORMULA

Tablica 32-5

	0°	2°	4°	6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°	20°	22°	24°
I	375	372	369	366	363	360	357	354	351	348	344	340	336
II	342	341	339	337	335	333	331	330	328	327	325	323	321
III	375	375	375	374	374	374	374	374	373	373	373	373	373
IV	363	364	366	367	369	370	371	373	374	376	378	379	381
V	375	378	381	384	387	390	393	396	399	402	406	410	418
VI	363	366	369	373	377	381	384	388	392	396	400	408	412
VII	375	378	381	384	387	391	394	398	402	406	410	413	417
VIII	375	377	379	381	383	386	388	390	392	394	397	399	402
IX	363	363	364	364	365	365	366	366	367	367	368	368	369
X	375	374	373	372	370	369	368	367	366	364	363	361	360
XI	363	361	359	357	354	351	348	345	342	339	336	333	330
XII	375	372	369	365	361	357	354	350	342	342	338	334	330
	26°	28°	30°	32°	34°	36°	38°	40°	42°	44°	46°	48°	50°
I	332	328	324	320	316	311	306	301	294	297	280	273	266
II	319	316	313	311	309	307	304	301	298	295	292	288	284
III	372	372	372	372	372	371	371	371	370	370	370	369	369
IV	384	385	387	389	391	395	395	398	401	404	407	410	413
V	421	421	425	429	433	441	441	446	452	458	465	472	479
VI	317	317	322	327	332	343	343	349	357	365	373	381	390
VII	421	425	355	434	439	449	449	455	462	469	476	484	492
VIII	404	407	320	413	416	422	422	425	429	434	439	444	449
IX	369	370	317	371	372	373	373	374	375	376	377	378	379
X	359	357	429	354	352	348	348	346	344	342	340	337	334
XI	327	324	410	316	312	304	304	300	295	290	284	278	272
XII	326	322	371	312	307	297	297	291	283	276	269	261	253

LITERATURA

1. TURC, L.: *Nouvelle formule pour le calcul du bilan de l'eau en fonction des valeurs annuelles moyennes des precipitations et de la temperature.* C. R. Acad. Sci. 233, 1951.
2. TURC, L.: *Le bilan d'eau des sols. Relation entre la precipitation, l'evaporation et l'ecoulement.* Ann. Agr. 6, 1954.
3. TURC, L.: *Evaluation des besoins en eau d'irrigation, evapotranspiration potentielle. Formule climatique simplifiee et miss a Jour.* Ann. Agr. 12. 1960.
4. LACOSTE, E.: *Calcul graphique de l'evapotranspiration potentielle selon les formules de R.J. Bouchet et L. Turc.* 1963.
5. CONSTANTINIDIS, C. ATH.: *Bonifica ed irrigazione.* 2a ed. Edagricole, Bologna, 1981.

Prof.dr FRANE TOMIĆ
Prof.dr ŽELJKO VIDAČEK
Mr DAVOR ROMIĆ
Agronomski fakultet
Sveučilišta u Zagrebu

3.3. METODA THORNTHWAITEA

Za određivanje potencijalne evapotranspiracije tom metodom upotrebljavaju se podaci temperature zraka s korekcijom u odnosu na zemljopisnu širinu ili dužinu dnevnog osvjetljenja. Ona se temelji na empiričkom izrazu:

$$PET = 1,6 (10 t/I)^a$$

PET = potencijalna evapotranspiracija u cm/mjesec

t = srednja mjesečna temperatura zraka u °C

I = godišnji toplinski indeks koji se dobiva zbrajanjem dvanaest mjesečnih vrijednosti toplinskog indeksa (i)

a = vrijednost koja se izvodi iz godišnjega toplinskog indeksa

Toplinski mjesečni indeks (i) dobiva se izrazom:

$$i = (t/5)^{1,514}$$

Vrijednost "a" izvodi se iz godišnjega toplinskog indeksa (I) pomoću relacije:

$$a = 0,675 \cdot 10^{-6} \cdot I^3 - 0,771 \cdot 10^{-4} \cdot I^{-4} \cdot I^2 + 0,01782 \cdot I + 0,498$$

ili pomoću pojednostavljenog izraza Serra:

$$a = \frac{1,6}{100} \cdot I + 0,5$$

Tako dobivene vrijednosti potencijalne evapotranspiracije odnose se na uvjete trajanja dnevnog svjetla od 12 sati. U svrhu određivanja PET za sva zemljopisna područja, odnosno za različite dužine dana, u navedeni izraz stavlja se i korekcijski koeficijent (k).

Prema tome, vrijednost korigirane potencijalne evapotranspiracije određuje se izrazom:

$$PET_k = 16 (10 \frac{t}{I})^a \cdot k$$

Korekcijski koeficijent "k" određuje se za zemljopisnu širinu i vrijeme godine (mjesec) iz tablice 1.

U svrhu lakšega i bržeg određivanja pojedinih elemenata navedenog izraza, odnosno za određivanje vrijednosti potencijalne evapotranspiracije, upotrebljavaju se tablica 33-2 i grafikoni (slika 33-1 i 33-2).

U nastavku se iznosi postupak pri određivanju potencijalne evapotranspiracije metodom Thornthwaitea. Za izračunavanje potencijalne evapotranspiracije upotrebljava se, dakle, jedan meteorološki element - temperatura zraka. Od temperatura potrebne su srednje mjesečne vrijednosti. Dakle, postupak je određivanja sljedeći:

- prvo se odrede mjesečni toplinski indeksi (i) iz tablice 1 ili pomoću dijagrama (slika 33-1) ili proračunom po formuli na temelju srednjih mjesečnih temperatura zraka;

- zbroj mjesečnih toplinskih indeksa daje godišnji toplinski indeks (I); razumljivo je da se i mjesečni i godišnji toplinski indeks mijenja iz godine u godinu kao i od mjesta do mjesta adekvatno promjeni temperature;

- zatim se određuje potencijalna nekorigirana evapotranspiracija pomoću nomograma (slika 33-2). Nomogram se sastoji od dvostruke logaritamske skale (temperatura zraka), odnosno godišnji toplinski indeks na ordinati i na apscisi;

- potencijalna evapotranspiracija u mm. Na nomogramu je označena stalna točka, tzv. "točka konvergencije" kod temperature od 26,5°C.

Ta točka, zajedno s godišnjim toplinskim indeksom (I), označuje položaj pravca na nomogramu pomoću kojega se na temelju srednjih mjesečnih temperatura određuje potencijalna evapotranspiracija. Dakle, postoji linearan odnos logaritma temperature i logaritma nekorigirane potencijalne evapotranspiracije (pravac od točke konvergencije jest kod temperature 26,5°C do točke na skali godišnjeg toplinskog indeksa). Pomoću ucrtanog pravca čitaju se izravno vrijednosti potencijalne nekorigirane evapotranspiracije. Naime, na ordinati se nađe srednja mjesečna temperatura (za svaki mjesec), zatim se ide vodoravno do konstruiranog pravca, a nakon toga spušta se okomito linija na apscisu na kojoj se čita vrijednost nekorigirane potencijalne evapotranspiracije za odgovarajući mjesec.

Ako je srednja mjesečna temperatura iznad 26,5°C, uz nomogram je priložena tablica u kojoj se mogu očitati vrijednosti i nekorigirane potencijalne evapotranspiracije koje odgovaraju temperaturi za sve indekse. To je zbog toga što se Thornthwaiteova metoda temelji na pretpostavci da je potencijalna evapotranspiracija ovisna po eksponencijalnom zakonu o temperaturi sve dok se ona nalazi ispod 26,5°C. Za veće temperature ovisnost je linearnog karaktera:

- određena se vrijednost nekorigirane potencijalne evapotranspiracije korigira za odgovarajuću dužinu dana i mjeseca. Koeficijent korekcije (k) odredi se

Korekcijski faktor "k" u formuli Thornthwaitea

Tablica 33-1

Geografska širina	Mjesec												
	I	II	II	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
0	1,04	0,94	1,04	1,01	1,04	1,03	1,04	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04	1,01
5	1,02	0,93	1,03	1,02	1,06	1,03	1,06	1,05	1,01	1,03	1,01	1,03	1,02
10	1,00	0,91	1,03	1,03	1,08	1,06	1,08	1,07	1,02	1,02	1,02	1,02	0,98
15	0,97	0,91	1,03	1,04	1,11	1,08	1,12	1,08	1,02	1,01	1,02	1,01	0,95
20	0,95	0,90	1,03	1,05	1,13	1,11	1,14	1,11	1,02	1,00	1,02	1,00	0,94
25	0,93	0,89	1,03	1,06	1,15	1,14	1,17	1,12	1,02	0,99	1,02	0,99	0,91
26	0,92	0,88	1,03	1,06	1,15	1,15	1,17	1,12	1,02	0,99	1,02	0,99	0,91
27	0,92	0,88	1,03	1,07	1,16	1,15	1,18	1,13	1,02	0,99	1,02	0,99	0,90
28	0,91	0,86	1,03	1,07	1,16	1,16	1,18	1,13	1,02	0,98	1,02	0,98	0,90
29	0,91	0,87	1,03	1,07	1,17	1,16	1,19	1,13	1,03	0,98	1,03	0,98	0,90
30	0,90	0,87	1,03	1,08	1,18	1,17	1,20	1,14	1,03	0,98	1,03	0,98	0,88
31	0,90	0,87	1,03	1,08	1,18	1,18	1,20	1,14	1,03	0,98	1,03	0,98	0,88
32	0,89	0,86	1,03	1,08	1,18	1,19	1,21	1,15	1,03	0,98	1,03	0,98	0,88
33	0,88	0,86	1,03	1,09	1,19	1,20	1,22	1,15	1,03	0,97	1,03	0,97	0,88
34	0,88	0,85	1,03	1,09	1,20	1,20	1,22	1,16	1,03	0,97	1,03	0,97	0,86
35	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	0,97	1,03	0,97	0,85
36	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	1,03	0,97	1,03	0,97	0,84
37	0,86	0,84	1,03	1,10	1,22	1,23	1,25	1,17	1,04	0,96	1,03	0,96	0,83
38	0,85	0,84	1,03	1,11	1,23	1,24	1,25	1,17	1,04	0,96	1,04	0,96	0,83
39	0,85	0,84	1,03	1,11	1,23	1,24	1,26	1,18	1,04	0,96	1,04	0,96	0,82
40	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	1,04	0,96	0,81
41	0,83	0,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	1,04	0,96	0,80
42	0,82	0,83	1,03	1,12	1,26	1,27	1,28	1,19	1,04	0,95	1,04	0,95	0,79
43	0,81	0,82	1,02	1,12	1,26	1,28	1,29	1,20	1,04	0,95	1,04	0,95	0,77
44	0,81	0,82	1,02	1,13	1,27	1,29	1,30	1,20	1,04	0,95	1,04	0,95	0,76
45	0,80	0,81	1,02	1,13	1,28	1,29	1,31	1,21	1,04	0,94	1,04	0,94	0,75
46	0,79	0,81	1,02	1,13	1,29	1,31	1,32	1,22	1,04	0,94	1,04	0,94	0,74
47	0,77	0,80	1,02	1,14	1,30	1,32	1,33	1,23	1,04	0,93	1,04	0,93	0,73
48	0,76	0,80	1,02	1,14	1,31	1,33	1,34	1,23	1,05	0,93	1,05	0,93	0,72
49	0,75	0,79	1,02	1,15	1,32	1,34	1,35	1,24	1,05	0,92	1,05	0,92	0,71
50	0,74	0,79	1,02	1,15	1,33	1,36	1,37	1,24	1,05	0,92	1,05	0,92	0,69

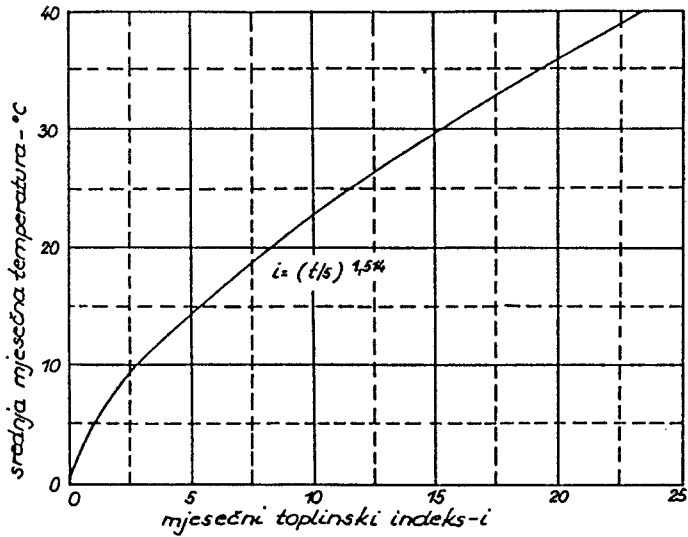
u tablici 33-1 na temelju vrijednosti zemljopisne širine za svaki mjesec. Za mjesta koja imaju zemljopisnu širinu veću od 50°C, uzima se koeficijent korekcije za 50°C;

- zbroj 12 mjesečnih određenih vrijednosti daje godišnju potencijalnu evapotranspiraciju.

Vrijednosti mjesečnoga toplinskog indeksa "i" u formuli Thornthwaitea

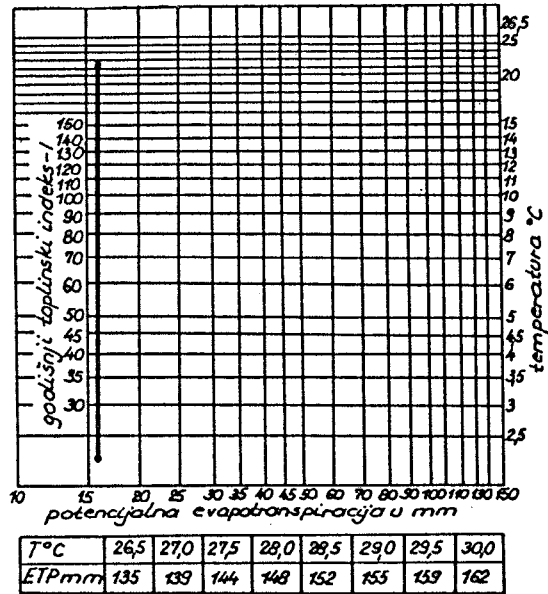
Tablica 33-2

T°C	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	2.77	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	12.12	12.28	12.35	12.42	12.49	12.56	12.63	12.70	12.78
27	12.85	12.29	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	14.89	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



Slika33-1

Dijagram za određivanje mjesečnoga toplinskog indeksa (i)



Slika33-2

Nomogram za određivanje vrijednosti potencijalne evapotranspiracije po Thorthwaiteu

Na temelju iznijetog postupka prikazujemo primjer određivanja potencijalne evapotranspiracije za meteorološku stanicu Zadar, i to za prosječne vrijednosti dvadesetgodišnjeg vremenskog razdoblja (1965-1984).

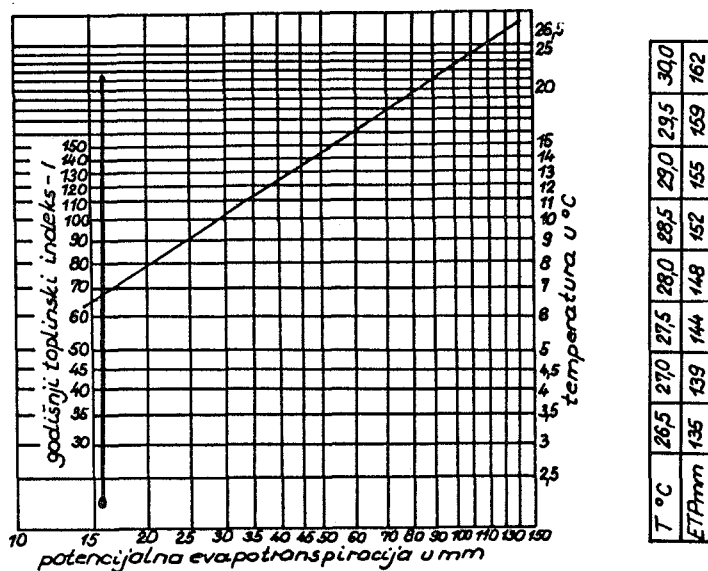
Srednje mjesečne temperature ($^{\circ}\text{C}$) u Zadru tijekom navedenog razdoblja bile su:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.	Veg.
6,9	7,5	9,5	12,6	17,1	20,9	23,4	22,9	19,7	15,6	11,5	8,1	14,6	19,4

Na temelju vrijednosti srednjih mjesečnih temperatura iz tablice 33-1 ili grafikona 33-1 dobiju se sljedeće vrijednosti mjesečnoga toplinskog indeksa (i):

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.	Veg.
1,6	1,8	2,6	4,1	6,4	8,7	10,3	10,0	8,0	5,6	3,5	2,1	64,9	19,4

Treba istaknuti da godišnji toplinski indeks (I), dakle, iznosi vrijednost 64,9. Njegova se vrijednost nađe na lijevoj ordinati grafikona (slika 33-2) te se od ove vrijednosti povuče pravac do točke konvergencije" ($26,5^{\circ}\text{C}$), kao što je učinjeno na slici 33-3.



Slika33-3 Nomogram za određivanje vrijednosti potencijalne evapotranspiracije po Thornthwaiteu za Zadar.

Pomoću nomograma (slika 33-3) i srednjih mjesečnih temperatura u °C, dobiju se sljedeće vrijednosti nekorigirane potencijalne evapotranspiracije (PET nekorigirana) u mm:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.	Veg.
17	18	27	40	68	89	108	102	83	57	37	23	669	490

Kako smo već istakli u postupku određivanja evapotranspiracije, ove vrijednosti nekorigirane potencijalne evapotranspiracije treba množiti s korekcijskim koeficijentom, koji za Zadar (zemljopisna širina 45), uz tablice 33-1, iznosi:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.	Veg.
0,8	0,81	1,02	1,13	1,28	1,29	1,31	1,21	1,04	0,94	0,79	0,75		

Rezultat su korekcije vrijednosti korigirane potencijalne evapotranspiracije (PET korigirana), koja za uvjete Zadra iznosi:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.	Veg.
13,6	14,6	27,5	45,2	87,0	114,8	141,5	123,4	86,3	53,6	29,2	7,3	754	598,2

Na prikazani su način određene vrijednosti PET za još 18 mjesta u Hrvatskoj. Njihove se vrijednosti iznose u tablici 33-3.

3.4. METODA BLANEY - CRIDDLE

Izbor empirijske metode za određivanje referentne evapotranspiracije određen je raspoloživim klimatskim podacima kao i točnosti koja se zahtijeva kad se određuje potreba za vodom. Budući da je temperatura najčešće mjereni meteorološki parametar, to je i mogućnost aplikacije te metode velika jer se ona metoda u originalnom obliku temelji na tom parametru. Originalna Blaney - Criddle metoda (Blaney i Criddle, 1950) opisana je sljedećom jednadžbom:

$$f = \frac{p \cdot T}{100}, \dots\dots\dots (1)$$

gdje je:

**Potencijalna evapotranspiracija izračunata
metodom Thornthwaitea za određena mjesta
u Hrvatskoj (vremensko razdoblje 1965-1984)**

Tablica 33-3

Red. broj	Meteoroološka stanica	Mjeseci												Suma		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	I-XII	IV-IX	
1,	Osijek	0,0	4,3	24,3	50,8	96,8	119,8	131,7	116,6	78,7	45,6	14,8	1,8	685,5	594,4	
2,	Đakovo	0,0	5,1	25,5	50,9	93,9	118,1	130,6	115,7	78,6	43,8	15,5	2,1	679,7	587,8	
3,	Brod	0,0	4,6	25,9	49,6	92,1	117,2	128,0	114,1	76,0	40,8	14,3	1,9	664,4	577,0	
4,	Daruvar	0,0	6,2	26,1	47,6	93,2	117,2	129,6	112,7	76,9	43,9	16,9	3,5	673,7	577,2	
5,	Bjelovar	0,0	5,3	25,6	50,4	91,6	115,9	128,1	111,5	76,1	41,5	15,1	1,4	662,5	573,6	
6,	Križevci	0,0	4,6	24,7	49,6	90,3	114,4	126,2	110,6	70,5	41,7	15,1	1,4	648,9	561,6	
7,	Koprivnica	0,0	4,8	24,4	49,6	92,0	116,6	127,9	112,0	76,4	42,2	15,6	2,2	663,6	574,5	
8,	Varaždin	0,0	4,7	24,3	49,6	89,7	109,6	127,3	113,5	75,1	42,2	15,2	1,3	652,3	564,8	
9,	Zagreb-Grič	1,5	8,3	28,8	53,6	93,3	118,0	133,9	116,4	78,2	45,2	17,6	4,2	699,4	593,4	
10,	Gospić	0,0	3,4	22,0	41,7	76,6	101,4	112,8	98,6	68,0	42,8	15,6	0,8	583,5	499,1	
11,	Kuun	7,6	11,8	27,1	48,5	88,8	118,5	139,5	122,5	95,5	49,3	22,3	9,8	741,3	613,3	
12,	Dubrovnik	17,5	19,4	32,9	50,7	89,7	123,4	147,1	136,7	98,0	63,9	36,2	21,9	837,2	645,6	
13,	Split-Marjan	14,0	15,9	29,8	50,1	94,6	130,6	159,9	142,9	99,9	59,7	30,3	17,1	844,7	678,0	
14,	Šibenik	12,8	15,3	29,5	49,5	91,7	123,9	150,1	134,3	94,2	57,5	29,2	15,3	803,3	643,7	
15,	Zadar	13,6	14,6	27,5	45,2	87,0	114,8	141,5	123,4	86,3	53,6	29,2	17,3	754,0	598,2	
16,	Rijeka	11,7	13,7	27,6	49,3	87,8	117,1	141,3	125,6	86,5	53,6	26,2	13,9	754,3	607,6	
17,	Pula	11,7	13,7	26,9	47,7	85,9	120,1	144,4	126,0	85,6	53,9	26,6	15,5	757,1	609,7	
18,	Božjakovina	0,0	4,6	26,4	51,9	93,0	117,7	131,7	113,9	76,7	42,7	15,1	2,0	675,6	584,9	
19,	Zagreb-Maksimir	0,0	5,9	25,6	50,0	90,3	115,3	127,5	110,9	75,6	42,5	15,9	2,4	662,0	569,6	

f = mjesečni faktor konzumne potrošnje

p = postotak od ukupnoga godišnjeg osunčanja tijekom mjeseca

T = srednja mjesečna temperatura zraka, °F

Da bi se izvršila konverzija °F u °C, prethodna jednadžba piše se:

$$f = p (0,46 t + 8) \dots\dots\dots (2)$$

Vrijednost "p" mijenja se zavisno od mjeseca i zemljopisne širine. Da bi se mjesečni faktor konzumne potrošnje vode primijenio u proračunu evapotranspiracije, Blaney i Criddle postavili su sljedeću relaciju:

$$ET = \sum_{i=1}^n k_i \cdot f_i = KF \dots\dots\dots (3)$$

gdje je:

$\sum ET$ = sezonska evapotranspiracija biljke u mm

n = broj mjeseci u vegetacijskom razdoblju

k_i = mjesečni Blaney - Criddleov koeficijent kulture

K = sezonski Blaney - Criddleov koeficijent kulture

F = $\sum f_i$ tijekom vegetacijskog razdoblja

Soil Conservation Service (SCS) (citira Cuence, 1989) pokušao je poboljšati originalnu Blaney - Criddle metodu. Uspoređivale su se mjerena i izračunata potreba biljke za vodom te, koristeći temperaturu zraka, izvedena je jednadžba linearne regresije za popravljane izračunatih potreba biljke.

Ta nadopuna nije uvela novi meteorološki parametar u postojeću Blaney - Criddle metodu. Modifikacija koju je izvršio Soil Conservation Service (1970) data je sljedećom jednadžbom:

$$ET = \sum_{n=1}^n kt_i \cdot k_i \cdot f_i = K \sum_{i=1}^n kt_i \cdot f_i \dots\dots\dots (4)$$

gdje je:

$$kt_i = 0,01737 i - 0,314$$

SCS dao je i vrijednosti koeficijenata kulture koji vrijede samo za metodu Blaney - Criddle.

Koeficijent kulture K odnosi se na datu kulturu te zavisi uglavnom od značajki biljaka (datuma sjetve/sadnje, razvojne faze, dužine vegetacije) i klimatskih značajki.

Jensen (1974) je uspoređivao na tri lokacije vrijednost SCS modifikacije Blaney - Criddleove metode s podacima izmjerenim u lizimetrima na klimatskim različitim područjima. Na maloj nadmorskoj visini humidnog područja dobio je dobro slaganje između usporenih podataka. Na maloj nadmorskoj visini semiaridnog područja tijekom vršnog razdoblja potreba biljke, izmjerene vrijednosti u lizimetru veće su za 19%, dok na velikoj nadmorskoj visini aridnog područja u vršnom razdoblju potreba biljke, izmjerene su vrijednosti veće od 29%.

Uočavajući da se Blaney - Criddleovom metodom dobivaju različite vrijednosti evapotranspiracije u usporedbi s izmjerenim vrijednostima u lizimetru, FAO je modificirao tu metodu. Ta modifikacija Blaney - Criddleove metode proizišla je iz analize odnosa između referentne evapotranspiracije ET_o i konzumne potrošnje vode f (ET_o/f). Temeljeći se na analizi statističkih podataka 13 meteoroloških stanica, u postojeću je metodu dodan učinak lokalnih klimatskih parametara: minimalne relativne vlage zraka (RH_{min}), relativnog osunčanja (n/N) i danje brzine vjetra (Doorenbos i Pruitt, 1977).

Tablica 34-1 Vrijednost za faktor "b" u formuli za izračunavanje ET_o

Jednadžba za izračunavanje referentne evapotranspiracije (ET_o) glasi:

$$ET_o = c (p (0,46 t + 8)), \dots\dots\dots (5)$$

gdje je:

ET_o = referentna evapotranspiracija mm/mj

c = korekcijski faktor ovisan o minimalnoj relativnoj vlazi zraka, insolaciji i brzini vjetra.

Referentne evapotranspiracija ET_o definirana je (Doorenbos i Pruitt, 1977) kao vrijednost evapotranspiracije sa određene površine 8-15 cm visokog zelenoga travnatog pokrivača jednolične visine, aktivno uzgajane, koja kompletno zasjenjuje površinu te ne oskudijeva u vodi.

Za izračunavanje referentne evapotranspiracije Doorenbos i Pruitt (1977) daju dvije mogućnosti, matematičku i grafičku. Koeficijent "c" u jednadžbi 5 za matematičko izračunavanje ET_o podijeljen je na faktor "a" i "b" kako slijedi:

$$ET_o = a + b (p (0,46 t + 8)) \dots\dots\dots (6)$$

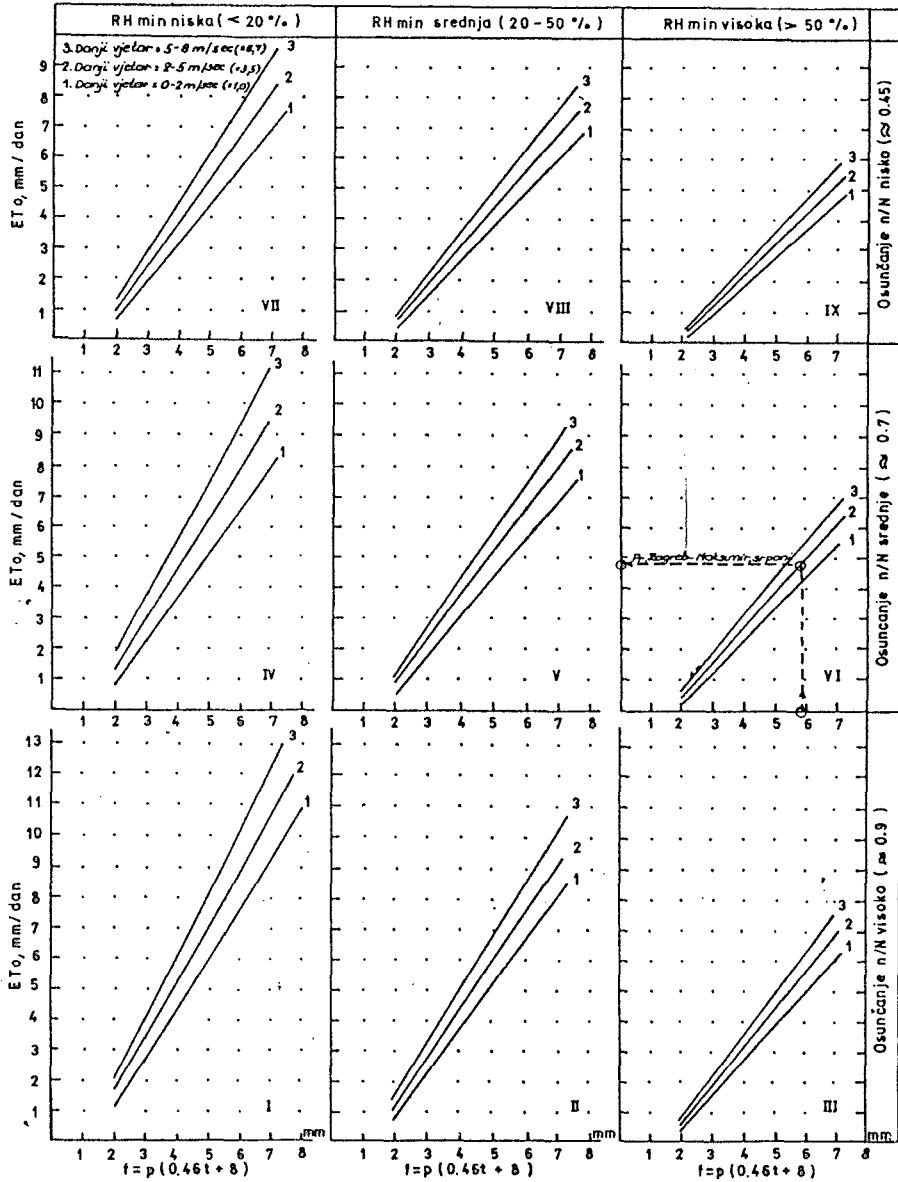
Kao rezultat regresivne analize faktor "a" dobije se iz izraza

$$a = 0,0043 (RH_{min}) - n/N - 1,41 \dots\dots\dots (7)$$

Vrijednost za faktor "b" u formuli za izračunavanje ET_0

Tablica 34-1

n/N	RH _{min} %						Danji vjetar m/s
	0	20	40	60	80	100	
0,0	0,84	0,80	0,74	0,64	0,52	0,38	U ₂ =0
0,2	1,03	0,95	0,87	0,76	0,63	0,48	
0,4	1,22	1,10	1,01	0,88	0,74	0,57	
0,6	1,38	1,24	1,13	0,99	0,85	0,66	
0,8	1,54	1,37	1,25	1,09	0,94	0,75	
1,0	1,68	1,50	1,36	1,18	1,04	0,84	
0,0	0,97	0,90	0,81	0,68	0,54	0,40	U ₂ =2
0,2	1,19	1,08	0,96	0,84	0,66	0,50	
0,4	1,41	1,26	1,11	0,97	0,77	0,60	
0,6	1,60	1,42	1,25	1,09	0,89	0,70	
0,8	1,79	1,59	1,39	1,21	1,01	0,79	
1,0	1,98	1,74	1,52	1,31	1,11	0,89	
0,0	1,08	0,98	0,87	0,72	0,56	0,42	U ₂ =4
0,2	1,33	1,18	1,03	0,87	0,69	0,52	
0,4	1,56	1,38	1,19	1,02	0,82	0,62	
0,6	1,78	1,56	1,34	1,15	0,94	0,73	
0,8	2,00	1,74	1,50	1,28	1,05	0,83	
1,0	2,19	1,90	1,64	1,39	1,16	0,92	
0,0	1,18	1,06	0,92	0,74	0,58	0,43	U ₂ =6
0,2	1,44	1,27	1,10	0,91	0,72	0,54	
0,4	1,70	1,48	1,27	1,06	0,85	0,64	
0,6	1,94	1,67	1,44	1,21	0,97	0,75	
0,8	2,18	1,86	1,59	1,34	1,09	0,85	
1,0	2,39	2,03	1,74	1,46	1,20	0,95	
0,0	1,26	1,11	0,96	0,76	0,60	0,44	U ₂ =8
0,2	1,52	1,34	1,14	0,93	0,74	0,55	
0,4	1,79	1,56	1,32	1,10	0,87	0,66	
0,6	2,05	1,76	1,49	1,25	1,00	0,77	
0,8	2,30	1,96	1,66	1,39	1,12	0,87	
1,0	2,54	2,14	1,82	1,52	1,24	0,98	
0,0	1,29	1,15	0,98	0,78	0,61	0,45	U ₂ =10
0,2	1,58	1,38	1,17	0,96	0,75	0,56	
0,4	1,86	1,61	1,36	1,13	0,89	0,68	
0,6	2,13	1,83	1,54	1,28	1,03	0,79	
0,8	2,39	2,03	1,71	1,43	1,15	0,89	
1,0	2,63	2,22	1,86	1,56	1,27	1,00	



Slika 34-1

Proračun ET_0 po Blaney Criddleu uzimajući u obzir relativnu vlagu, osunčanje i brzinu vjetra

Vrijednost koeficijenta "b" data je tabelarno a u funkciji minimalne relativne vlage zraka (RH_{min}), odnosa stvarne i moguće insolacije (n/N) i danje brzine vjetra U_2 , što je prikazano u tablici 34-1.

Cuenca i Jensen (1988) pojednostavili su, bez znatnog gubitka na točnosti, postupak za izračunavanje faktora "b" iz jednadžbe 6 te dali sljedeću jednadžbu:

$$b = 0,82 - 0,0041 (RH_{min}) + 1,07 (n/N) + 0,066 (U_2) \\ 0,006 (RH_{min}) \cdot (n/N) - 0,0006 (RH_{min}) \cdot (U_2)$$

Za proračun referentne evapotranspiracije izrađeni su grafikoni koji su prikazani na slici 34-1.

POSTUPAK ZA IZRAČUNAVANJE EVAPOTRANSPIRACIJE PO MODIFIKACIJI BLANEY - CRIDLEOVE METODE OD STRANE FAO-a

Kad se koristimo postojećim grafikonom (slika 34-1), važno je uočiti da je on u funkciji minimalne relativne vlage zraka (RH_{min}), odnosa između stvarne i moguće insolacije (n/N) i danje brzine vjetra (U_2).

Grafikoni su podjeljeni u tri reda i tri kolone zbog gradacije klimatskih parametara kako slijedi:

Minimalna relativna vlaga zraka, RH_{min}

- niska < 20 %
- srednja 20-50 %
- visoka > 50 %

Relativna insolacija (osunčanje), n/n

- niska < 0,6 %
- srednja 0,6-0,8
- visoka > 0,8

Danja brzina vjetra U_2

- mala < 2 m/s (crta 1)
- srednja 2-5 m/s (crta 2)
- visoka 5-8 m/s (crta 3)

Primjer 1

Za slučaj meteorološke stanice Zagreb-Maksimir, a na osnovi dvadesetgodišnjih prosječnih podataka (1965-1984) izračunata je referentna evapotranspiracija koristeći se grafikonom na slici 34-1.

Ulazni podaci

METEOROLOŠKA STANICA ZAGREB-MAKSIMIR

Zemljopisna širina 45° 49''

Zemljopisna dužina 16° 02''

Nadmorska visina 123 mm

Srednji postotak dnevne svjetlosti po danu od ukupne godišnje sume (p)

Tablica 34-2

Zem. šir.o.	Mjesec											
	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	0,30	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

- Srednja temperatura zraka za srpanj 20°C

- Minimalna relativna vlaga zraka za srpanj 53,3%

- Brzina vjetra u srpnju 1,5 m/s

- Insolacija u srpnju 289,1 sat

Prvi korak kod izračunavanja referentne evapotranspiracije jest izračunavanje dnevnih faktora konzumne potrošnje "f" pomoću izraza:

$$f = p (0,46 t + 8)$$

Vrijednost "p" (dnevni postotak od ukupnoga godišnjeg osunčanja) za datu zemljopisnu širinu i mjesec nalaze se u tablici 34-1.

Za slučaj navedene meteorološke stanice, a za mjesec srpanj, on iznosi 0,345 (interpolacijom).

Mjesečni faktor konzumne potrošnje iznosi:

$$f = 0,345 (0,46 \cdot 20 + 8) = 5,9 \text{ mm/dan}$$

Relativno osunčanje predstavlja odnos između stvarnoga i maksimalno mogućeg osunčanja (n/N).

Podaci o srednjem dnevnom trajanju osunčanja, koje se mijenja u pojedinom mjesecu, a ovisno o zemljopisnoj širini, dati su u tablici 31-7.

Za slučaj navedene meteorološke stanice, a za mjesec srpanj ona iznosi:

$$289,1/31 = 9,3$$

$$n = 9,3$$

$$N = 15,3 \text{ (interpolacijom)}$$

$$n/N = 0,61$$

Za izračunavanje referentne evapotranspiracije po modifikaciji Blaney - Criddleove metode od strane FAO-a je podatak i dnevna brzina vjetra. Ako je brzina vjetra mjerena za 24 sata, potrebno ju je preračunati u danju brzinu vjetra. Kos (1984) daje odnos između danje i noćne brzine vjetra te iznosi da dnevne podatke brzine vjetra treba pomnožiti s 1,33 da se dobije podatak danje brzine vjetra.

Za slučaj navedene meteorološke stanice, a za mjesec srpanj, danja brzina vjetra iznosi:

$$1,6 \cdot 1,33 = 2,13 \text{ m/s}$$

Sada je moguće, na osnovi uređenih ulaznih podataka, upotrijebiti postojeće grafikone tako da se za izračunatu konzumnu potrošnju vode ("f") odredi referentna evapotranspiracija. S obzirom na podatak minimalne relativne vlage zraka (> 50%) izabere se odgovarajuća kolona. Na osnovi podatka relativnog osunčanja ($n/N = 0,61$) odabere se odgovarajući red u grafikonu (sl 34-1). Izračunata danja brzina vjetra uspoređi se s postojećim graničnim vrijednostima koje su označene brojevima od 1-3. U odabranom grafikonu s mjesta izračunate vrijednosti konzumne potrošnje vode ("f"), koja se nalazi na "X" osi, dignemo okomicu na pravac danje brzine vjetra. Iz tog presjecišta povuče se paralela s osi "X" na os "Y", s koje očitavamo vrijednost referentne evapotranspiracije u mm/dan.

Referentna evapotranspiracija na osnovi podataka izmjenjenih za srpanj meteorološke stanice Zagreb - Maksimir, a koristeći postojeći grafikon, iznosi 4,8 mm/dan ili u srpnju 148,8 mm/mjesec.

Redoslijed operacija proračuna referentne evapotranspiracije po modifikaciji Blaney-Criddleove metode od strane FAO-a za podatke s meteorološke stanice Zagreb - Maksimir, prikazan je u dijagramu toka slika 34-5.

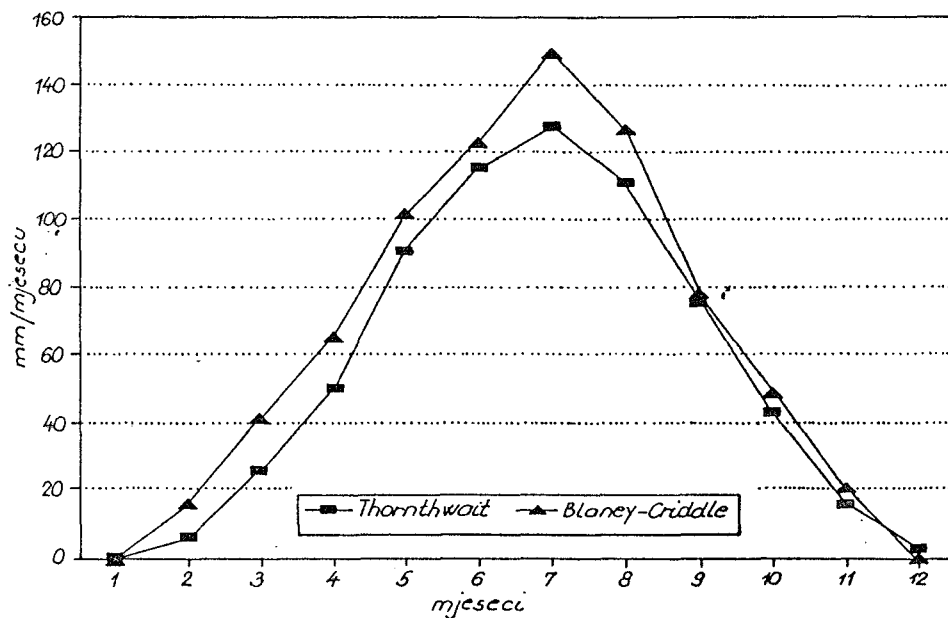
Drugi primjer, za istu meteorološku stanicu (Zagreb - Maksimir, 1965-1984), odnosi se na referentnu evapotranspiraciju koristeći matematičko računanje s izrazom $ET_0 = a + b [p (0,46 t + 8)]$, kako slijedi:

Ulazni podaci (za srpanj)

$$RH_{\min} = 53,3$$

PODACI	MJESEC SRPANJ	MJESTO: ZAGREB MAKSIMIR	ŠIRINA: 45° 49' DUŽINA: 16° 02'	NADMORSKA VIS. 123 mnm
t_s 20 °C	t_{sr}	20°		
geograf. šir. 45°49'	p iz tablice 34-2	0,345		
	proc. p (0,46t + 8)		5,9	
$RH_{min} = 53,3\%$	procjena	visoka		
$n/N = 0,61$	procjena	srednja		
U_2 m/s = 2,13	procjena	srednja		
	Sl.5 blok/pravac		VI 2	
	ET_o sl. 5mm / dan			4,8

Sl.34-5 Dijagram toka proračuna dnevne ET_o po modifikaciji Blaney-Criddeove metode od strane FAO-a.



Sl. 34-6 Vrijednost ET_o za ZG-Maksimir po metodi Thornthwaita i Blaney-Cridde.

**Referentna evapotranspiracija određena
metodom Blaney-Criddelea, za određena mjesta
u Hrvatskoj (vremensko razdoblje 1965-1984)**

Tablica 34-3

Red, broj	Meteorološka stanica	Mjeseci												Suma		Veg. IV-IX
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	I-XII		
1,	Osijek	0,4	14,7	41,6	67,3	107,5	127,2	154,1	132,2	81,9	52,4	20,7	3,1	802,4	669,5	
2,	Đakovo	2,5	15,4	42,0	66,9	105,2	125,8	153,0	131,2	80,8	50,6	21,0	3,4	797,8	662,9	
3,	Sl. Brod	2,1	14,4	41,3	64,9	102,9	124,4	150,2	129,2	78,2	47,5	19,2	2,8	777,1	649,8	
4,	Daruvar	3,0	16,2	42,0	64,1	104,2	124,9	151,9	128,7	79,4	50,3	21,9	4,8	791,4	653,2	
5,	Bjelovar	1,3	15,0	40,9	65,3	102,5	123,5	150,2	127,2	78,2	47,9	19,8	4,8	777,6	646,9	
6,	Križevci	0,0	11,5	39,1	63,3	104,1	120,2	147,0	130,5	73,3	43,0	15,9	1,9	749,8	638,4	
7,	Koprivnica	0,0	12,0	39,8	64,5	106,5	122,5	149,2	132,6	78,2	44,4	17,1	3,1	769,9	653,5	
8,	Varaždin	0,0	11,7	39,0	63,7	104,1	117,3	148,1	133,1	76,7	43,7	16,2	2,0	755,6	643,0	
9,	Zagreb-Grič	0,0	19,3	45,7	70,1	106,1	126,8	156,2	132,7	81,6	53,1	23,6	0,6	815,8	673,5	
10,	Gospić	2,1	11,4	33,0	52,8	85,9	107,9	114,6	112,1	67,2	43,0	16,2	0,9	647,1	540,5	
11,	Knin	13,7	28,2	47,6	82,1	124,6	150,7	162,6	139,4	101,2	58,4	30,0	16,8	955,3	760,6	
12,	Dubrovnik	28,4	37,1	59,3	92,8	133,6	154,4	165,4	152,1	116,1	85,7	45,2	32,8	1102,9	814,4	
13,	Split-Marjan	25,0	37,7	56,7	91,8	136,2	210,1	228,5	206,8	117,0	70,6	41,2	32,5	1254,1	990,4	
14,	Šibenik	22,0	31,3	54,0	88,6	132,1	203,9	221,1	200,1	112,2	67,3	38,4	25,2	1196,2	958,0	
15,	Zadar	22,9	31,6	52,9	74,6	128,4	155,6	168,2	146,1	108,7	66,6	39,0	22,8	1017,4	781,6	
16,	Rijeka	18,8	27,4	49,1	71,7	124,6	150,7	163,9	141,8	104,8	62,5	34,0	18,4	967,7	757,5	
17,	Pula	18,9	27,5	48,7	70,8	124,0	152,9	166,4	142,7	104,4	62,4	34,3	18,8	971,8	761,2	
18,	Božjakovina	0,0	14,7	42,4	67,3	104,2	125,4	153,5	129,7	79,3	49,6	20,4	0,0	786,5	659,4	
19,	Zagreb-Maksimir	0,0	15,7	40,9	64,9	101,5	123,0	149,7	126,7	77,8	48,6	20,4	0,0	769,2	643,6	

$$n/N = 0,61$$

$$U_2 = 2,13$$

$$f = 5,9$$

Iz toga je:

$$a = 0,0043 (RH_{\min}) - n/N - 1,41$$

$$a = -1,79$$

$$b = 0,82 - 0,0041 (RH_{\min}) + 1,07 (n/N) + 0,066 (U_2) \\ - 0,006 (RH_{\min}) (n/N) - 0,0006 (RH_{\min}) (U_2)$$

odnosno:

$$ET_o = -1,79 + 1,13 \cdot 5,9 = 4,88 \text{ mm/dan}$$

$$ET_o = 4,88 \cdot 31 = 151,3 \text{ mm/mjesec u srpnju.}$$

Dakle, rezultati su grafičkoga i matematičkoga načina određivanja referentne evapotranspiracije gotovo istovjetni.

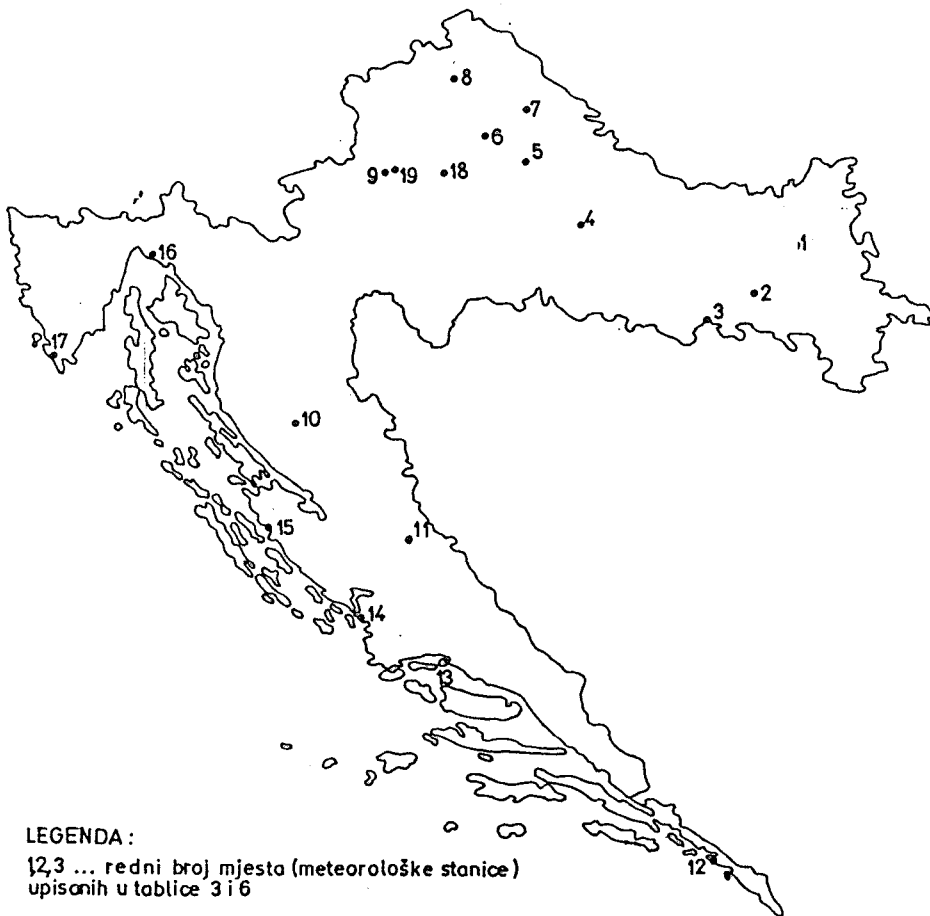
U tablici 34-3 iznose se rezultati referentne evapotranspiracije za 18 mjesta Hrvatske. Mjesta i vremensko razdoblje, za koje su upotrijebljeni meteorološki podaci, jesu istovjetni s onima koji su upotrijebljeni pri određivanju potencijalne evapotranspiracije po metodi Thornthwaitea.

Umjesto zaključka

Metoda Thornthwaitea i metoda Blaney-Criddlea, za određivanje potencijalne evapotranspiracije, često se upotrebljavaju.

Za određivanje potencijalne evapotranspiracije metoda Blaney-Criddlea upotrebljava se za sve klimate, dok se metoda Thornthwaitea uglavnom primjenjuje za umjerene - subhumidne klimate. Nedostatak je metode Thornthwaitea i u tome što se koristi samo jednim klimatskim čimbenikom (temperaturom zraka), dok metoda Blaney-Criddlea, osim temperaturom zraka, koristi se i drugim elementima.

Na temelju većeg broja iznesenih primjera proračuna evapotranspiracije (19 mjesta Hrvatske) čitalac može detaljnije usporediti ove dvije metode. Za orijentaciju, pri uspoređivanju metoda iznosimo grafikon (slika 34-6) s vrijednostima potencijalne evapotranspiracije za meteorološku stanicu Zagreb-Maksimir.



Slika34-7

Mjesta u Hrvatskoj s određenom potencijalnom evapotranspiracijom.

UPOTRIJEBLJENA LITERATURA

1. Doorenbos J. and Pruitt N.O.: *Crop Water Requirements*" FAO, Irrigation and Drainage Paper No. 24, Roma, 1977.
2. Blaney H.F. and Criddle W.D.: *Determining Water Requirements in Irrigated Areas from Climatological and Irrigation Data*, U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Tehnichal Report No. 96, 1950.
3. Cuence R.H.: *Irrigation System Desing*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1989.
4. Kos Z.: *Potrebe vode kulturnog bilja*, Priručnik za hidrotehničke melioracije, Knjiga 2, Odvodnja, Društvo za odvodnju i navodnjavanje Hrvatske, Zagreb, 1984.
5. Mihalić V., Butorac A. i Tomić F.: *Agrobiotopi mediteranskog područja i optimalizacija stanišnih uvjeta za vrtlarstvo*, Centar za studije poljoprivrede Mediterana, Zagreb - Split, 1978.
6. Tomić F.: *Navodnjavanje*, Savez poljoprivrednih inženjera i tehničara Hrvatske i Fakultet poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1988.

3.5. METODA SUNČANOG ZRAČENJA (RADIJACIJE)

U regijama u kojima od mjerenih klimatoloških podataka na raspolaganju stoje temperatura zraka i insolacija (trajanje sijanja Sunca) ili naoblaka ili sunčano zračenje, a gdje se ne raspolože s podacima vjetra niti vlage u zraku, preporuča se koristiti se metodom sunčanog zračenja za predviđanje utjecaja klime na potrebu kulturnog bilja za vodom. Za procjenu sunčanog zračenja moguće je koristiti se direktnim mjerenjem sati trajanja efektivnog sijanja Sunca ili, ako se ne raspolože s tim podatkom, opažanjima naoblake (prekrivenosti neba oblačnim sustavima).

Za računanje potrebe za vodom (evapotranspiracija) referentne kulturne biljke ET_o (gazon vert - zelena tratina) upotrebljava se sljedeći izraz:

$$Et_o = a + b \cdot W \cdot R_s, \dots\dots\dots (1)$$

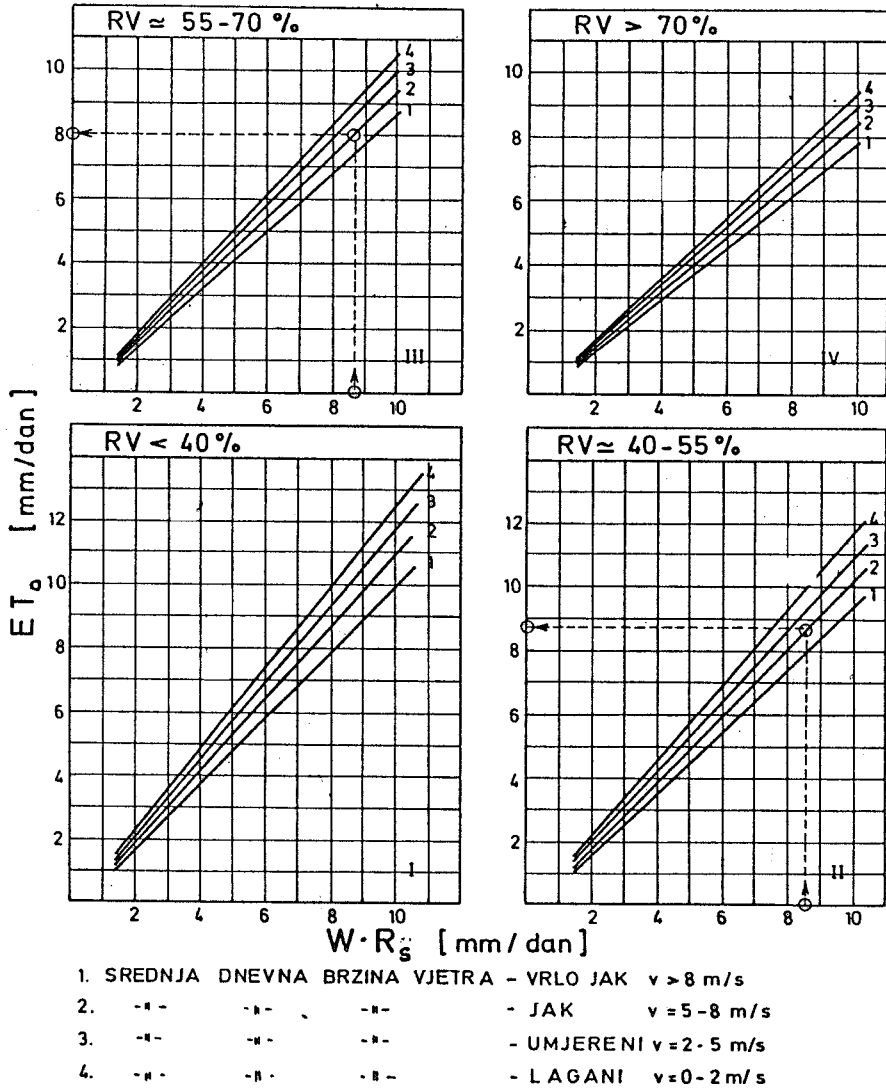
pri čemu ET_o označava evapotranspiraciju referentne kulturne biljke u $mm \cdot dan^{-1}$, tj. predstavlja srednji iznos tijekom razmatranog perioda koji obuhvaća deset ili trideset dana; R_s predstavlja sunčano zračenje izraženo u ekvivalentnoj evapotranspiraciji u $mm \cdot dan^{-1}$; W je faktor ponderacije, koji zavisi od temperature zraka i nadmorske visine analizirane regije; a i b jesu koeficijenti koji su dati na slici 35-1.

Na slici 35-1 na apscisi nalazi se umnožak $W \cdot R_s$, a na ordinati ET_o potreba za vodom referentne kulturne biljke. Navedeni odnosi generalno vrijede za sve meteorološke odnose, a načelno za srednju relativnu vlažnost i dnevne značajke vjetra.

Sunčano je zračenje R_s dio ekstraterestrijalnog (vanzemaljskog) zračenja R , koje sa Sunca dopire do vrha atmosfere. Ono je funkcija zemljopisne širine i sezone godine te je prema tome nezavisno od meteoroloških uvjeta analizirane regije. Sunčano zračenje R moguće je izraziti u iznosu ekvivalentne evaporacije, pretvorene u toplinu, tj. energiju potrebnu za isparavanje vode za slobodne vodene površine. U tablici 35-1 navedene su vrijednosti ekstraterestrijalnog zračenja Sunca R u $mm \cdot dan^{-1}$ za različite zemljopisne širine, za različita razdoblja godine (mjeseci) i za sjevernu polutku (Doorenbos i Pruitt, 1975).

Do površine Zemlje, dakle do tla na kojemu se razvija kulturno bilje, ekstraterestrijalno se zračenje na svom putu kroz atmosferu apsorbira i/ili reflektira.

RV - SREDNJA RELATIVNA VLAŽNOST ZRAKA U %



Slika 35-1. Odnos između ET_0 i WR_s u zavisnosti od relativne vlažnosti zraka i brzine vjetra

Količina zračenja Sunca koje dopire do tla naziva se ovdje sunčano zračenje i označava sa R_s . Moguće ga je direktno mjeriti, ali su takva mjerenja rijetka.

Stoga se u praksi najčešće upotrebljava sljedeće izraz za čije definiranje postoji relativno gusta mreža mjerenja.

$$R_s = (0,25 + 0,50 n/N) R, \dots\dots\dots (2)$$

pri čemu n/N predstavlja odnos između stvarnog broja sati sijanja Sunca N . Vrijednosti za N date su u tablici 31-7 u funkciji mjeseca u godini, zemljopisne širine na sjevernoj polukugli Zemlje. Stvarni broj sati sijanja Sunca mjeri se Campell-Stockesovim heliografom.

Ekstraterestrijalno zračenje - R_0 u količini isparene vode u mm dan⁻¹ u funkciji zemljopisne širine i mjeseca u godini na sjevernoj polutki

Tablica 35-1

ZEM.ŠIR.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
24°	10,2	11,9	13,9	15,4	16,4	16,6	16,5	15,8	14,5	12,6	10,7	9,7
26°	9,8	11,5	13,7	15,3	16,4	16,7	16,6	15,7	14,3	12,3	10,3	9,3
28°	9,3	11,7	13,4	15,3	16,5	16,8	16,7	15,7	14,1	12,0	9,9	8,8
30°	8,8	10,7	13,1	15,2	16,5	17,0	16,8	15,7	13,9	11,6	9,5	8,3
32°	8,3	10,2	12,8	15,0	16,5	17,0	16,8	15,6	13,6	11,2	9,0	7,8
34°	7,9	9,8	12,4	14,8	16,5	17,1	16,8	15,5	13,4	10,8	8,5	7,2
36°	7,4	9,4	12,1	14,7	16,4	17,2	16,7	15,4	13,1	10,6	8,0	6,6
38°	6,9	9,0	11,8	14,5	16,4	17,2	16,7	15,3	12,8	10,0	7,5	6,1
40°	6,4	8,6	11,4	14,3	16,4	17,3	16,7	15,2	12,5	9,6	7,0	5,7
42°	5,9	8,1	11,0	14,0	16,2	17,3	16,7	15,0	12,2	9,1	6,5	5,2
44°	5,3	7,6	10,6	13,7	16,1	17,2	16,6	14,7	11,9	8,7	6,0	4,7
46°	4,9	7,1	10,2	13,3	16,0	17,2	16,6	14,5	11,5	8,3	5,5	4,3
48°	4,3	6,6	9,8	13,0	15,9	17,2	16,5	14,3	11,2	7,8	5,0	3,7
50°	3,8	6,1	9,4	12,7	15,8	17,1	16,4	14,1	10,9	7,4	4,5	3,2

Wiesner (1970) daje alternativni izraz za proračun R_s u funkciji ekstraterestrijalnog zračenja R i naoblake C izražene u dijelovima prekrivenosti neba, dakle u dijelovima jedinice od 0 do 1. Izraz glasi:

$$R_s = R (0,803 - 0,340 - 0,458 C^2) \dots\dots\dots (3)$$

U tablici 35-3 dati su odnosi između naoblake (prekrivenosti nebeskog svoda oblacima) i odnosa n/N . U praksi se upotrebljavaju dva načina označavanja prekrivenosti neba oblacima. Prvi je izražen u desetinama prekrivenosti neba, a drugi u osminama (oktama). U oba sustava oznaka 0 (nula) znači nebo bez oblaka dok u prvom slučaju oznaka 10 odgovara oznaci 7 u oktama, a obilježava nebo potpuno prekriveno oblacima. U tablici 35-4 proračunat je faktor konverzije ekstraterestrijalnog zračenja R_0 sunčano zračenje R_s iz izraza 2.

Faktor ponderacije W unosi u proračun efekt temperature zraka i nadmorske visine. U tablici 35-5 date su vrijednosti faktora ponderacije W u zavisnosti od dva prethodno spomenuta parametra. Temperatura zraka označava srednju temperaturu u razdoblju proračuna izraženu u °C.

Nakon što se na osnovi zemljopisnog položaja analizirane regije i mjerenja naoblake definira izrazom 2 zračenje Sunca R_s u razmatranom razdoblju iz tablice 35-5 poznavajući nadmorsku visinu i srednju temperaturu zraka regije, odredi se faktor ponderacije W . Poznavajući zračenje Sunca R_s i faktor ponderacije regije W , moguće je, na osnovi općeg izraza 1, odrediti evapotranspiraciju (potrebu za vodom) referentne kulture ET_o . Budući da je izraz 1 opći, na slici 35-1 dati su svi potrebni elementi za njegovo definiranje. Vidljivo je da parametri a i b izraza 1 ovisi o relativnoj vlazi i brzini vjetrova.

**Veza između naoblake izražene u desetinama i oktama
prekrivenosti neba i odnosa n/N**

Tablica 35-2

DESETINE	0	0,2	0,4	0,6	0,8	OKTE	0	0,2	0,4	0,6	0,8
0	0,95	0,90	0,90	0,90	0,90	0	0,90	0,90	0,90	0,85	0,85
1	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	1	0,85	0,85	0,80	0,80	0,80
2	0,80	0,80	0,80	0,75	0,75	2	0,75	0,75	0,75	0,70	0,70
3	0,75	0,70	0,70	0,70	0,65	3	0,65	0,65	0,65	0,60	0,60
4	0,65	0,65	0,60	0,60	0,60	4	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45
5	0,55	0,55	0,50	0,50	0,50	5	0,45	0,40	0,40	0,35	0,35
6	0,50	0,45	0,45	0,40	0,40	6	0,30	0,30	0,25	0,25	0,20
7	0,40	0,35	0,35	0,30	0,30	7	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00
8	0,30	0,25	0,25	0,20	0,20						
9	0,15	0,15	0,15	0,00	0,00						
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						

**Faktor konverzije ekstraterestrijalnog zračenja R_u
Sunčano zračenje R_s u funkciji n/N**

Tablica 35-3

n/N	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
$0,25 + 0,5(n/N)$	0,25	0,28	0,30	0,33	0,35	0,38	0,40	0,43	0,45

0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
0,48	0,50	0,53	0,55	0,58	0,60	0,63	0,65	0,68	0,70	0,73	0,75

Treba naglasiti da se radi u principu o srednjim vrijednostima klimatskih parametara u razdoblju dana od 7 do 19 h. U praktičnim proračunima smatra se da su informacije o srednjoj relativnoj vlažnosti i srednjoj brzini vjetra dovoljne na generalnoj regionalnoj razini te da nisu potrebne visoko precizne vrijednosti. Svi proračuni vrše se sa mjesecom kao vremenskom jedinicom, a rezultat je evapotranspiracija referentne kulture ET_0 izražena u $\text{mm}\cdot\text{dan}^{-1}$. Tu je vrijednost potrebno pomnožiti s brojem dana u mjesecu da bi se dobila ukupno potrebna količina vode tijekom cijele godine ili u vegetacijskom razdoblju. Proračun ET_0 moguće je vršiti i u manjim vremenskim inkrementima od npr. 15, 10 ili 5 dana.

Vrijednosti faktora ponderacije W u funkciji temperature zraka T i nadmorske visine regije

Tablica 35-4

T °C	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
W-0 mm	0,43	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,68	0,71
W-500	0,45	0,48	0,51	0,54	0,57	0,60	0,62	0,65	0,67	0,70	0,72
W-1000	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73
W-2000	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73	0,75

T °C	24	26	28	30	32	34	36	38	40
W-0 mm	0,73	0,75	0,77	0,78	0,80	0,82	0,83	0,84	0,85
W-500	0,74	0,76	0,78	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86
W-1000	0,75	0,77	0,79	0,80	0,82	0,83	0,85	0,86	0,87
W-2000	0,77	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88

Smatra se da je ta metoda slabija od metode Blaney-Criddelea, i to specijalno u ekvatorijalnim područjima, na malim otocima i kod visokih nadmorskih visina.

Žibrat i Gajić-Čapka (1986) računali su globalno zračenje na području Hrvatske i definirali ga na većem broju lokacija za razdoblje 1961-1980. Njihove podatke izražene u $\text{kWh m}^{-2} \text{ dan}^{-1}$ preračunali smo u količinu isparene vode izraženu u mm dan^{-1} po mjesecima (tablica 35-5) te u ukupnoj količini isparene vode u mm mj^{-1} i mm god^{-1} .

Globalno sunčano zračenje R_s izraženo u količini isparene vode u mm dan⁻¹ po mjesecima godine za 11 meteoroloških stanica u Hrvatskoj (1961-1980)

Tablica 35-5

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I	0,89	0,78	0,87	0,61	0,52	0,52	0,56	0,61	0,52	0,78	0,87
II	1,39	1,21	1,39	1,21	0,87	0,95	0,95	0,95	0,78	0,21	1,30
III	1,98	1,91	2,00	1,81	1,56	1,56	1,65	1,56	1,56	1,82	1,99
IV	2,53	2,51	2,61	2,61	2,12	2,25	2,25	2,08	2,08	2,25	2,51
V	3,13	3,12	3,12	3,12	2,77	2,60	2,77	2,60	2,69	2,77	3,12
VI	3,67	3,47	3,73	3,38	3,04	2,86	2,86	2,77	2,99	3,12	3,56
VII	3,69	3,47	3,72	3,38	3,12	2,86	3,04	3,12	3,12	3,38	3,59
VIII	3,12	2,95	3,21	2,77	2,77	2,51	2,60	2,60	2,60	3,12	3,04
IX	2,38	2,26	2,43	2,25	1,99	1,99	1,91	1,95	1,99	2,25	2,25
X	1,68	1,65	1,73	1,56	1,21	1,21	1,39	1,30	1,21	1,56	1,73
XI	0,99	0,87	0,95	0,78	0,65	0,65	0,65	0,69	0,52	0,95	0,95
XII	0,74	0,61	0,74	0,60	0,43	0,43	0,43	0,52	0,35	0,78	0,78

Globalno sunčano zračenje R_s izraženo u količini ukupne isparene vode u mm po mjesecima i u godini za 11 meteoroloških stanica u Hrvatskoj (1961-1980)

Tablica 35-6

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I	28	24	27	19	16	16	18	19	16	24	27
II	39	34	39	34	24	27	27	27	22	34	36
III	61	59	62	56	48	48	51	48	48	56	62
IV	76	75	78	64	64	68	68	62	62	68	75
V	97	97	97	97	86	81	86	81	83	86	97
VI	110	104	112	101	91	86	86	83	90	94	107
VII	114	108	116	105	97	89	94	97	97	105	111
VIII	97	91	100	86	86	78	81	81	81	97	94
IX	71	68	73	68	60	60	57	58	60	68	68
X	52	51	54	48	38	38	43	40	38	48	54
XI	30	26	29	29	23	20	20	21	16	30	29
XII	23	18	23	18	13	13	13	16	11	24	24
GOD.	807	756	734	643	622	643	633	623	733	784	784

Isparitelj je klase A (slika 36-1) (Bonacci, 1984) cilindrična posuda promjera (47.5 in) 121 cm, dubine (10 in) 25 cm. Izrađen je od galvaniziranog željeza debljine 0,8 mm. Postavljen je na postolje od drvenih daščica tako da mu se dno nalazi oko 5 cm iznad površine tla. Mora biti dobro horizontiran. Puni se vodom do 5 cm ispod gornjeg ruba tako da se vodi na smije pustiti da padne više od 7.5 cm od ruba. Voda se dolijeva u isparitelj tako polako da se izbjegne bilo koja vrsta turbulencije. Ako je posuda od galvaniziranog željeza, svake ju je godine potrebno nanovo obojati aluminijskom bojom.

Koeficijent isparitelja K_p za ukopani isparitelj tipa Colorado u funkciji relativne vlažnosti, brzine vjetrova i karakteristika okoline

Tablica 35-8

Ukopani Colorado isparitelj	A-isparitelj okružen niskom zelenom vegetacijom				B-isparitelj okružen suhim nekultiviranim tlom			
		<40	40-70	>70		<40	40-70	>70
SR.REL.VLAŽ								
BRZ.VJETRA /km dan ⁻¹ /	UDALJ. /m/				UDALJ. /m/			
LAGAN VJETAR v < 175	0	0,75	0,75	0,80	0	1,10	1,10	1,10
	10	1,00	1,00	1,00	10	0,85	0,85	0,85
	100	1,10	1,10	1,10	100	0,75	0,75	0,75
	1000				1000	0,70	0,70	0,75
UMJEREN VJETAR 175 - 425	0	0,65	0,70	0,70	0	0,95	0,95	0,95
	10	0,85	0,85	0,90	10	0,75	0,75	0,75
	100	0,95	0,95	0,95	100	0,65	0,65	0,70
	1000				1000	0,60	0,60	0,65
JAK VJETAR 425 - 700	0	0,55	0,60	0,65	0	0,80	0,80	0,80
	10	0,75	0,75	0,75	10	0,65	0,65	0,65
	100	0,80	0,80	0,80	100	0,55	0,60	0,65
	1000				1000	0,50	0,55	0,60
VRLO JAK VJETAR v > 700	0	0,50	0,55	0,60	0	0,70	0,75	0,75
	10	0,65	0,70	0,70	10	0,55	0,60	0,65
	100	0,70	0,75	0,75	100	0,50	0,55	0,60
	1000				1000	0,45	0,50	0,55

Za studiranje potreba kulturnog bilja za vodom pogodnim se smatra uporaba ukopanog isparitelja tipa Colorado zbog toga jer se razina vode u njemu održava 5 cm do ruba. Budući da je rub tog isparitelja 5 cm iznad visine tla, razina je vode u njemu točno na razini površine tla. Radi se o kvadratnoj posudi duljine stranice (36 in) 92 cm i dubine ukopanja (18 in) 46 cm. Izrađena je od galvaniziranog željeza.

U pustinjskim područjima ne preporuča se uporaba podataka isparitelja za definiranje potreba za vodom kulturnog bilja. U takvim situacijama bolje je koristiti se metodom sunčanog zračenja.

Legenda uz Tablice 35-5 i 35-6:

1	SPLIT - MARJAN	7	OSIJEK
2	ZADAR	8	PUNTIJARKA - SLJEME
3	HVAR	9	ZAGREB - GRIČ
4	ROVINJ	10	Sv. JURE - BIOKOVO
5	GOSPIĆ	11	MAKARSKA
6	VARAŽDIN		

3.6. METODA ISPARITELJA

Isparitelji najrazličitijih tipova mjere integralni efekt svih faktora na proces evaporacije sa slobodne vodene površine, a to su: 1. Zračenje Sunca; 2. Brzina vjetra; 3. Temperatura zraka i vode; 4. Relativna vlaga zraka. Vegetacija reagira na sličan način na navedene klimatske varijable. Međutim, brojni faktori mogu izazvati značajnije razlike u vezi s gubicima vode iz isparitelja u odnosu na one preko bilja. Reflektirani dio sunčanog zračenja koje stigne do površine vode iznosi 5 do 8% dok se od vegetacije odbije 20 do 25% pristiglog zračenja. Akumuliranje topline u isparitelju tijekom dana vrlo je značajno za razliku od biljaka. Osim toga gubici vode iz isparitelja mogu se značajno razlikovati od onih s vegetacije zbog razlika uvjeta turbulencije zraka iznad ovih dviju sredina, premda im i temperatura zraka kao i vlaga u zraku mogu biti istovjetne. Kod isparitelja postavljenih iznad tla kao i kod onih ukopanih u tlo, javlja se transfer topline kroz stijenke isparitelja, a taj transfer može biti vrlo značajan posebno kod nekih tipova ukopanih isparitelja. Boja posude kao i upotreba zaštitnih ekrana protiv ptica također utječu na količinu isparene vode. Na količinu isparavanja utječe i okolica isparitelja. Razlike u količini isparene vode javljaju se kod isparitelja u kultiviranom ili prirodnom i neuređenom poljskom okolišu. Usprkos svemu navedenom, isparitelj ostaje jedan od načina predviđanja potreba kulturnog bilja za vodom za razdoblja od deset dana ili dulje.

Da bi se ustanovio odnos između isparene vode iz isparitelja i evapotranspiracije referentne kulture ET_o , savjetuje se upotreba koeficijenata izvedenih empirijski. Oni moraju sadržavati elemente klime, tipa isparitelja i karakteristika okoline. Budući da u svijetu najčešće koriste dva tipa isparitelja:

1. isparitelj klase A; 2. ukopani isparitelj tipa Colorado (vrlo je sličan isparitelju GGI 3000); u nastavi će se opisati rad samo s njima.

Koeficijenti isparitelja K_p predstavljaju odnos mjerenih isparavanja iz isparitelja E i evapotranspiracije referentne kulture ET_o u danim klimatskim uvjetima i značajkama okoline, pa opći izraz glasi:

$$ET_o = K_p \cdot E, \dots\dots\dots (4)$$

pri čemu se ET_o i E izraženi u $mm\ dan^{-1}$. U tablicama 35-7 i 35-8 dane su vrijednosti koeficijenta K_p za različite uvjete vlažnosti i brzine vjetra, okoline i tipa isparitelja. Vrijednosti vrijede uz pretpostavku da je isparitelj postavljen u otvorenu sredinu te da visina vegetacije ne prelazi 1 m u promjeru stotinjak metara oko isparitelja. U tablicama 36-1 i 36-2 dani su koeficijenti za dva potpuno suprotna slučaja okruženja isparitelja. Slučaj A odnosi se na isparitelj koji je okružen niskom zelenom vegetacijom, a slučaj B suhim i golim nekultiviranim tлом (slika 36-3). U slučaju situacije A, isparavanje je iz isparitelja E veće od onoga u situaciji B, pa je stoga i koeficijent isparitelja K_p manji. Pojam udaljenosti izražene u m označava udaljenost položaja isparitelja od kote najjače izložene vjetru. Što je isparitelj udaljeniji od te kote koeficijent je isparitelja u slučaju okruženja zelenom vegetacijom veći, dok je u slučaju okruženja suhim tлом manji. U slučaju potpuno gole okolice u širokom prostoru te potpunog nedostatka bilo kakve kulturne vegetacije i agrotehničkih zahvata (što je u našim regijama iznimno rijetko), vrijednosti koeficijenata isparitelja moraju se smanjiti za 20% pri toplom i vjetrovitom vremenu, a 5 do 10% kada su vjetar, temperatura i relativna vlažnost umjereni.

**Koeficijent isparitelja K_p za isparitelj klase A u funkciji
relativne vlažnosti, brzine vjetra i karakteristika okoline**

Tablica 36-1

Isparitelj KLASE A	A-isparitelj okružen niskom zelenom vegetacijom				B-isparitelj okružen suhim nekultiviranim tлом			
	SR.REL.VLAŽ	<40	40-70	>70	<40	40-70	>70	
BRZ.VJETRA	UDALJ. /m/	UDALJ. /m/						
LAGANI	0	0,55	0,65	0,75	0	0,70	0,80	0,85
VJETAR	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70	0,80
v < 175	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,50	0,60	0,70
UMJEREN	0	0,50	0,60	0,65	0	0,65	0,75	0,80
VJETAR	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65	0,70
175 - 425	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,45	0,55	0,60
JAK	0	0,45	0,50	0,60	0	0,60	0,65	0,70
VJETAR	10	0,50	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,65
425 - 700	100	0,60	0,65	0,70	100	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,45	0,45	0,55
VRLO JAK	0	0,40	0,45	0,50	0	0,50	0,60	0,65
VJETAR	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50	0,55
v > 700	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,35	0,40	0,45

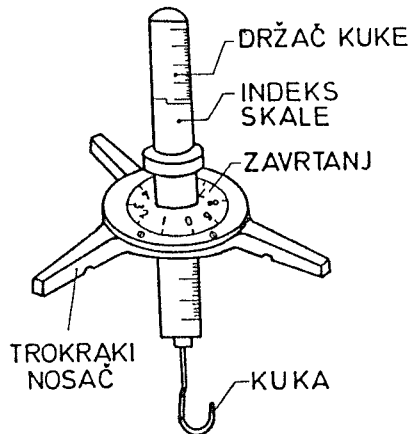
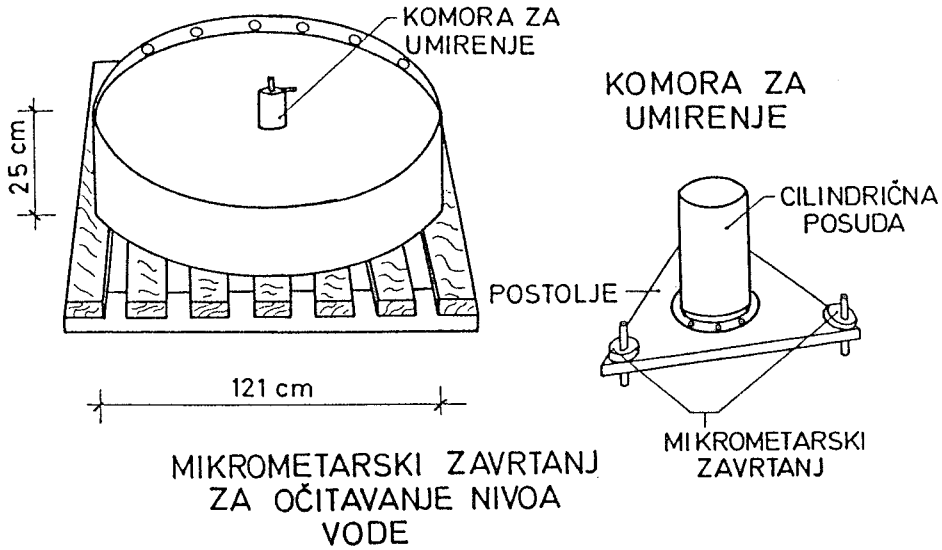
Ako se isparitelji nalaze okruženi kulturama kao npr. kukuruzom (visina oko 2,5 m), koeficijente u tablicama 36-1 i 36-2 treba uvećati do 30% u suhom i vjetrovitom klimatu, a samo 5 do 10% u vlažnom i mirnom klimatu.

Na slici 35-3 nalazi se shematski prikaz slučajeva A i B iz tablice 36-1 i 36-2.

Preporuča se i vanjske i unutrašnje stijenke isparitelja obojati bijelom bojom. Ako je boja stijenki crna, isparavanje je isparitelja veće i do 10% te u tom slučaju koeficijente isparitelja treba smanjiti do 10%. Posebno treba paziti da se razina vode u isparitelju kreće od 5 do 7,5 cm ispod ruba. Postojanje ekrana za ptice iznad isparitelja smanjuje isparavanje E za 10%, pa stoga koeficijent isparitelja tada treba povećati za 10%.

U tablici 36-3 dani su odnosi koeficijenata isparitelja za različite tipove isparitelja koji se često upotrebljavaju u svijetu.

ISPARITELJ KLASSE A

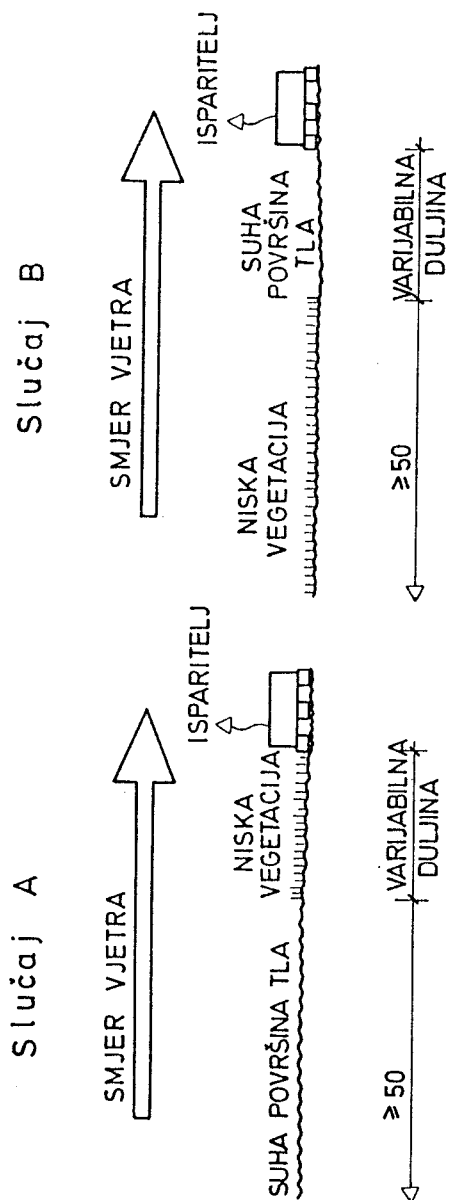


Slika 36-1. Isparitelj klase A s dijelovima

**Odnosi koeficijenta isparitelja za razne tipove
ukopanih isparitelja vezano za isparitelj tipa Colorado**

Tablica 36-3

KLIMAT		Umjereno vlažna		Sušna klima ili sezona	
POKRIVENOST TLA MIN. 50 m OKO ISPARITELJA		Niska veget.	Golo tlo	Niska veget.	Golo tlo
TIP ISPARITELJA I ZEMLJA PODRIJETLA	POVRŠINA ISPAR. /m ² /				
GGI 20-RUSIJA; PROMJER 5m; DUBINA 1 m	20	1,0	1,1	1,05	1,25
UKOPANI ISPARITELJ IZRAEL; PROMJER 3.6 m; DUBINA 1 m	10,5				
ISPARITELJ SYMMONS VEL.BRIT.; DUBINA 60 cm	3,3				
BPI - U.S.A.; PROMJER 1.80 m; DUBINA 60 cm	2,6				
UKOPANI ISPARITELJ - KENYA; PROMJER 1.20 m; DUBINA 35 cm	1,2				
UKOPANI ISPARITELJ AUSTRALIA; PROMJER 0.9 m; DUBINA 90 cm	0,7		1,0		1,0
ISPARITELJ ASLYING DANSKA; DUBINA 1m	0,33			1,0	
GGI 3000 - RUSIJA; PROMJER 0.9 m; DUBINA 90 cm	0,3				
UKOPANI ISPARITELJ HOLANDIJA; PROMJER 0.5 m; DUBINA 0.25 m	0,2	1,0	0,95	1,0	0,95



Slika 36-3

Shematski prikaz slučaja A i B iz tablica 36-1 i 36-2.

LITERATURA

1. Doorenbos, J. i Priutt, W.O.: *Les besoins en eau des cultures*. OUN - Bulletin d'irrigation et de drainage: 198 str. 1975.
2. Žibrat, Z. i Gajić-Čapka, M.: *Globalno zračenje na području Hrvatske*. Rasprave 21: 47-58, 1986.
3. Bonacci, O.: *Meteorološke i hidrološke podloge*. Priručnik za hidrotehničke melioracije, I. kolo, Odvodnja, knjiga 2, Podloge: 39-130, 1984.
4. Wiesner, L.J.: *Hydrometeorology*. Chapman and Hall, London: 232 str. 1970.

4. IZBOR KOEFICIJENTA USJEVA k_c

4.1. UTJECAJ OPSKRBE VODOM NA PRIRODE

Da bi se mogao utvrditi odnos između potrebe za vodom svakoga pojedinog usjeva i neke standardne vrijednosti te veličine koja se obično označava s ET_o , potrebno je prethodno poznavati zakonitosti koje povezuju različite odnose u sklopu biološke reprodukcije pojedinih usjeva. Nepobitno je da su odnosi između usjeva, klime, vode i tla s jedne strane i većeg broja bioloških, fizioloških, fizičkih, kemijskih i drugih procesa s druge strane, kompleksni i međuzavisni i da je u tom području do sada učinjen vidan napredak u analizi uzročnih veza. Za praktičnu primjenu, pogotovu za ovu svrhu, potrebno je iz tog fonda podloga izdvojiti one bitne komponente koje najznačajnije utječu na odnos usjev-voda, ili drugim rječima rečeno, na utjecaj vode na reprodukcijski kapacitet bilja.

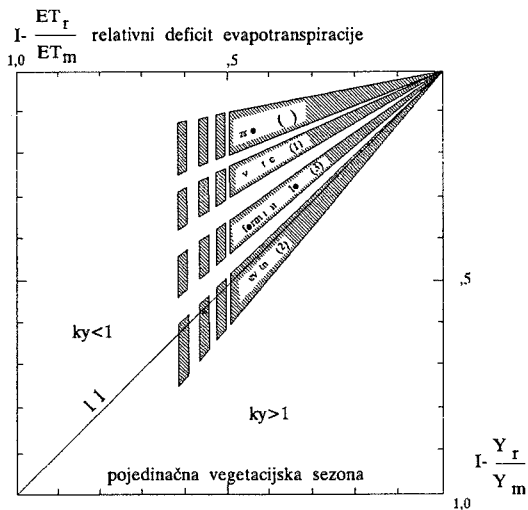
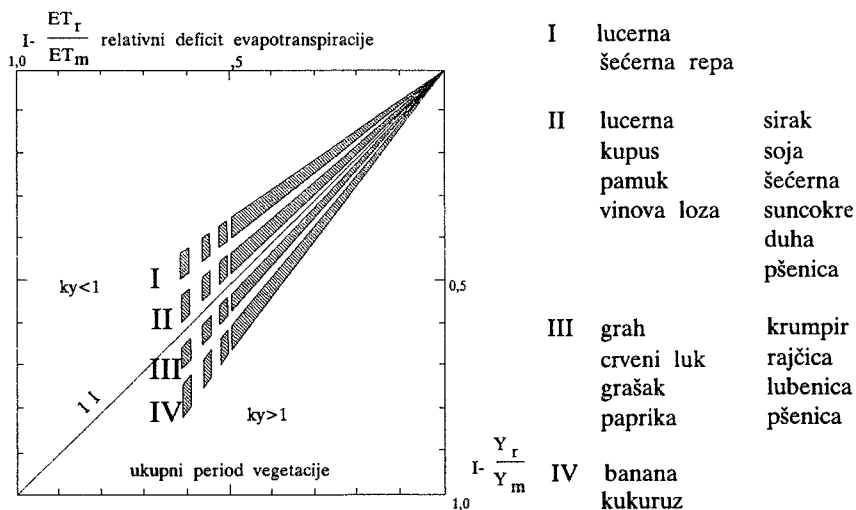
Razvoj je znanosti u tom sektoru danas dovoljno uznapredovao da je moguće, sasvim određeno, za potrebe planiranja i pogona natapnih sustava, analizirati i utvrditi učinak opskrbe vodom na prirode kulturnog bilja. S tim u vezi, moguće je utvrditi kvantitativni odnos između priroda usjeva i opskrbe vodom, odnosno utjecaj deficita vlage u odgovarajućim fazama razvoja bilja na prirod usjeva. Poznato je, naime, da su deficit vode u tlu i odgovarajući stres bilja direktno proporcijalni smanjenju evapotranspiracije i s tim u vezi prirodna. Stres zbog pomanjkanja vode za bilje može se kvantificirati veličinom, realne evapotranspiracije (ET_r) u odnosu prema maksimalnoj evapotranspiraciji (ET_m). U slučaju da su potrebe za vodom za bilje u cijelosti zadovoljene, onda je

$$ET_r = ET_m, \text{ obratno } ET_r < ET_m.$$

U slučaju da potrebe bilja za vodom nisu u cijelosti zadovoljene, to se pomanjkanje odražava na smanjeni rast bilja i umanjeње prirodna. Postotak smanjenja ovisan je o vrsti (sorti) bilja i fenološkoj fazi razvoja. Da bi se mogla odrediti veličina smanjenja prirodna, potrebno je provesti adekvatna istraživanja o veličini stvarnog prirodna (Y_r) u odnosu prema maksimalnom (Y_m) u ovisnosti o različitim režimima opskrbe vodom.

Da bi se kvantificirao stres zbog pomanjkanja vode, treba uspostaviti odnos između relativnog smanjenja priroda i relativnog deficita evapotranspiracije. To se može provesti po sljedećem empiričkom izrazu:

$$\left(1 - \frac{Y_r}{Y_m}\right) = ky \left(1 - \frac{ET_r}{ET_m}\right),$$



Slika 4-1 Odnos između relativnog smanjenja priroda i evapotranspiracije.

gdje je:

Y_r - stvarni prirod

Y_m - maksimalan prirod

ky - faktor priroda

ETr - stvarna evapotranspiracija

ETm - maksimalna evapotranspiracija

U odgovarajućoj literaturi mogu se naći vrijednosti za ky za više-manje sve usjeve, i to za različite uvjete uzgoja, a dobivene su na temelju mnogobrojnih istraživanja provedenih širom svijeta. Dakako, postoji značajan fond podloga s odgovarajućim metodama proračuna za utjecaj ostalih faktora - uz iznimku vode - na veličinu priroda (salinitet tla, obrada tla, dubina podzemne vode i dr.).

Na slici 4-1 grafički je prikazan odnos rlativnog smanjenja priroda ($1 - Y_r/Y_m$) prema rlativnoj evapotranspiraciji ($1 - ETr/ETm$), i to za četiri grupe karakterističnih usjeva.

U tablici 4-1 dane su karakteristične vrijednosti faktora priroda ky , odnosno kvantificiranog utjecaja opskrbe vodom na prirod pojedinih usjeva. Iz tablice je vidljivo da je mogući deficit vode u vegetacijskoj sezoni veoma značajan za valjano planiranje poljoprivredne proizvodnje. Tako npr. u uvjetima ograničene opskrbe vodom, što se ravnomjerno javlja kroz čitavu vegetacijsku sezonu, smanjenje priroda na kukuruzu ($ky = 1,25$ za čitavu vegetacijsku sezonu) bit će veće negoli za suncokret ($ky = 0,95$). Prema tome, ako se na nekom polju uzgajaju ta dva usjeva uz planiranu maksimalnu proizvodnju po jedinici volumena vode, kukuruz će imati prednost u opskrbi. Jednako tako, uz planirani maksimalni prirod kada tlo nije ograničavajući faktor, a vode imamo u ograničenim količinama, kukuruz ćemo uzgajati na ograničenoj površini uz natapanje, a proizvodni plan suncokreta postići ćemo povećanjem zasijanih površina bez natapanja ili uz ograničene količine vode.

Iz tablice 4-1 vidljivo je da usjevi nisu jednako osjetljivi na pomanjkanje vode u svim stupnjevima razvoja. Općenito uzevši, usjevi su najosjetljiviji na pomanjkanje vode u fazi nicanja i cvatnje te donekle u doba formiranja ploda, a manje u fazi ranijega i kasnijeg uzrasta. Osjetljivost na pomanjkanje vode varira kod različitih sorti iste vrste. Opće je pravilo da su visokorodni usjevi ne samo osjetljiviji na pomanjkanje vode, već i na ostale potrebe (gnojivo, zaštita, obrada i dr.). Prema tome, u područjima s povremenim sušama, bez natapanja, bolje je upotrijebiti usjev s manjim ky , a uz osigurano puno natapanje s većim.

U tablici 4-2 dan je pregled osjetljivosti na pomanjkanje vode u pojedinim fazama razvoja usjeva.

Iz tih je podataka očigledno da su usjevi, općenito uzevši, najosjetljiviji na pomanjkanje vode u doba nicanja, cvatnje i na početku nalijevanja ploda. Iz toga

slijedi zaključak da je pravodobno natapanje u kritičnim razdobljima jednako tako važno kao i osiguranje dovoljnih količina vode za cijelu sezonu. Prema tome, kod planiranja natapanja nije dovoljno samo osigurati dovoljne količine vode, već treba osigurati vremenski optimum turnusa natapanja. U slučaju, pak, da su raspoložive količine ograničene i nedovoljne za zadovoljenje ukupnih potreba, nepravilno je rasporediti je ravnomjerno kroz čitavu vegetacijsku sezonu, već treba prvenstveno zadovoljiti kritična razdoblja. Na taj se način raspoloživa količina vode najracionalnije i najdjelotvornije iskorištava.

Faktor ovisnosti priroda o vodi (ky)

tablica 4-1

	Vegetacijsko razdoblje			Cvatnja	Stvaranje ploda	Sazrijevanje	Ukupna vegetac. sezona
	Rani	Kasni	Ukupno				
duhan	0,2	1,0				0,5	0,9
grah			0,2	1,1	0,75	0,2	1,15
grašak	0,2			0,9	0,7	0,2	1,15
krumpir	0,45	0,8			0,7	0,2	1,1
kukuruz			0,4	1,5	0,5	0,2	1,25
kupus	0,2				0,45	0,6	0,95
lubenica	0,45	0,7		0,8	0,8	0,3	1,1
lucerna			0,7-1,1				0,7-1,1
luk			0,45		0,8	0,3	1,1
pamuk			0,2	0,5		0,25	0,85
paprika							1,1
pšenica			0,2	0,6	0,5		1,0
rajčica			0,4	1,1	0,8	0,4	1,05
sirak			0,2	0,55	0,45	0,2	0,9
soja			0,2	0,8	1,0		0,85
suncokret	0,25	0,5		1,0	0,8		0,95
šećerna repa							0,6-1,0
vinova loza							0,85

4.2. Određivanje koeficijenta usjeva k_c

Prilikom planiranja, projektiranja i pogona natapnih sustava treba imati u vidu da se planirani ciljevi mogu adekvatno postići, jedino ako su temeljeni na kvalitetnim ocjenama odgovarajućih klimatskih i zemljišnih značajki područja uz pouzdanu opskrbu vodom. Tim uvjetima moraju biti pridružene odgovarajuće stručne, organizacijske i financijske pretpostavke kako bi poduhvat bio tehnički utemeljen, organizacijski izvodljiv i ekonomski zdrav, a time i osiguran uspjeh.

Vrlo značajni preduvjeti za adekvatno planiranje razvoja poljoprivrede u uvjetima natapanja jesu adekvatna opskrba natapnom vodom, pravilan izbor plodoređa i raspoređa usjeva u skladu s adekvatnom valorizacijom klimatskih uvjeta. Raspoloživa dužina vegetacijske sezone kao i klimatske prilike za vrijeme razvoja usjeva u najvećoj mjeri određuju put za izbor vrste usjeva i plodoređa.

Nakon što su izabrani usjevi koji odgovaraju uvjetima klime, tla i općenito okoline, opskrba vodom mora se razmotriti sa stajališta kako mogućeg podmirenja potreba tako i najefikasnije upotrebe tog bogatstva. U slučaju da raspoloživa količina vode nije ograničena, izbor usjeva, plodored i ukupna natapna površina kao i planirana proizvodnja određuje se na temelju drugih kriterija, a ne raspoložive količine vode.

Do sada je na različitim eksperimentalnim stanicama širom svijeta provedeno nekoliko serija istraživanja s namjerom da se utvrde odnosi između referentne ET i odgovarajuće (razmatranog usjeva) ET. Najpoznatija su istraživanja gdje je za referentni usjev upotrijebljena trava i druga serija gdje se to odnosilo na lucernu. U nastavku će se ukratko to obraditi.

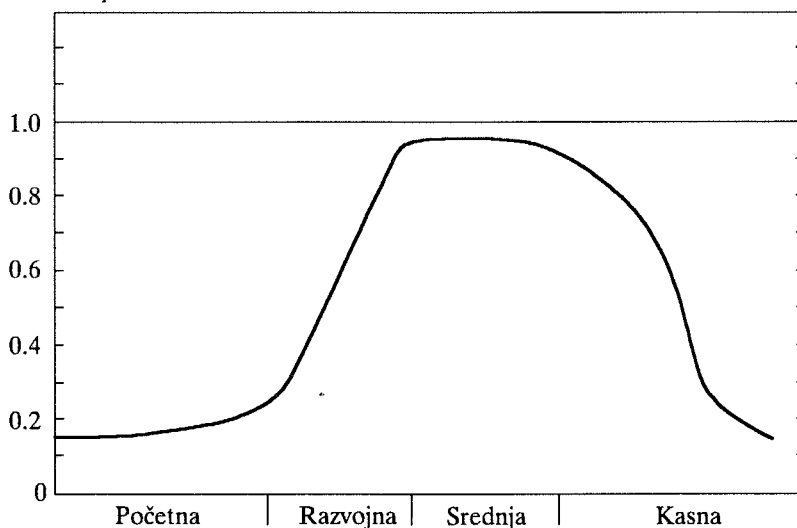
Osjetljivost na pomanjkanje vode u pojedinim razdobljima razvoja bilja

tablica 4-2

duhan	razdoblje naglog rasta; stvaranje priroda
grah	cvatnja; vegetacijska faza nije osjetljiva ako slijedi razdoblje dobre opskrbe
grašak	cvatnja i stvaranje ploda; sazrijevanje kod graška za suho zrno
krumpir	razdoblje početka razvoja gomolja i stvaranje priroda
kukuruz	najviše u cvatnji, naročito ako prethodno nije bilo deficita vlage
kupus	za vrijeme rasta glavice i u doba sazrijevanja
lubenica	cvatnja i nalijevanje ploda
lucerna	odmah nakon košnje, a kod sjemenske lucerne u cvatnji
luk	rast gomolja, naročito kod naglog rasta
pamuk	cvatnja i stvaranje priroda
paprika	za vrijeme cijele vegetacije, ali naročito pred i na početku cvatnje
pšenica	cvatnja; ozime pšenice manje osjetljive nego jare
rajčica	cvatnja; naročito za vrijeme i nakon presađivanja
sirak	cvatnja i stvaranje ploda; vegetacijsko razdoblje manje osjetljivo ako slijedi razdoblje dobre opskrbe
soja	stvaranje ploda i cvatnja; osobito kod razvoja mahune
suncokret	cvatnje i doba stvaranja ploda
šećerna repa	naročito prvi mjesec nakon nicanja
vinova loza	vegetacijsko razdoblje naročito za vrijeme rasta grozdova i cvatnje

Općenito uzevši, pokusima određen koeficijent usjeva odražava fiziologiju usjeva, stupanj pokrivanja tla (faza razvoja) i referentnu ET. Kod primjene tih koeficijenata potrebno je poznavati način kako su određeni s obzirom na to da predstavljaju empirički odnos između ET usjeva i referentne ET, kao što je to već ranije prikazano. Tako određeni koeficijenti uključuju kako isparavanje s površine tla tako i s lišća bilja. Veličina je isparavanja s tla ovisna o vlažnoj površini i njenoj ekspoziciji. S druge pak strane, transpiracija ovisi o količini i vrsti lisne površine kao i o raspoloživoj količini vode u zoni korijena. Tipičan primjer promjena koeficijenta usjeva u vremenu prikazan je na slici 4-2.

Na pokusnim se stanicama koeficijenti usjeva određuju tako da se istovremeno mjeri ET referentnog i razmatranog usjeva. Nakon toga određuje se koeficijent u obliku bezdimenzionalnog broja kao kvocijent tih dvaju mjerenja. Za tu se svrhu danas upotrebljavaju veoma osjetljivi lizimetri s elektroničkim uređajima za neprekidno mjerenje. Pri tome je najvažnije da je režim vlažnosti tla u lizimetru i polju jednak.



Sl.4-2 Generalizirana krivulja koeficijenta usjeva po razvojnim fazama

4.2.1. Određivanje koeficijenta usjeva k_c na bazi trave

Način određivanja koeficijenta usjeva u slučaju da je kao referentni usjev poslužila trava, detaljno je obrađen u publikaciji FAO-a ID-24 (Doorenbos i Pruitt, 1977.), pa se čitatelj, za više detalja, upućuje na taj izvor.

Ovdje će se ukratko iznijeti osnovne postavke te metode. U navedenoj publikaciji objavljene su i prosječne vrijednosti koeficijenta k_c za veći broj usjeva koji se navode u tablici 4-3.

Za određivanje krivulje koeficijenta usjeva treba postupak podijeliti u dvije faze koje se navode u nastavku.

Koeficijenti usjeva k_c

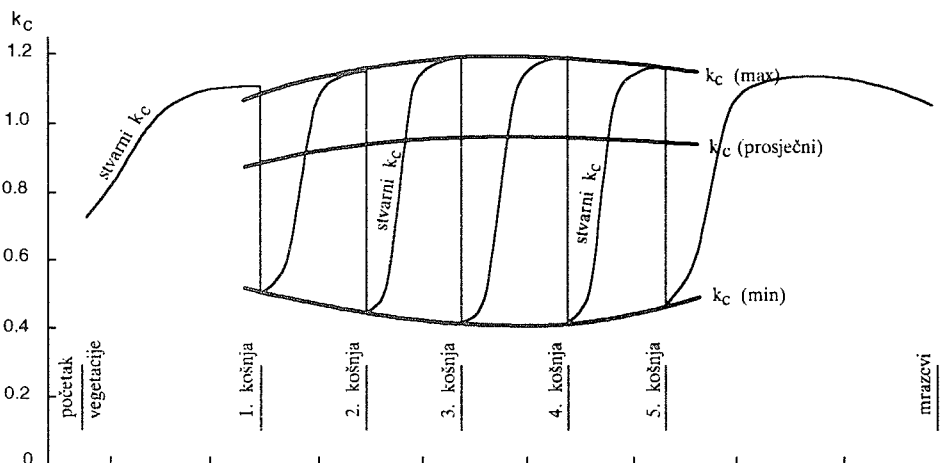
tablica 4-3

Usjev	Razvojna faza usjeva					Ukupna vegetacijska sezona
	početna	uzrast	sredina sezone	pri kraju sezone	kod berbe	
duhan	0,3-0,4	0,7-0,8	1,0-1,2	0,9-1,0	0,75-0,85	0,85-0,95
grah	0,3-0,4	0,7-0,8	1,05-1,2	0,65-0,75	0,25-0,3	0,7-0,8
grašak	0,4-0,5	0,7-0,85	1,05-1,2	1,0-1,15	0,95-1,1	0,8-0,95
krumpir	0,4-0,5	0,7-0,8	1,05-1,2	0,85-0,95	0,7-0,75	0,75-0,9
kukuruz	0,3-0,5	0,7-0,85	1,05-1,2	0,8-0,95	0,55-0,6	0,75-0,9
kupus	0,4-0,5	0,7-0,8	0,95-1,1	0,9-1,0	0,8-0,95	0,7-0,8
lubenica	0,4-0,5	0,7-0,8	0,95-1,05	0,8-0,9	0,65-0,75	0,75-0,85
lucerna	0,3-0,4				1,05-1,2	0,85-1,05
luk	0,4-0,6	0,7-0,8	0,95-1,1	0,85-0,9	0,75-0,85	0,8-0,9
pamuk	0,4-0,5	0,7-0,8	1,05-1,25	0,85-1,0	0,65-0,7	0,8-0,9
paprika	0,3-0,4	0,6-0,75	0,95-1,1	0,65-0,75	0,8-0,9	0,7-0,8
pšenica	0,3-0,4	0,7-0,8	1,05-1,2	0,8-0,95	0,2-0,25	0,8-0,9
rajčica	0,4-0,5	0,7-0,8	1,05-1,25	0,8-0,95	0,6-0,65	0,75-0,9*
sirak	0,3-0,4	0,7-0,75	1,0-1,15	0,75-0,8	0,5-0,55	0,75-0,85
soja	0,3-0,4	0,7-0,8	1,0-1,15	0,7-0,8	0,4-0,5	0,75-0,9
suncokret	0,3-0,4	0,7-0,8	1,05-1,2	0,7-0,8	0,35-0,45	0,75-0,85
šećerna repa	0,4-0,5	0,75-0,85	1,05-1,2	0,9-1,0	0,6-0,7	0,8-0,9
vinova loza	0,35-0,55	0,6-0,8	0,7-0,9	0,6-0,8	0,55-0,7	0,55-0,75

Napomena:

a) Prva se brojka odnosi na uzgoj u uvjetima visoke vlage zraka ($RH_{min} > 70\%$) i niske vrijednosti brzine vjetra ($U < 5$ m/s). Druga se brojka odnosi na uzgoj u uvjetima niske vlage zraka ($RH_{min} < 20\%$) i jaka vjetra ($U > 5$ m/s).

b) Ta je tablica prikladna za neposrednu upotrebu vrijednosti k_c , dok je tablica 4-4 prikladna za izradu dijagrama promjena k_c tijekom godine.

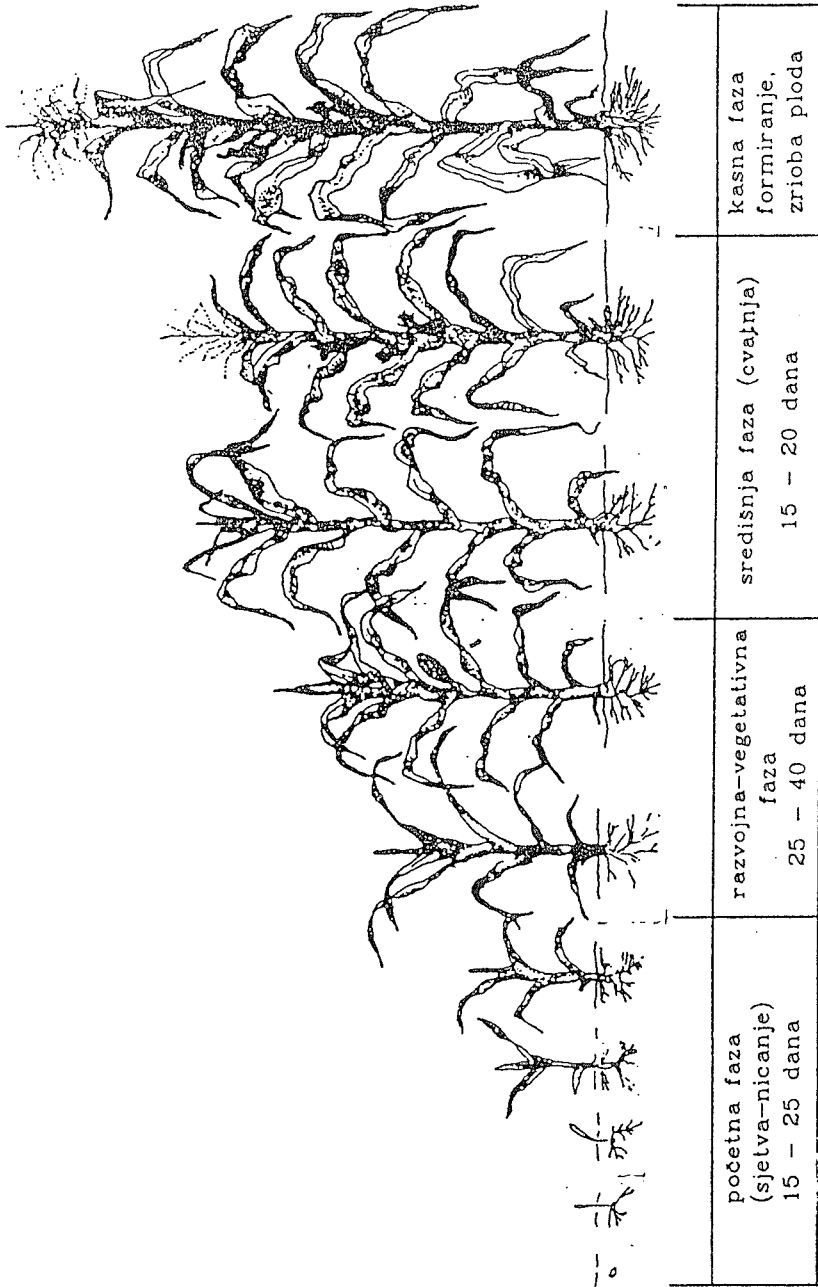


Slika 4-3. Tipičan grafikom k_c za lucernu (košnja svaka četiri tjedna)

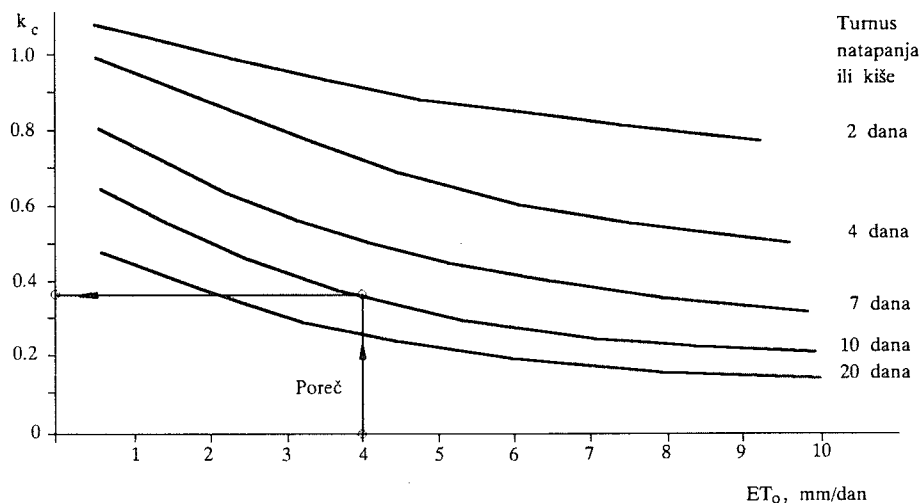
Najprije se podijeli ukupna vegetacijska sezona na karakteristične fenološke faze. Tako su npr. za poljske i povrtlarske usjeve karakteristični stupnjevi razvoja sljedeći:

1. Početna faza: nicanje i rani rast dok je površina tla još gola, pa sve do pokrivača 10%.
2. Razvojna faza: nastavljanje na početnu fazu, pa sve do efektivnoga punog pokrivača tla (70-80%).
3. Središnja faza: od punog pokrivača tla do početka sazrijevanja, što se obično očituje u promjeni boje lišća ili opadanju lišća.
4. Kasna faza: od kraja središnje faze, pa sve do završetka sazrijevanja, odnosno do berbe.

Izrada krivulje promjena koeficijenta usjeva k_c provodi se po fazama kako je u nastavku opisano. Dužina i struktura vegetacijske sezone uzimaju se prema lokalnim uvjetima, odnosno po savjetu stručnjaka agronoma. Veličina početne vrijednosti k_c određuje se uz pomoć dijagrama sa sl. 4-5 a što je vidljivo iz izrađenog primjera. Dijagram se obično aproksimira zaobljenom krivuljom. Nakon toga mogu se za svako potrebno razdoblje vremena čitati odgovarajuće vrijednosti za k_c (obično za svakih 10 ili 30 dana).



Sl.4-4 Faze razvoja kukuruza (prema Hanway, 1966)



Sl.4-5 Prosječna vrijednost k_c za početnu fazu razvoja

Pojedini su koraci izrade dijagrama k_c sljedeći:

- I. Odrediti datum sijanja ili sadnje prema lokalnim prilikama, uvjetima i saznanju;
- II. Utvrditi ukupnu dužinu vegetacijske sezone kao i dužine pojedinih faza razvoja na način kao pod 1.;
- III. Početna faza: na osnovi ranije izračunate ET_o , iz grafikona sl. 4-5 odrediti, ovisno o učestalosti natapanja ili oborine, početnu vrijednost k_c i to ucrtati na dijagram sl. 4-6;
- IV. Središnja faza: iz tablice 4-4 izabrati vrijednost k_c u ovisnosti o vladajućim klimatskim uvjetima;
- V. Kasna faza: jednako kao u prethodnoj fazi izabrati odgovarajuću vrijednost za k_c iz tablice 4- i ucrtati dijagram;
- VI. Razvojna faza: dobije se tako da se spoji ravnom crtom od kraja početne do početka središnje faze (vidi sl. 4-6).

Primjer:

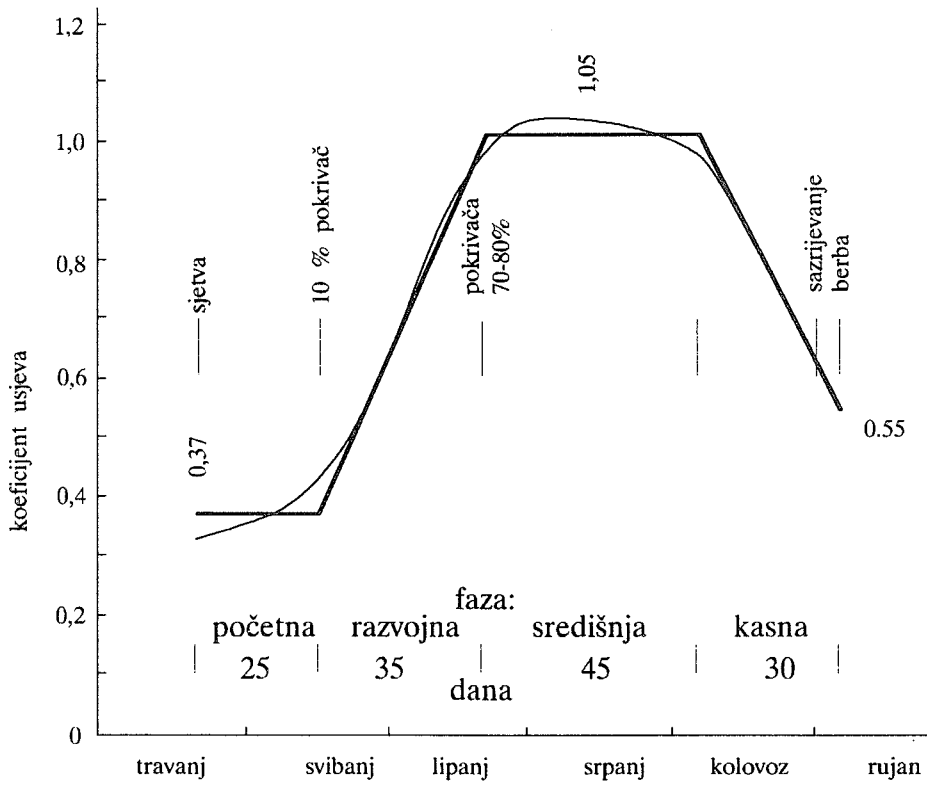
Za kukuruz za zrno koji će se uzgajati u dolini donjeg toka rijeke Mirne, treba odrediti krivulju koeficijenta usjeva k_c . Mjerodavni su podaci meteorološke stanice Poreč.

Zadano:

ET_0 za početnu fazu 4,0 mm/dan; $RH_{min} = 30-40\%$, a vjetrovi lagani do srednji (2-3 m/s); turnus natapanja 10 dana.

- I. Datum sijanja: 20. travnja
- II. Dužina vegetacijske sezone: 135 dana, i to:
 - početna faza : 25 dana
 - razvojna faza: 35 dana
 - središnja faza: 45 dana
 - kasna faza: 30 dana
 - Svega: 135 dana
- III. Prema zadanim podacima za ET_0 i turnusu natapanja, iz grafikona sl. 4-5 čitamo $k_c=0.37$
- IV. Središnja faza: za zadane meteorološke uvjeta iz tablice 4-4 čitamo vrijednost za $k_c = 1,05$
- V. Kasna faza: isto kao u prethodnom slučaju, biramo $k_c = 0,55$
- VI. Razvojna faza: vrijednosti se dobivaju linearnom interpolacijom između početne i središnje faze.

Sve se vrijednosti spoje ravnom crtom, a može i zaobljena krivulja.



Sl.4-6 Određivanje krivulje k_c za kukuruz za zno u dolini rijeke Mirne

Vrijednosti koeficijenta usjeva k_c za različite klimatske uvjete i faze usjeva

Tablica 4-4

Usjev	Relativna vlaga		RHmin > 70%		RHmin < 20%	
	vjetar m/s		0-5	5-8	0-5	5-8
	<u>Faza razvoja</u>					
Svi ratarski usjevi	početna razvojna	1 2	iz sl. 4-3 interpolacijom			
duhan	središnja kod berbe	3 4	1,00 0,70	1,10 0,75	1,15 0,80	1,20 0,85
grah		3 4	0,05 0,30	1,10 0,3	1,15 0,25	1,20 0,25
grašak		3 4	1,05 0,95	1,10 1,00	1,15 1,05	1,20 1,10
krumpir		3 4	1,05 0,70	1,10 0,70	1,15 0,75	1,20 0,75
kukuruz		3 4	1,05 0,55	1,10 0,55	1,15 0,60	1,20 0,60
kupus		3 4	0,95 0,80	1,00 0,85	1,05 0,90	1,10 0,95
lubenica		3 4	0,90 0,65	0,95 0,70	0,95 0,75	1,05 0,80
lucerna	pred košnju nakon košnje	3 4	1,05 0,50	1,10 0,60	1,10 0,55	1,15 0,50
luk		3 4	0,95 0,75	0,95 0,75	1,05 0,8	1,10 0,85
pamuk		3 4	1,05 0,65	1,15 0,65	1,20 0,65	1,25 0,70
paprika		3 4	0,95 0,80	1,00 0,85	1,05 0,85	1,10 0,90
pšenica		3 4	1,05 0,25	1,10 0,25	1,15 0,20	1,20 0,20
rajčica		3 4	1,05 0,60	1,10 0,60	1,20 0,65	1,25 0,65
sirak		3 4	1,00 0,50	1,05 0,50	1,10 0,55	1,15 0,55
soja		3 4	1,00 0,45	1,05 0,45	1,10 0,45	1,15 0,45
suncokret		3 4	1,05 0,40	1,10 0,40	1,15 0,35	1,20 0,35
šećerna repa		3 4	1,05 0,90	1,10 0,95	1,15 1,00	1,20 1,00
vinova loza		3 4	0,75 0,75	0,75 0,80	0,85 0,85	0,90 0,90

5. ANALIZA UTJECAJNIH FAKTORA NA ET USJEVA

5.1. OPĆENITO

Kao što je poznato, metode koje su tu opisane i na temelju kojih su obrađeni primjeri za praktičnu primjenu, odnose se na određivanje ET zdravog usjeva uzgajanoga na prostranim površinama, uz dovoljno hranjiva i vode.

U praktičnoj će se primjeni vrlo često pojaviti potreba uporabe tih formula za slučajeve kada nisu zadovoljene sve te i druge pretpostavke. S tim u vezi, nameće se potreba obrade onih čimbenika koji mogu, pod određenim uvjetima, utjecati na veličinu ET, što znači da je potrebno, u određenoj mjeri, dopuniti (ispraviti) rezultate dobivene po obrađenim metodama. Veličina tog učinka ovisi i o lokalnim specifičnim značajkama (klima, tlo, voda, itd.) koje se ne mogu obuhvatiti u nekom matematičkom izrazu, pa je to prijeko potrebno provesti kod svakog slučaja (projekta) posebno. U nastavku će se dati samo opće smjernice i upute za provedbu tog računa.

5.2. KLIMA

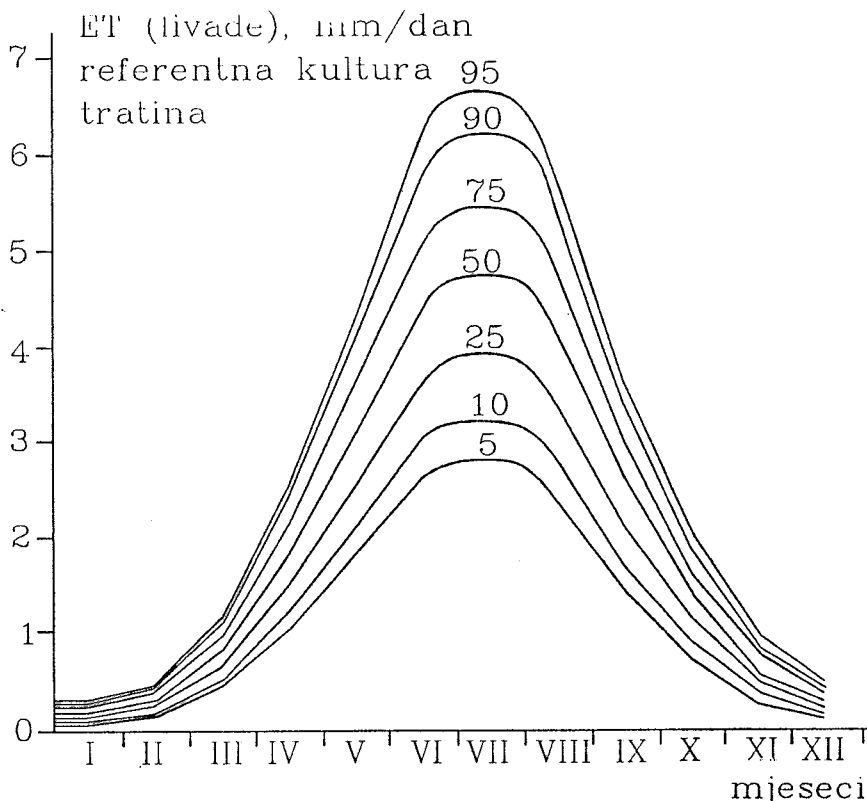
5.2.1. PROMJENE U VREMENU

Već je ranije napomenuto da se za proračun pojedinih veličina ET upotrebljavaju prosječne vrijednosti meteoroloških podataka. Kako se te vrijednosti mijenjaju iz godine u godinu, a još više unutar godine po godišnjim dobima i mjesecima, to je jasno da će se i ET mijenjati. Iskustvo pokazuje da se vrijednost godišnje ET mijenja iz godine u godinu, a veličina promjene ovisi o klimatskom pojasu. Najmanje su promjene u tropskome humidnom području, i to plus-minus oko 10%, a najveće u srednje-kontinentalnom, i to do 25%.

Ako usporedimo mjesečne ET za iste mjesece u različitim godinama, onda ćemo ustanoviti da su te razlike veće negoli za godišnje vrijednosti (obično do 50%). Dakako, to je prouzročeno kolebanjem klimatskih faktora, tako da npr., radijacija u pojasu srednje zemljopisne širine može pokazivati izuzetno velika kolebanja.

Varijacije su dnevnih vrijednosti ET još drastičnije. One u najvećoj mjeri ovise o elementima vremena koji se mogu značajno promijeniti i u rasponu od

nekoliko sati. Tako će se najniže vrijednosti pojaviti u danu kada je oblačno, kišovito, vlažno i tiho, a najviše kada je suho, sunčano i vjetrovito.



Slika 5-1 Raspodjela učestalosti dnevnih vrijednosti ET za stanicu Križevci

Maksimalna je dnevna potrošnja jedan od ključnih parametara za planiranje natapnih sustava, posebno za određivanje dimenzija pojedinih građevina kao i za planiranje pogona. Općenito uzevši, vršna potrošnja ne nastupa kod svih usjeva u isto vrijeme, ali kako bitno ovisi o duljini dana, temperaturi zraka i fazi razvoja bilja, za naše se prilike, uglavnom pojavljuje u razdoblju od 15. lipnja do 15. kolovoza već prema vrsti usjeva. Kod planiranja natapnih sustava, bitno je utvrditi ukupan maksimum za sve usjeve unutar melioracijskog područja.

Za određivanje vršne dnevne potrebe, do danas je u opticaju više metoda. Američko ministarstvo poljoprivrede, SCS, još je 1967. predložio formulu koja glasi:

$$ET_d = 0,03 ET_m^{1,09} \cdot N^{-0,99}$$

gdje je:

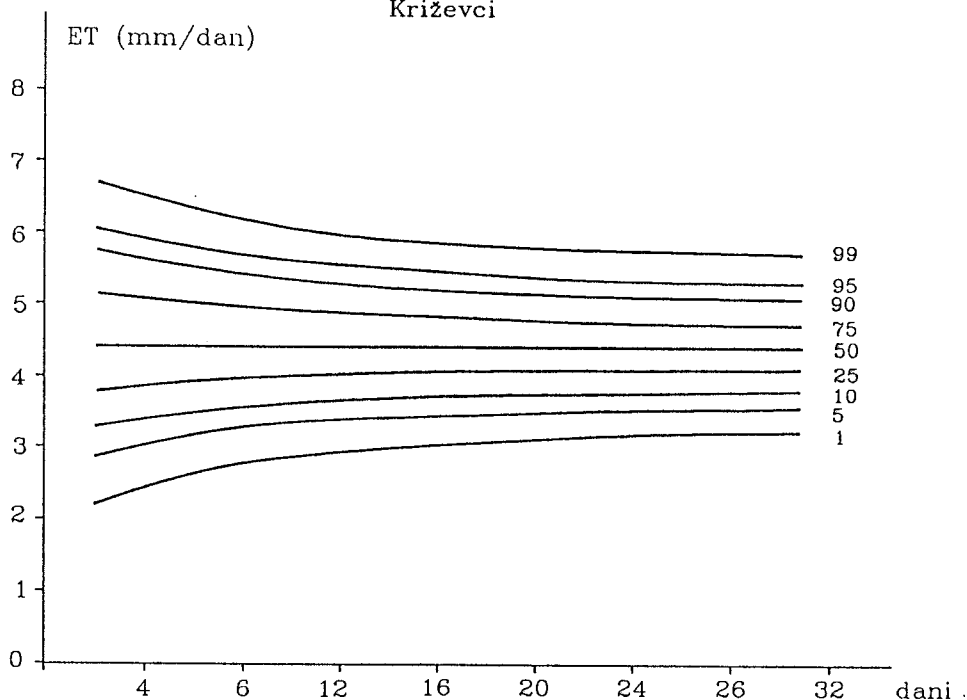
Et_d - prosječna dnevna vršna potreba

ET_m - prosječna potreba u mjesecu vršne potrošnje

N - neto natapna norma; sve u mm.

Istovjetan pristup za definiranje maksimalne dnevne potrošnje u mjesecu najveće izračunate evapotranspiracije primijenio je B. Criddle. Rezultati njegovih istraživanja prikazani su u tablici 5-1.

Raspodjela učestalosti dnevnih vrijednosti
 ET (mm/dan) za mjesec lipanj za stanicu
Križevci



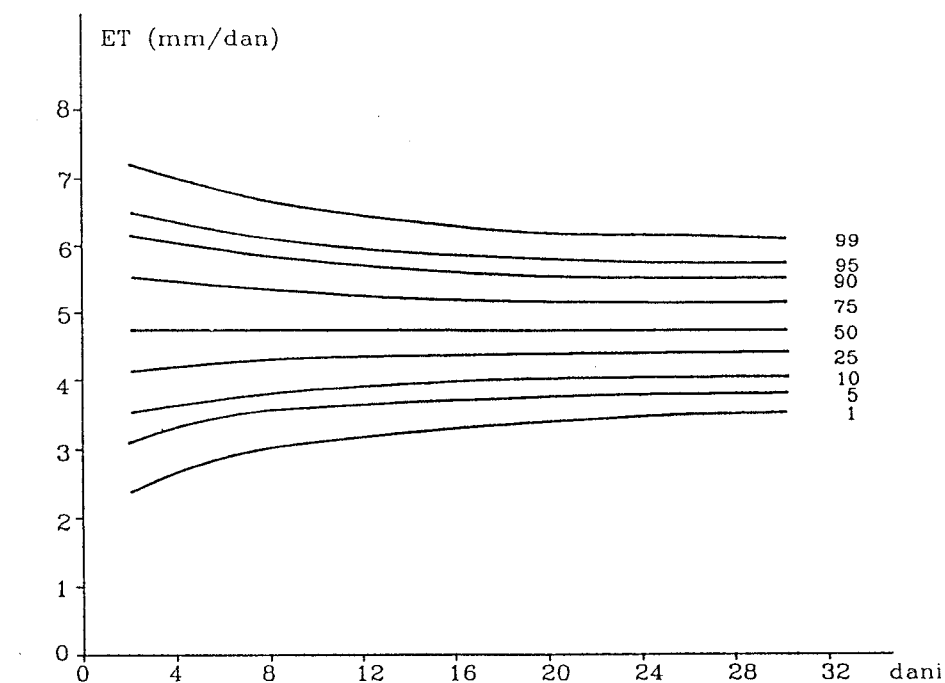
Slika 5-2a Raspodjela učestalosti od 1 do 30 dana za vrijeme vršne potrošnje

Odnos između mjesečne ET (obično se razmatra mjesec najveće potrošnje) i vršne dnevne ET značajno ovisi o klimatskim čimbenicima razmatranog područja. Takvu jednu metodu preporučila je organizacija FAO (Doorenbos i Pruitt, 1977.), a prikazana je na slici 5-3. Ona daje približno vrijednosti osiguranja od oko 70% i vrlo je brz i jednostavan način za određivanje maksimalne dnevne potrošnje. Kao što se vidi, na slici su četiri krivulje koje predstavljaju četiri različite klimatske zone, i to:

1. Aridno i semiaridno područje s pretežitom vedrim nebom za vrijeme vršne mjesečne ET;
2. Srednje kontinentalna klima i subhumidni i humidni pojasevi sa značajnim kolebanjem naoblake za vrijeme vršne mjesečne ET;
- 3 i 4. Srednje kontinentalna klima s promjenjivom naoblakom i srednjom dnevnom ET_c od 5 (krivulja 3) i 10 mm po danu (krivulja 4).

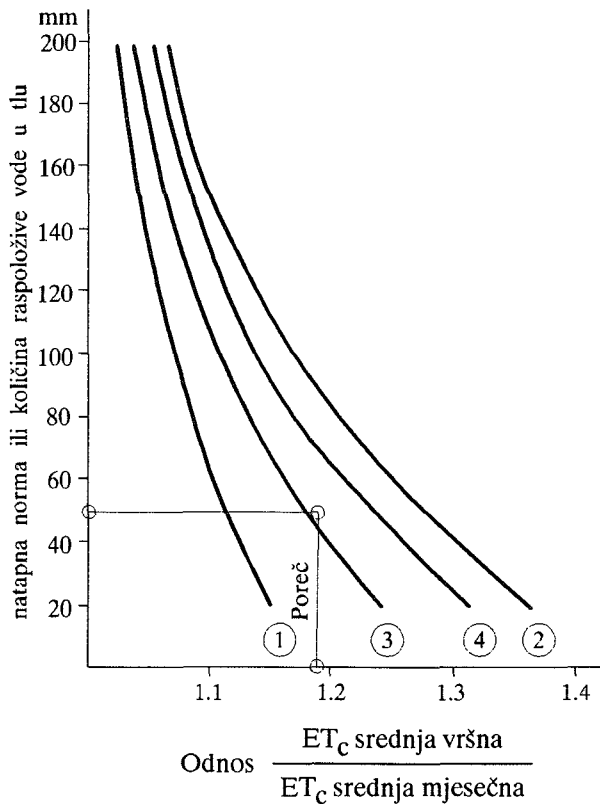
Postupak proračuna sastoji se u tome što za određenu natapnu normu i klimatsku zonu (krivulju) očitamo na apscisi vrijednost korekcije ET_c i to pomnožimo s prosječnom jednodnevnom vrijednosti za razmatrani mjesec.

Raspodjela učestalosti dnevnih vrijednosti ET za mjesec srpanj za stanicu Križevci



Slika 5-2b

Raspodjela učestalosti dnevnih vrijednosti ET za mjesec srpanj za stanicu Križevci



Slika 5-3 Grafikon za procjene vršne dnevne potrošnje na temelju mjesečne ET

Današnja su stajališta, s obzirom na novija znanstvena dostignuća, da takav pristup određivanja tih vrijednosti nije više adekvatan te da ih treba definirati ne samo po veličini već i učestalosti pojave. Da bi se za svaki mjesec dobila neka mjera vjerojatnog raspona potreba bilja za vodom, potrebno je za raspoloživi fond meteoroloških podloga izračunati mjesečne potrebe za vodom za evapotranspiraciju. Nakon toga bit će potrebno odrediti vjerojatnoću zadovoljenja potreba za vodom, što ovisi o ekonomskim analizama, a uzima se prema stečenom iskustvu. Vjerojatnoća je zadovoljenja potreba za vodom ovisna o vrsti uzgajanog usjeva, odnosno veća je kod usjeva visoke tržišne i akumulativne vrijednosti, ali se dakako mora izabrati jedinstvena (prosječna) stopa za cijeli sustav. U praksi se najčešće izračunaju mjesečne vrijednosti evapotranspiracije za razdoblje od 10 godina, pa se zatim izradi račun vjerojatnosti pojave za svaki postotak osiguranja koje se u praksi primjenjuje. Tako npr. ako želimo da nam izračunata norma natapanja ima osiguranje od 80% birat ćemo najveću vrijednost unutar 5 godina (drugu od 10), odnosno ako smo se odlučili na osiguranje od 75%, to će biti najveća unutar 4 godine.

**Vrijednosti maksimalne dnevne potrošnje u mjesecu
najveće izračunate ET_p u ovisnosti o normi natapanja**

Tablica 5-1

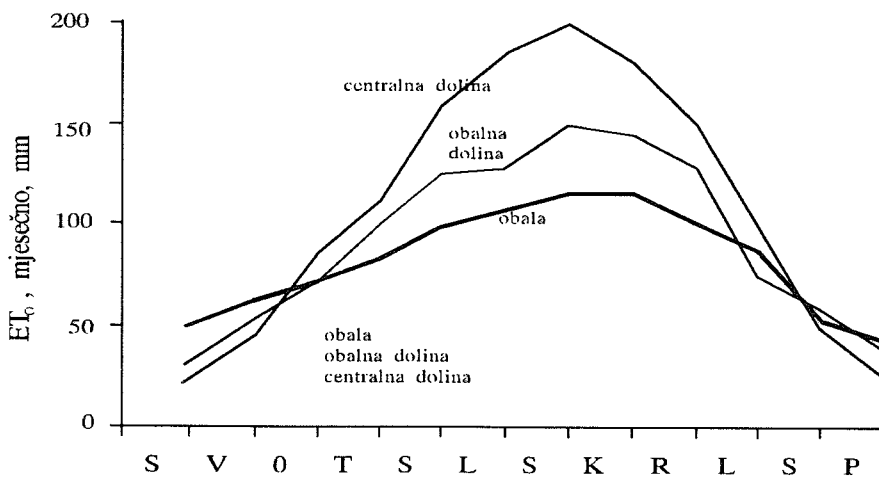
Norma natapanja mm	ET_p za mjesec najveće potrošnje					
	100	120	140	160	180	200
	Maksimalna dnevna potrošnja, mm					
25	5,4	6,6	7,6	8,6	9,7	10,8
50	4,6	5,5	6,4	7,3	8,2	9,1
75	4,1	4,9	5,7	6,6	7,4	8,2
100	3,8	4,6	5,4	6,2	6,9	7,3
125	3,6	4,3	5,0	5,7	6,5	7,2
150	3,5	4,2	4,8	5,5	6,2	6,9
175	3,4	4,0	4,6	5,3	5,9	6,5

5.2.2. PROMJENA S UDALJENOŠĆU

U praksi se vrlo često događa da, kod planiranja nekoga natapnog projekta, za pojedine operacije proračuna upotrebljavamo meteorološke podatke sa stanica koje su poprilično udaljene od planirane natapne površine. U najvećem broju slučajeva to nije moguće izbjeći jer u tom području ne postoji stanica koja raspolaže podlogama za taj proračun. Prikupljanje podloga (provedba mjerenja), nakon što je donesena odluka o izradi plana, ne dolazi u obzir jer je za iole vjerodostojne proračune prijeko potrebno imati nizove mjerenja od barem 10 godina. Prema tome, treba upotrijebiti raspoložive podatke s najbliže meteorološke stanice, ali s velikom oprežnošću i, u slučaju potrebe, korekcijom ili na drugi način raspoložive podatke preraditi tako da odgovaraju stvarnom stanju razmatranog područja. Primjera naglih promjena pojedinih meteoroloških parametara na maloj udaljenosti ima jako mnogo. Drastične promjene u najvećem broju uočene su u okolišu velikih jezera u aridnoj zoni te kod oštih orografskih promjena (naglo uzdizanje zračnih masa). Klasičan je primjer za potvrdu te pojave registrirano isparavanje na isparitelju u području jezera Naser u Egiptu. Na udaljenosti od samo 250 m od obalne crte jezera, isparavanje je više nego dvostruko. Na slici 5-4 prikazan je utjecaj udaljenosti od mora na promjene evapotranspiracije za referentni usjev u najrazvijenijim poljoprivrednim područjima Kalifornije (prema Bulletin 113-2, 1967. države Kalifornija). Uočljivo je da se s udaljenošću od mora ET zimi smanjuje, a ljeti povećava. Ovo je ujedno i dokaz da se paralelno s promjenom klimatskih parametara od mjesta do mjesta zbivaju promjene ET .

Iz izloženoga je očigledno da uporaba podataka s meteoroloških stanica koje su udaljene od razmatranoga melioracijskog područja treba provesti s velikim oprezom. Za tu analizu ne može se dati nikakav recept, a niti ne postoje ikakve "metode proračuna". Sve ovisi o klimatskom režimu na tom sektoru. Ponekad i na

stotinjak kilometara udaljenosti neće biti bitnih razlika, dok će u drugom primjeru svega nekoliko km predstavljati oštru granicu. Dakle, sve ovisi o savjesnom radu i iskustvu stručnjaka koji s tim poslom rukovodi.



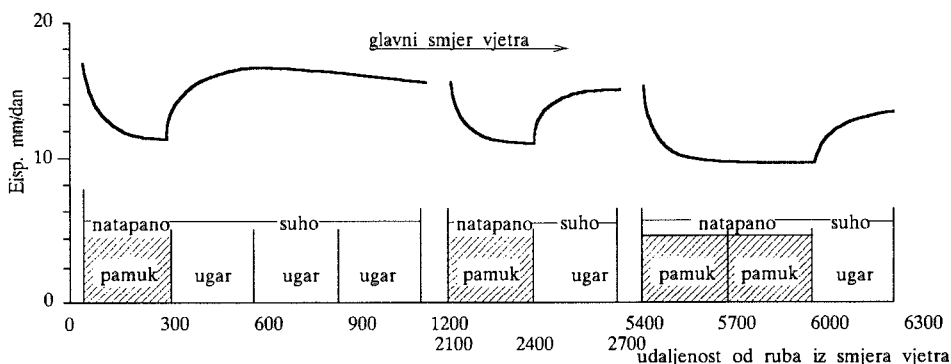
Slika 5-4 Promjene ET_0 s udaljenošću od mora (Kalifornija)

5.2.3. PROMJENE VEZANE ZA VELIČINU NATAPNOG PODRUČJA

Kod planiranja i projektiranja natapnih sustava, u pravilu se upotrebljavaju meteorološki podaci prikupljeni na najbližoj meteorološkoj stanici, koja se najčešće nalazi u najbližem naselju, gradu, aerodromu ili nekom značajnijem poduzeću. Nakon izgradnje natapnog sustava i privođenja kulturi neobrađenih površina, mikroklima će se na tom području u tolikoj mjeri izmijeniti da prethodno prikupljeni podaci neće više odgovarati stvarnom stanju. I za slučaj da se meteorološka stanica, s koje su podaci upotrebljeni, nalazila upravo na površini na kojoj je natapanje uvedeno, podaci neće odgovarati novom stanju jer su se nakon uvođenja natapanja određeni elementi mikroklimе izmijenili. Prema tome, izračunata ET usjeva primjenom prikupljenih podataka prije uvođenja natapanja neće odgovarati stvarnoj ET na navodnjavanim površinama. To je posebno oštro izraženo na velikim natapnim površinama u aridnim predjelima, naročito ako su k tome još i vjetrovite.

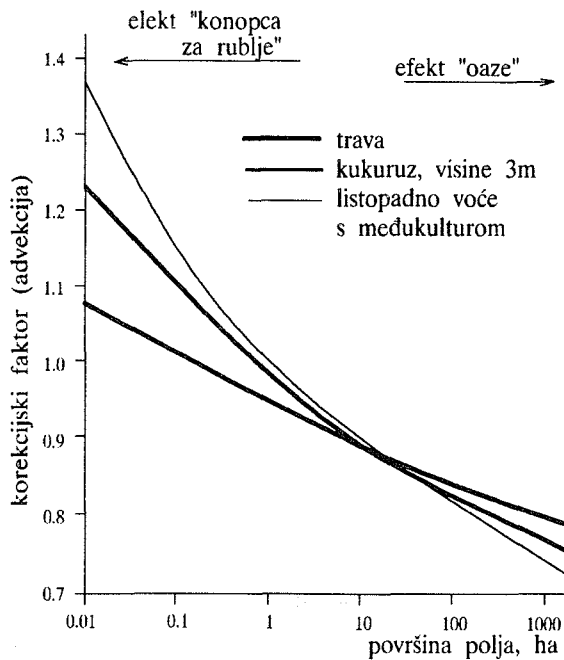
Iz izloženoga je očigledno da će u aridnom i semiaridnom klimatskom pojasu natapne površine okružene prostranim neobrađenim površinama bez vegetacije (ugar) biti izložene advekciji, odnosno horizontalnom pomicanju zraka i s time u vezi prijenosu topline, vlage i drugih meteoroloških čimbenika u horizontalnom smjeru. Zračne mase koje prodiru u natapno polje - za vrijeme prolaza donose toplinu, što na ulaznom rubu polja stvara tzv. efekt "konopca za

rublje", a unutar polja tzv efekt oaze. U toplo doba godine, uz suhe vjetrove, na ulaznom rubu polja mogu se očekivati znatno više vrijednosti ET_c negoli na suprotnom rubu polja, kao što se to vidi na priloženoj slici 5-4, na kojoj su prikazani rezultati mjerenja isparavanja na isparitelju na imanju Gezira u Sudanu, gdje su polja pamuka bila okružena golim tlom. S porastom udaljenosti od ulaznog ruba, zračne se mase postupno hlade i vlaže te se stanje izravnava. S udaljenošću od 100-400 m, efekt se obično izgubi. U praksi se pokazalo da pokusi provedeni na malim površinama okruženima golim neobrađenim tlom u uvjetima aridne klime zbog navedenog efekta, mogu dati i do dva puta veće vrijednosti ET negoli će to stvarno biti na budućem natapnom polju većih razmjera. Zato kod ekstrapolacije rezultata takve vrste treba biti krajnje oprezan.



Slika 5-5 Promjene isparavanja na isparitelju za presjek polja pamuk - ugar (Hudson, 1964.)

Natapna polja u aridnoj klime, okružena prostranim površinama gola tla (ugar) imat će veću ET_c negoli da su okružena obrađenim (natapnim) površinama. To se objašnjava tzv. Efektom oaze. Ipak, na tim će površinama temperatura sloja zraka iznad usjeva biti niža, a vlaga viša negoli na ugaru. Veličina ovog učinka ovisit će o dispoziciji i veličini natapanih i nenatapanih površina te o značajkama glavnih klimatskih elemenata. Te su činjenice od velikog značaja ne samo za slučaj kada koristimo meteorološke podatke sa stanica koje su udaljene od planirane natapne površine, već i za slučaj kada su podaci prikupljeni na samoj lokaciji razvoja natapanja prije realizacije projekta. Dosadašnja iskustva ukazuju da će, u prosjeku, veličina ET_c biti predimenzionirana za 5-15% za polja od 5 do 20 ha, a 10-25% za velike natapne sustave. Donja se brojka odnosi na "gušći sklop" natapanih i nenatapanih površina, a gornja na rjeđi. Na slici 5-6 dani su korekcijski koeficijenti za ispravljanje vrijednosti ET_c kako zbog efekta "konopca za rublje", tako i zbog učinka "oaze". Proračun se provodi na taj način što se izračuna ET_c prema klimatskim podlogama prije razvoja, bira se koeficijent ovisno o veličini polja te se na kraju dobivena ET_c množi s korekcijskom koeficijentom.



Slika 5-6 Korekcijski faktor za ET_c za kompenzaciju faktora "oaze" i "konopca za rublje"

5.2.4. PROMJENE VEZANE ZA NADMORSKU VISINU

ET_c izračunata za neku određenu klimatsku zonu mijenjat će se s nadmorskom visinom. Ta se promjena pripisuje u prvom redu drugačijim meteorološkim uvjetima koji vladaju na tim lokacijama, posebno temperaturi, vlazi i vjetrovima. Ako su podloge koje se koriste za proračun ET prikupljene na tim lokacijama, što se posebno može spomenuti za Penmanovu metodu i metodu isparitelja, onda nema odstupanja. Neke su metode testirane i na lokalitetima viših nadmorskih visina i za te uvjete su dane preporuke kako prilagoditi dobivene rezultate po standardnom postupku proračuna. Tako se za metodu Blaney-Criddlea preporuča smanjenje dobivenih rezultata za 10% za svakih 1000 metara nadmorske visine.

5.3. VODA U TLU

5.3.1. RASPOLOŽIVA VODA U TLU

Ranije opisane metode za proračun potrošnje vode pojedinih usjeva temelje se na pretpostavci da je bilju u svakom trenutku razvoja na raspolaganju dovoljna količina vode. U takvim uvjetima potrošnja vode bilja, za najveći broj usjeva, odvija se po shemi: 40% vode usisava se u prvom sloju koji je jednak jednoj četvrtini maksimalne dubine zakorjenjivanja, 30% u drugome, 20% u trećemu i 10% u četvrtome. To je veoma pojednostavljena shema utroška vode, jer tijekom vegetacije, naročito nakon što je veći dio vode u gornjem horizontu utrošen, paralelno smanjenju količine raspoložive vode u tlu, uspostavlja se dosta kompleksan sustav gibanja vode, i to iz jednog horizonta u drugi, zatim doprinosi podzemne vode kapilarnim putem, horizontalna gibanja i drugo.

Raspoloživa količina vode u tlu ovisi u prvom redu o teksturi, a u tlu iste teksture, o vrijednosti kapilarnog potencijala, odnosno o sili s kojom su čestice vode vezane za čestice tla. U tablici 5-2 dane su orijentacijske vrijednosti za najznačajnije tipove tala, i to za sadržaj vode u tlu za dva najkarakterističnija stanja retencije, i to kod poljskoga vodnog kapaciteta (nekih 0,2 - 0,3 bara) i točke venjenja (16 bara). Tu treba naglasiti da se koncept poljskoga vodnog kapaciteta i točke venjenja temelje na statičkoj ravnoteži sadržaja vode u tlu, što nije adekvatno stvarnom stanju. Naime, voda je u tlu podređena neprekidnom gibanju iz točke nižega u točke višeg potencijala, pa je podvrgnuta i neprekidnom dinamičkom režimu ravnoteže i neprekidnoj preraspodjeli u razmatranom sloju tla. To se podjednako odnosi kako na stanje saturiranoga tako i nesaturiranog režima.

Bez obzira na te očigledne činjenice, za sada se još uvijek iz praktičnih razloga ostaje na naprijed naznačenim kriterijima za prosudbu sadržaja vode u tlu.

Nakon što se skladišni prostor tla za vodu popuni kišom ili natapanjem, smanjenje vode u tlu uslijedit će u prvom redu evapotranspiracijom. Postupno se tlo suši, a time se smanjuje i količina vode koja se doprema bilju. Taj se proces progresivno razvija sve do trenutka kada je količina vode koje tlo može dopremiti bilju manja od potreba, odnosno ET_c . Tada započinje stanje venjenja. Utjecaj sadržaja vode u tlu na ET mijenja se ovisno o usjevu, i u prvom je redu ovisan o vrsti tla i mogućnosti sadržaja vode u njemu, zatim značajki korijenova sustava i meteorološkim čimbenicima.

Pod osrednjim uvjetima transpiracije (ispod 5 mm/dan) čini se da je za većinu usjeva ET_c malo ili nikako ograničena naponu vode u tlu sve do veličine od 1 bara, što približno odgovara 30 volumnih postotaka raspoložive vode u tlu za glinu, 40% za ilovaču, 50% za pjeskovitu ilovaču i 60% za ilovasti pijesak. Kada su uvjeti transpiracije niži, usjev može upotrijebiti adekvatnu količinu vode i u uvjetima

većeg smanjenja vode, odnosno kada su viši, usjev će ranije biti suočen sa smanjenjem potrošnje. To je naročito naglašeno u teškim tlima fine teksture.

S obzirom da smanjenje ET_c utječe na rast bilja i prirodu, količina dodane natapne vode kao i vrijeme natapanja jesu bitni čimbenici kod planiranja pogona. Na slici 5-7 prikazan je tok smanjenja ET za pamuk u Egiptu na tlu fine teksture tako što se predviđaju različite veličine ET_c . Kada je ET_c između 8 i 12 mm/dan, ta će se vrijednost održati za oko 12 odnosno 8 dana. Za duža razdoblja nakon zadnjeg natapanja vidi se da će se ET_c smanjivati naglije kada je evapotranspiracija viša, a sporije kada je niža. Nakon otprilike 24 dana odnos ET_r/ET_c postaje uglavnom nezavisan od uvjeta isparavanja (krivulje su paralelne).

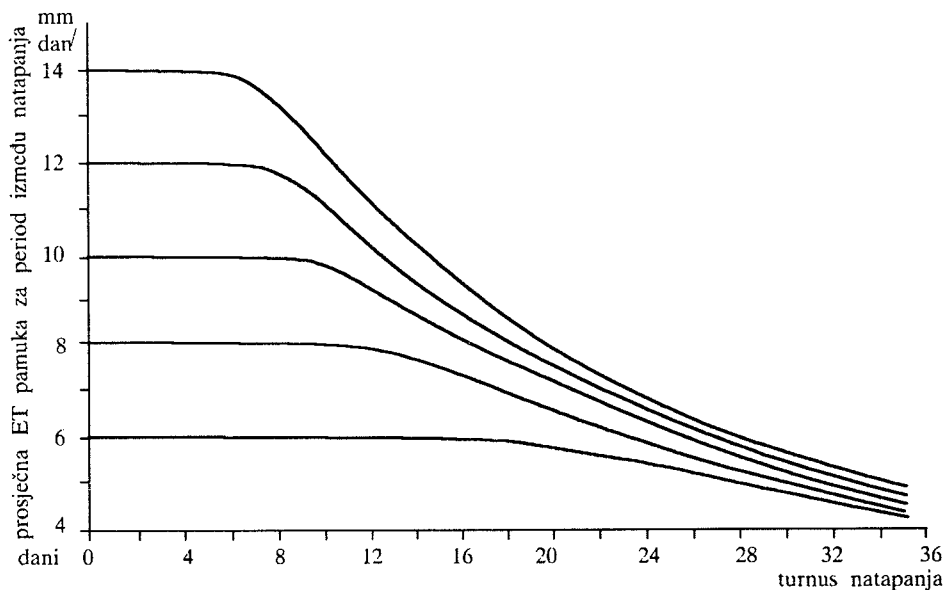
Raspoloživa količina vode u tlu (orijentacijske vrijednosti)

Tablica 5-2

Vrsta tla	Raspoloživa količina vode kod usisne sile bara: (u % volumena)				Sniženje raspoložive količine vode kod usisne sile bara: (u % volumena)			
	0.2	0.5	2.5	16.0	0.2	0.5	2.5	16.0
glina teška	18	15	8	0	0	17	55	100
glina praškasta	19	17	10	0	0	10	45	100
prah	20	15	7	0	0	25	65	100
prah fini	25	19	5	0	0	25	80	100
prah glinovito fini	16	12	7	0	0	25	55	100
prah glinovito pjeskoviti	14	11	6	0	0	20	55	100
prah pjeskoviti	13	8	3	0	0	40	75	100
pijesak fini praškasti	14	11	5	0	0	20	65	100
pijesak srednje fini	6	3	2	0	0	50	65	100

Tablica 5-3 ukazuje na trajanje i tok smanjenja raspoložive količine vode u tlu u ovisnosti o teksturi tla i vrsti usjeva nakon zadnjeg natapanja, što je od velikoga praktičnog značaja za planiranje priroda i pogona natapanja. Podatke je objavio Rijtema (1965.), i to za dubinu tla (zakorjenjivanja) od 1,0 m, ali se može interpolirati bilo koja vrijednost. Podacima se iz tablice obično dodaje 1 do 2 dana, i to zato jer odmah nakon natapanja protekne izvjesno vrijeme da se voda ravnomjerno rasporedi po čitavome pedološkom profilu. Npr., ako planiramo natapati suncokret na tlu srednje teksture s predviđenom ET_c od 7 mm/dan i dubinom zakorjenjivanja od 0,8 m, onda će nakon zadnjeg natapanja, prije nego ET_c (suncokreta) počinje smanjivati, biti raspoloživo $0,8 \cdot 50 = 40$ mm; iz toga slijedi da

će suncokret početi smanjivati ET_c nakon $(40 : 7) + 1(2) = 7$ ili 8 dana (zaokruženo); jasno, računajući od zadnjeg natapanja.



Slika 5-7 *Prosječna realna ET za pamuk za različite turnuse natapanja i veličine ET (Rijtema i Abukhaled, 1975.)*

Radi kompletiranja ovog poglavlja o raspoloživoj količini vode za bilje u tlu navest ćemo u tablici 5-4 podatke o dubini zakorjenjivanja nekih najznačajnijih i najčešće razmatranih poljoprivrednih usjeva. Dubina prodiranja žilja kao i horizontalno širenje uvjetovano genetskim značajkama bilja, dakako, ovisi o teksturi i strukturi tla, dubini tla, razini podzemne vode kao i o nekim drugim značajkama tla i klime. U ranijem izlaganju spomenuta je pretpostavljena shema crpljenja vode po dubini (po četvrtinama). Takvih shema u literaturi ima više a i podataka o zakorjenjivanju bilja. Prema tome, to je samo jedan skup u nizu raspoloživih podataka te vrste koji se mogu upotrijebiti u praksi. Dubina zakorjenjivanja koja se navodi u tablici, predstavlja dubinu u kojoj biljka crpi vodu iz tla koja se često naziva i "dubina efektivnog zakorjenjivanja". Za svaki se usjev navode dvije vrijednosti: donja i gornja. Koja će se vrijednost u konkretnom slučaju realizirati (odabrati) ovisi o razini vlage u tlu raspoložive za vrijeme uzrasta bilja kao i o nekim drugim činiocima (razina podzemne vode i drugo). Dakako, pretpostavka je i da je tlo dovoljne dubine i homogeno.

Visina raspoložive količine vode u tlu za različite teksture i visine ET_c kod koje se održava njena predviđena maksimalna razina (dubina tla 1 m)

Tablica 5-3

Tekstura tla	Usjev	Predviđena ET_c u mm													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
fina tekstura (prah-glina)	pamuk	200	190	170	155	140	125	110	100	95	90	80	75	70	65
	žitarice														
	lucerna														
	grahorice	190	165	150	135	115	100	90	80	75	70	65	60	60	55
	suncokret	170	145	125	110	95	80	75	65	60	55	55	50	50	45
	paprika krumpir	125	95	75	60	55	45								
srednja tekstura (pjeskoviti prah-glineno pjeskoviti prah)	pamuk	130	125	110	100	90	80	70	65	60	55	50	50	45	40
	žitarice														
	lucerna														
	grahorice	125	110	100	85	75	65	60	55	50	45	40	40	35	35
	suncokret	110	95	85	70	60	55	50	40	40	35	35	30	30	30
	paprika krumpir	80	60	50	40	35	30								
gruba tekstura	pamuk	60	55	50	45	40	35	30	30	25	25	25	20	20	20
	žitarice														
	lucerna														
	grahorice	55	50	45	40	35	30	25	25	20	20	20	15	15	15
	suncokret	50	45	35	30	25	25	20	20	15	15	15	15	10	10
	paprika krumpir	35	25	20	15	15	10								

Dubina efektivnog zakorjenjivanja nekih usjeva na stupnju zrelosti

Tablica 5-4

usjev	dubina cm	usjev	dubina cm
duhan	45-90	pamuk	75-110
grah	30-60	paprika	40-100
grašak	30-60	pšenica	60-150
krumpir	30-75	rajčica	40-100
kukuruz	75-160	sirak	50-125
kupus	30-60	soja	60-125
lubenica	75-125	suncokret	50-120
lucerna	90-180	šećerna repa	60-125
luk	30-75	vinova loza	75-180

5.3.2. PODZEMNA VODA

Prekomjerna količina vode u tlu može nanijeti više štete usjevima negoli povremeni nedostatak vlage u zoni korijena. Ako je razina podzemne vode visoka, a tlo saturirano, smanjit će se rast najvećeg broja usjeva, a s time ET_c . U uvjetima humidne klime, tla zasićena vodom grijat će se sporije, što će prouzročiti kasnije nicanje i puni razvoj bilja. U takvim će prilikama priprema tla kasniti, što će izazvati kasniju sjetvu, odnosno sadnju.

U tablici 5-5 prikazani su podaci o relativnoj osjetljivosti pojedinih usjeva na kisik u zoni korijena, zatim na određenu visinu razine podzemne vode te na saturaciju tla vodom.

Općenito uzevši, više razine podzemne vode mogu se dopustiti (podnositi) kod pjeskovitih tala, a niže kod ilovastih i glinovitih. To se tumači činjenicom da je kapilarno dizanje vode kod pjeskovitih tala znatno manje negoli kod tala fine teksture, pa je i doprema vode u više horizonte osjetno manja. S tim u vezi pjeskovita će tla, pod istim uvjetima, imati znatno veći udio pora ispunjenih zrakom. Ovisno o tipu tla, za većinu usjeva, zahtjevi za minimalnom dubinom podzemne vode (mjereno od površine tla) za postizanje optimalnog uroda jesu:

- za pijesak: dubina zakorjenjivanja +20 cm
- za ilovaču: dubina zakorjenjivanja +40 cm
- za glinu: dubina zakorjenjivanja +80 cm

Stupanj osjetljivosti usjeva na dubinu podzemne vode i zasićenje tla

Tablica 5-5

osjetljivost	deficit kisika, O ₂	dubina podzemne vode na 50 cm	zasićenje
jako dobra	koncentracija O ₂ 0-1% riža vrba šećerna trska grahovice	prirod 80-100% šećerna trska krumpir grah	jagode grahovice šljive
srednja	koncentracija O ₂ 2-5% ječam luk pamuk agrumi soja jabuka	prirod 60-80% šećerna repa pšenica ječam grašak pamuk	agrumi banana jabuka kruška dud
slaba	koncentracija O ₂ > 10% kukuruz grašak grah duhan	prirod < 60% kukuruz	breskva trešnja palma (datulje) maslina

5.3.3. VODA I PRIRODI

Kod planiranja priroda, odnosno ukupne poljoprivredne proizvodnje na nekom dobru u uvjetima natapanja mogu se pojaviti četiri karakteristična slučaja:

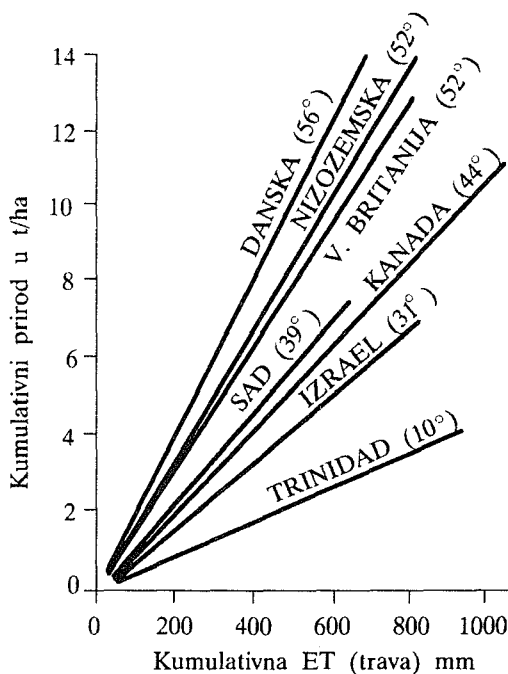
a) ako imamo dovoljne (neograničene) količine vode i tla, onda se plan mora temeljiti na koncepciji postizanja najvećega čistog prihoda (dohotka) po hektaru;

b) ako pak imamo dovoljne količine vode, a poljoprivrednog tla u ograničenom opsegu, plan treba usmjeriti na dobivanje maksimalne količine uroda, po jedinici površine;

c) ako imamo ograničenu količinu vode, a poljoprivrednog tla dovoljno, svrha je plana postizanje najboljega financijskog učinka po kubnom metru utrošene vode; i

d) ako su i tlo i voda ograničeni, treba težiti postizanju najvećeg uroda po kubnom metru utrošene vode.

Mnogobrojna istraživanja širom svijeta o vezi utroška vode i proizvodnje suhe tvari ukazala su na direktan odnos tih činilaca - jasno, pod uvjetom da su ostali čimbenici priroda, kao što su plodnost, temperatura, osunčanje i dr., istovjetni i bez ograničenja. To se odnosi samo na uvjete istog usjeva i iste sorte. Međutim, ako sada analiziramo utrošak jedinične količine vode za proizvodnju jedinice mase suhe tvari kod različitih usjeva odnosno sorti, onda ćemo uočiti velike razlike. Tako će npr. u sličnim uvjetima za proizvodnju jedinice mase suhe tvari kod lucerne biti potrebna četiri puta veća količina vode negoli kod pšenice. Nadalje, klimatski uvjeti imaju značajan utjecaj na taj fenomen kao što se to i vidi na priloženoj slici 5-8.



Slika 5-8 Ovisnost između ET trave, proizvodnje mase suhe tvari i zemljopisne širine (Stanhill, 1960.)

Kod usjeva koji proizvode plodove za industrijsku preradu (šećer, ulje) ili pak žitarica i voćaka, sorte razlike mogu biti izrazito naglašene. Tako npr. za isti ET_c prirod visokorodnih sorti riže može biti četiri puta veći negoli kod tradicionalnih sorti, jasno, u uvjetima dobra gospodarenja. Ipak treba naglasiti da novija istraživanja ukazuju na činjenicu da je relativni odnos priroda prema ET_c uglavnom konstantan za većinu danas uzgajanih sorti pod uvjetom da opskrba vodom nije ograničena.

5.4. NAČIN NATAPANJA

Dosadašnja istraživanja pokazuju da način (metoda) natapanja utječe bitno na veličinu evapotranspiracije. Prednost jedne metode nad drugom nije, u najvećem broju slučajeva, u tome koliko i kako će isporučiti vodu bilju, već da li će određenu količinu vode (u planiranoj mjeri) uopće isporučiti, tj. u uspješnosti natapanja. S tim u vezi izbor načina natapanja temelji se u prvom redu na ishodu rezultata analize sljedećih čimbenika (pokazatelja): troškova, efikasnosti potrošnje vode, jednostavnosti mreže, utjecaja pogona natapanja na tlo (erozija), problem saliniteta i eventualno nekih drugih lokalnih posebnosti.

O izboru vrste natapanja uglavnom ovisi i veličina primijenjene natapne norme. Svaki način natapanja ima svoje uobičajene vrijednosti moguće efikasnosti dovoda i isporuke vode biljci. Najčešće problem nije u tome kojim će se načinom određena količina vode isporučiti biljci, već da li će ta planirana količina vode uopće stići do biljke, dakle, radi se o efikasnosti natapanja. Npr., ako se neka određena količina vode na jednom imanju isporučuje, recimo, prelijevanjem, a na drugom kišenjem, vjerojatno će se pojaviti neka razlika u rezultatima. Međutim, ako problem razmatramo na drugi način, tj. tako da mjerimo količinu vode koju je bilje dobilo u jednom i drugom primjeru, onda ćemo vjerojatno ustanoviti da je za istu količinu isporučene vode postignut isti učinak. Ipak, neke će se osobitosti u primjeni nekih osnovnih načina natapanja ukratko prikazati u nastavku.

Kod površinskih je načina natapanja, općenito, teško provesti neke mjere radi smanjenja utroška vode, odnosno ET. Izuzetak donekle čini natapanje infiltracijom (brazde), gdje se kod nekih usjeva, a posebno voćnjaka i vinograda može postići izvjesna ušteda vode smanjenjem vlažene površine. Tako se kod voćnih drvoreda može, s pomoću brazda, može natapati samo pojas uz stablo, a time i uštedjeti adekvatna količina vode.

Natapnje je kišenjem, što se utjecaja pogona tiče na utrošak vode, malo složenije. Kod tog se načina transpiracija bilja može smanjiti za vrijeme natapanja (vlaženje lisne površine), ali se istovremeno povećava isparavanje s lisne površine i tla, pa je ukupan učinak obično veoma mali. Ušteda vode na toj osnovi može se značajno povećati navodnjavanjem ispod krošnje voćarskih nasada. Nažalost, time se eliminira utjecaj natapanja iznad krošnje na mikroklimu. Neke analize pokazuju da se natapanjem iznad krošnje može sniziti temperatura zraka do 10°C, a relativna vlaga povisiti do 30%. Gubici su na isparavanju obično mali (oko 2%) izuzev pod utjecajem jačih vjetrova (oko 5 m/s), kada mogu dostići i do 15%, a tada se očituje i nepovoljna raspodjela vode, pa se natapanje mora obustaviti.

Natapanje kapanjem omogućuje gotovo idealno doziranje vode u korijenov sustav, a time i održavanje optimalnoga vodno-zračnog režima u tlu, čime se neprekidno osigurava kvalitetna opskrba vodom usjeva, odnosno zahtijevana razina ET_c. Visoka djelotvornost natapnog sustava kapanjem pripisuje se u prvom redu

veoma kvalitetnom dovodu vode do biljke kao i ravnomjernoj raspodjeli u zoni korijena. U slučaju natapanja krmnog bilja ili odraslog voćnjaka s potpunim pokrivačem površine, utjecaj je tog načina natapanja na evapotranspiraciju minimalan. Nasuprot tome, taj utjecaj je značajan kod mladog voćnjaka, odnosno kod voćnjaka koji pokrivaju samo manji dio površine. Tako je npr. kod mladih voćnjaka na pjeskovitu tlu koji pokrivaju 20-30% površine uz česta natapanja i visoke vrijednosti isparavanja, opaženo smanjenje ET_c i do 60% u odnosu prema natapanju površinskim metodama ili kišenjem. Kod srednjih i teških tala i niskih vrijednosti ET_c ta razlika nije značajna.

5.5. AGROTEHNIČKE MJERE

Iako upotreba gnojiva ima zanemariv neposredan utjecaj na ET_c , ipak treba naglasiti da primjena natapanja nalaže veću upotrebu umjetnih gnojiva. Dokazano je da tla dobro opskrbljena hranjivima daju veći prirod po jedinici utrošene vode negoli siromašna. Nadalje, kretanje topivih hranjiva u tlu i pristupačnost usjevima u velikoj mjeri ovise ne samo o raspoloživosti vode već i o načinu natapanja.

Sklop, odnosno gustoća biljaka po jedinici površine djeluje na ET_c slično kao postotak pokrivenosti tla. Kada se površina tla drži suhom, isparavanje se s površine smanji i ET_c će biti manja kod nasada nižega negoli kod višeg sklopa. Na ranijim stupnjevima razvoja bilja, nasad će gušćeg sklopa zahtijevati veće količine natapne vode negoli rjeđi, zbog bržeg razvoja punog pokrivača.

Obrada (okapanje) tla ima mali ili nikakav učinak na smanjenje ET_c izuzev što eliminira transpiraciju uništenog korova. Gruba obrada (oranje) može ubrzati isparavanje s tla zbog povećanja izložene površine.

Iz dosadašnjeg se iskustva smatra da malčiranje površina organskim (korov, trava) pokrivačem ima mali ili nikakav utjecaj na smanjenje ET_c . To može biti od koristi za smanjenje erozije, povećanje infiltracije i sl. Dapače, neki autori drže da, u slučaju češćeg natapanja manjim normama, takav pokrivač može izazvati povećanje ET_c , zbog toga jer se s češće vlaženog pokrivača ubrzava isparavanje. S druge pak strane uočeni su pozitivni učinci na smanjenje ET_c u slučaju primjene plastičnih folija (polietilen).

Primjena vjetrobrana, bilo vegetativnih ili vještačkih, zajedno sa smanjenjem brzine vjetra smanjuje i ET_c . Mjerenja pokazuju da to smanjenje iznosi oko 5% na šticenoj dužini od oko 25 puta dužoj od visine vjetrobrana, a čak 10 do 30% na dužini od 10 puta. Kako se za vjetrobrane najčešće upotrebljavaju drvoredi (topola, akacija, eukaliptusi i dr.) ili niže zelene barijere, ukupan efekt mjere može biti i negativan, odnosno ukupna količina vode utrošena od usjeva i vjetrobrana može biti i veća negoli da vjetrobrana nema.

Prof. dr. ZORKO KOS
Mr. IVICA Plišić
Građevinski fakultet
Sveučilišta u Rijeci

Prof. dr. FRANE TOMIĆ
Agronomski fakultet
Sveučilišta u Zagrebu

6. PRORAČUN POTREBA ZA VODOM

6.1. OPĆENITO

Kod proračuna potreba za vodom za neki određeni natapni sustav, pojavljuje se veći broj koraka (faza) proračuna, prema tome u kom se stupnju (fazi) proračun nalazi. S druge pak strane, osim dodane vode putem natapnog sustava usjevi se koriste i drugim izvorima koji ovise o meteorološkim značajkama područja i orografsko-fizičkim osobitostima polja. U skraćenom obliku, pojedine su faze proračuna sljedeće:

a) Utvrđivanje hidrološke bilance natapnog polja, i to uzimajući u obzir sve planirane usjeve. Analiziraju se oni članovi bilance koji su bitni za to područje, a to je u prvom redu ranije izračunati ET_c , zatim oborine od kojih se u račun uzima samo efektivni dio - efektivne oborine, doprinos susjednih površina, gubitak na duboko poniranje itd.

b) Proračun neto potrebne količine natapne vode na razini polja (N_n), a na osnovi utvrđene hidrološke bilance. Određuju se neto količine za svaki mjesec, a dakako i za čitavu sezonu.

c) Definiranje za mjesec najveće potrošnje, maksimalne (vršne) potrebe. Ta veličina najčešće traje oko tjedan dana u mjesecu najveće potrošnje, što je kod nas najčešće u srpnju.

d) Na osnovi definirane efikasnosti pogona natapnog sustava, izračunati bruto količine natapne vode, N_b .

e) Za slučaj potrebe, odrediti potrebne količine vode za ispiranje soli iz tla. Kod nas se, za sada, ta mjera uglavnom neće primjenjivati, jer je prirodno ispiranje najčešće dovoljno za održavanje koncentracije soli u dopuštenim granicama.

S obzirom na potrebu izbora optimalne konfiguracije i kapacitet natapnog sustava, najčešće će biti potrebno analizirati nekoliko shema rasporeda usjeva i plodoređa, prije negoli se usvoji konačno rješenje.

6.2. HIDROLOŠKA BILANCA NATAPNOG PODRUČJA

Osnovna je svrha izrade vodne bilance natapnog područja da se utvrdi odnos količine potrebe za vodom prema ukupnoj raspoloživoj. Kod razmatranja vodne bilance veoma je značajno razdoblje na kojemu se račun temelji.

Primjera radi, navodimo za naše prilike, ako bilanciramo prihod i rashod vode za čitavu godinu, redovito ćemo dobiti rezultat da vode ima u dovoljnim količinama. Ako to, pak, provedemo za vegetacijsku sezonu, najčešće će nedostajati izvjesna količina, ali ni to nije prava slika stvarnog stanja opskrbljenosti. Za mjesečna ćemo razdoblja dobiti još pouzdaniju sliku, ali svakako bolju, ako analizu provedemo za još kraće razdoblje, npr. za dekade ili dane. S obzirom na to da dnevne analize zahtijevaju odgovarajuće detaljne podloge i dosta vremena za proračun, najčešće se neće raditi. Treba, međutim, naglasiti da zahtijevani minimum predstavljaju mjesečna razdoblja te da se na duže ne treba ići. Preporučljivo je analizu temeljiti na dekadnim vrijednostima gdje god je to moguće.

Neto količina vode za natapanje za čitavo natapno područje (N_n) za određeni usjev i vremensko razdoblje dobivaju se po sljedećem izrazu:

$$N_n = (ET_c + P_o + O) - (P_e + Z_e + D + V),$$

gdje je:

- ET_c - veličina evapotranspiracije izračunata po jednoj od prethodno opisanih metoda;
- P_o - duboko poniranje, odnosno prolaz vode ispod korijenova sustava bilja;
- O - površinski ili podzemni dotok sa susjednih višeležećih površina;
- P_e - efektivna oborina koju treba odrediti na temelju neke od postojećih metoda. To je, ustvari, količina vode iz oborina koju bilje upotrijebi;
- Z_e - doprinos podzemne vode, odnosno vode sadržane u tlu. To se načešće odnosi na uskladištenu zimsku vlagu;
- D - površinsko i podzemno otjecanje na susjedne površine;
- ΔV - promjena uskladištene vode u tlu.

Uobičajeno je da se svi članovi vodne bilance izražavaju u mm stupca vode, ali nije isključena ni upotreba drugih jedinica mjere.

6.3. ANALIZA OBORINA

a) Kiše

Nema nikakve sumnje da su kiše, u našem klimatskom pojasu, bitan čimbenik i osnovni opskrbljivač bilja vodom. Pri tome je veoma važno poznavati njihovu raspodjelu u prostoru i vremenu kao i odgovarajuću visinu, jer su fluktuacije iz godine u godinu, a još više iz mjeseca u mjesec, tako velike da se ne mogu zanemariti. S druge pak strane, nisu sve pale oborine i za bilje iskoristive. U pravilu, sve što su oborine više, a potrošnja vode usjeva manja, njihov je postotak iskoristivosti niži, odnosno manji je udio iskoristivih od ukupnih oborina.

Analiza visine kišnog taloga koji se mogu očekivati u nekom budućem razdoblju određuje se na temelju statističke obrade za bilo koju vjerojatnoću. U praksi se osiguranje najčešće bira od 75 do 80%, tj. najmanja kiša koja se može pojaviti u skupu od 4 ili 5 godina. Dakako, za adekvatno definiranje "pravoga" povratnog perioda koje je mjerodavno, trebalo bi za to izraditi ekonomsku analizu i na temelju nje odrediti postotak osiguranja.

Danas ima na raspolaganju više metoda za određivanje raspodjele učestalosti, odnosno vjerojatnoće pojave kiša određene veličine. Izbor metode ovisi o tome za što će se rezultati primjenjivati, jer se oni obično razlikuju na ekstremima, a slažu u sredini. U slučaju potrebe, za to treba potražiti savjet u odgovarajućoj specijaliziranoj literaturi.

U nastavku se daje jedan jednostavan primjer za definiranje vjerojatnoće pojave kiše. Na temelju dobivenih rezultata, može se kasnije izabrati postotak osiguranja, vodeći računa o vrsti usjeva i stupnju razvoja (najosjetljivija je faza razvoja nicanje te faze spomenute u tablici).

Primjer za stanicu Krk

Izračunat će se vjerojatnoća osiguranja za meteorološku stanicu Krk, i to za mjesec srpanj, na temelju meteoroloških podataka 1952-79. godine.

Redoslijed je proračuna sljedeći:

- za određeno vremensko razdoblje, u kolonu 2 upisati ukupne oborine zabilježene na stanici;
- u koloni 3 podatke o oborinama navesti po veličini, a početi od najveće;
- u koloni 4 svakom podatku dati redni broj;
- u koloni 5 za svaki podatak odrediti mjesto na apscisi. Za taj račun može se upotrijebiti Weibulova formula koja glasi:

$$F = \frac{100m}{(N+1)},$$

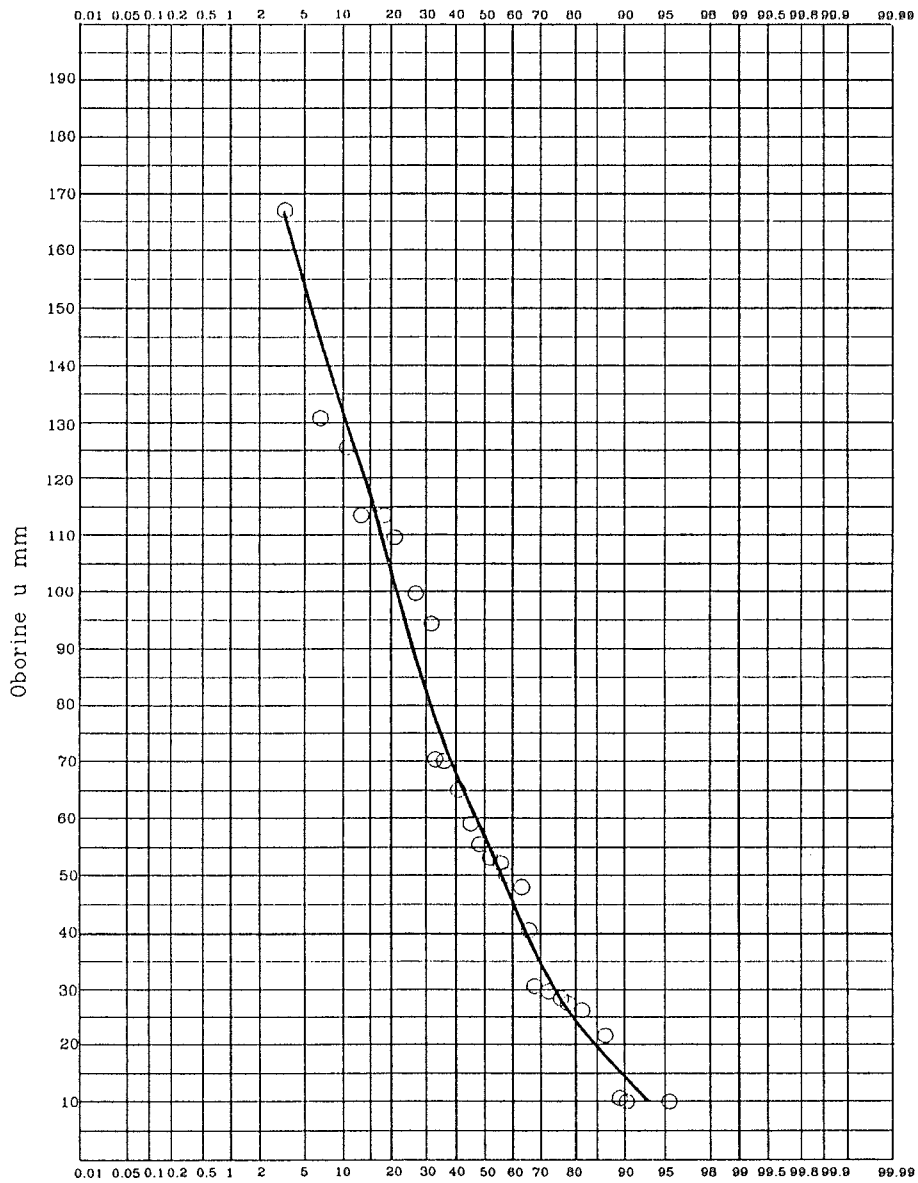
gdje N označava broj elemenata, a m je redni broj opadajućeg niza.

Vjerojatnost osiguranja oborina za Krk za mjesec srpanj

Tablica 6.1.

Godina	P mm/mjesec	Redosljed po veličini	m redni broj	F položaj na X
1952	70	167	1	3,45
1953	52	131	2	6,90
1954	113	126	3	10,34
1955	167	113	4	13,79
1956	11	113	5	17,24
1957	56	109	6	20,69
1958	29	105	7	24,14
1959	10	99	8	27,58
1960	109	94	9	31,03
1961	131	71	10	34,48
1962	58	70	11	37,93
1963	53	65	12	41,38
1964	113	58	13	44,24
1965	48	56	14	48,27
1966	126	53	15	51,72
1967	28	52	16	55,18
1968	50	50	17	58,62
1969	26	48	18	62,06
1970	65	40	19	65,51
1971	22	31	20	68,96
1972	27	29	21	72,41
1973	94	28	22	75,86
1974	31	27	23	79,30
1975	71	26	24	82,75
1976	99	22	25	86,20
1977	105	11	26	89,65
1978	10	10	27	90,09
1979	40	10	28	96,54
P	64,8			

- nakon toga se u polulogaritmičkom papiru unose vrijednosti oborina svakog člana niza tako da mu je položaj na apscisi definiran odgovarajućom vrijednošću za F. Na slici je 6-1 to učinjeno za taj računski primjer.



Sl.6-1 Vjerojatnost mjesečnih oborina za stanicu Krk

Kada je potrebno odrediti sumarnu veličinu oborina za više uzastopnih dana, onda treba odrediti klizni zbroj oborina za toliko dana koliko se traži i za cijeli mjesec. Npr., ako raspoložemo s 20 godina motrenja i trebamo odrediti najvišu 5-dnevnu oborinu za mjesec srpanj, Onda ćemo za svaki srpanj toga niza, najprije odrediti 5-dnevne sume, tj. od 1 do 5, od 2 do 6, od 3 do 7... od 27 do 31; dakle ukupno 27 podataka. Iz tog se niza uzima najveća vrijednost, i tako redom za svih 20 godina. Sada se izračuna vjerojatnoća pojave onako kako je već prikazano u računskom primjeru. Dakako, to se može izračunati za bilo koji niz dana.

U slučaju da moramo odrediti trajanje i učestalost pojave sušnih razdoblja, postupak proračuna je sličan gornjemu. Iz meteoroloških podloga izvuče se klizni zbroj dana bez oborina za traženo razdoblje, npr. 20, 30 ili 40 dana, a postupak je određivanja vjerojatnoće pojave potom isti kao u prijašnjem slučaju. S obzirom na veliki broj računskih operacija, preporučljivo je za to upotrijebiti prikladno elektroničko računalo.

b) Rosa

Po postanku ima više vrsta rosa, a najznačajnija za opskrbu vodom poljoprivrednih usjeva je ona koja nastaje kondenzacijom vodene pare u zraku na hladnijim površinama (snižanjem temperature noću). Općenito se smatra da je doprinos rose za zadovoljenje potreba bilja za vodom jako nizak.

Mjerenja tog fenomena u različitim krajevima svijeta dala su i različite rezultate: u Indiji i Izraelu utvrđeno je da se od rose godišnje može akumulirati oko 30 mm taloga (mjesečni maksimum 3 do 7 mm); mjerenja u Kaliforniji ukazuju da se tim putem može sakupiti svega oko 0,5 mm mjesečno; istraživanja u Australiji ukazuju da rosa može pokriti svega oko 3% mjesečne ET, itd. Izuzetak čine podaci o istraživanju kondenzacije magle u planinskom lancu Kanarskih otoka, gdje se, navodno, ukupne potrebe za vodom namiruju kondenzacijom. Svojevremeno su pojedini istraživači (posebno ruski) značajno precijenili doprinos rose opskrbi bilja vodom. Velikim brojem novih istraživanja ti su podaci demantirani.

c) Snijeg

U predjelima gdje ima snježnih oborina, to predstavlja značajan doprinos opskrbi vodom bilja. Po otapanju, snježna se voda ili infiltrira u tlo ili otječe površinom. Infiltrirana se voda obično kod bilanciranja uzima kao rezerva zimske vlage (do poljskoga vodnog kapaciteta). Procjenu ekvivalenta vode iz snijega nije lako učiniti, ali je u prosjeku to 10:1, tj. 100 cm snijega sadrži 10 cm vode.

d) Doprinos vlage tla

Kao što je navedeno, skladištenje zimske vlage u tlu može biti od snijega ili zimskih i proljetnih kiša. Ponekad se samo manji dio tih oborina može uskladištiti u tlu (do retencijskog kapaciteta) dok veći dio otječe ili se gubi dubokim poniranjem. Vode koje protječu ispod korijenova sustava nisu uvijek beskorisno izgubljene, već mogu imati i korisnu funkciju. Kod primjene zaslanjenih voda ili pak gdje je tlo

zaslanjeno, one ispiru i odnose višak soli, i to u izvanvegetacijsko razdoblje, te pripreme tlo za sjetvu i kvalitetan urod u sezoni.

6.4. EFEKTIVNE OBORINE

Efektivne oborine predstavljaju samo dio ukupnih oborina. Najčešće, od ukupne količine oborina jedan dio otječe površinom, jedan dio se izgubi na duboko poniranje (ispod zone korijena), dok se dio gubi na isparavanje. Koji će se dio od ukupno palih oborina utrošiti na evapotranspiraciju, u najvećoj mjeri ovisi o odnosu oborina-evapotranspiracija. Kod velike količine oborina a niske evapotranspiracije, nizak je postotak efektivnosti (iskoristivosti) oborina; u suprotnome je visok. Kod usjeva gdje je znatan dio površine gol, a u beskišnom razdoblju ostaje suh, isparavanje nakon kiše može biti znatno, što u velikoj mjeri smanjuje iskoristivost oborina. U takvom se slučaju kiše od 6 do 8 mm gotovo u cijelosti izgube na isparavanje. To se isto odnosi na ranu fazu razvoja bilja, kada je veći dio tla još gol.

Kao što je već navedeno, efektivna oborina kod navodnjavanja ima dijametralno suprotno značenje od onoga koji se upotrebljava u hidrološkim analizama. Dok kod navodnjavanja to predstavlja dio oborine koju bilje upotrebljava za evapotranspiraciju, dotle u hidrologiji to predstavlja onaj dio oborine koji otječe. Prema tome, kod navodnjavanja je efektivna oborina dio kišnice koji niti površinski otječe niti ulazi u podzemnu vodu, odnosno drenažu.

6.4.1. RAZVOJNI PUT ODREĐIVANJA EFEKTIVNIH OBORINA

Iz gornjeg razmatranja o definiciji i značaju efektivnih oborina proizlazi njihova neposredna uloga u gospodarstvu razmatranog područja. Prema tome, na jedan će se način efektivne oborine cijeniti u sumidnom području s obiljem kiša, a na drugi u aridnome i semiaridnome. Dakle, vrijednost efektivnih oborina ovisi o klimatskom pojasu i vrsti uzgajanog usjeva.

U proteklih stotinjak godina bilo je više pokušaja da se utvrdi odnos, odnosno izrazi mjera utjecaja klime na razvoj, odnosno prinose kulturnog bilja te potreba natapanja. Tako su nastale različite metode određivanja indeksa vlažnosti, odnosno značajki klime kod natapanja od kojih ćemo neke, radi cjelovitosti gradiva, u nastavku i navesti.

Eteheverry, za uvjete u SAD smatra da je navodnjavanje nužno u područjima s godišnjim oborinama manjima od 375 mm. Ako su godišnje oborine 375-750 mm, potrebno je dopunsko navodnjavanje, a u područjima s godišnjim oborinama većima od 750 mm, navodnjavanje je korisno samo u iznimnim prilikama. Takav se kriterij za procjenu nedostatka vode i potrebu za navodnjavanjem može smatrati samo grubom aproksimacijom, a ne kao pouzdani pokazatelj za donošenje čvrstih zaključaka. To najbolje potvrđuju činjenice u svezi s otokom Java i poluotokom Kola. Naime, na otoku Javi navodnjava se oko 3

milijuna ha, iako prosječne godišnje oborine iznose oko 2500 mm. Ili, nasuprot tome, tla su na poluotoku Kola vlažna iako godišnje padne samo oko 200 mm oborina (Kučić, 1976.). Prema tome, nisu jedino značajne količine oborina, već su značajni njihov raspored i ostale klimatske značajke. Nešto povoljniji kriterij u procjeni potrebe za primjenom navodnjavanja čini upotreba postojećih koeficijenata, indeksa i faktora.

Transeau je 1905. za procjenu stupnja djelotvornosti oborina predložio indeks vlažnosti koji se dobiva kao kvocijent godišnjih oborina i izračunatog isparavanja sa slobodne vodne površine.

Lang je 1920. predložio metodu za procjenu stupnja vlažnosti klime pomoću tzv. kišnog faktora koji se dobiva kao kvocijent godišnje oborine u mm i srednje godišnje temperature u °C.

$$KF = \frac{P}{T}$$

pri čemu se klima klasificira kako slijedi (Gračanin, prema Mihaliću et al. 1978.)

za $KF < 40$	aridna	- potrebno je navodnjavati
$40 < KF < 60$	semiaridna	- potrebno dopunsko navodnjavanje
$60 < KF < 80$	subhumidna	- potrebno dopunsko navodnjavanje
$80 < KF < 160$	humidna	- nije potrebno navodnjavanje
$KF > 150$	perhumidna	- nije potrebno navodnjavanje

Račun se može provesti za godišnje vrijednosti P i T, pri čemu se upotrebljavaju srednje vrijednosti P i T.

Po rezultatima Butorca (cit. po Mihaliću et al, ibid) za nekoliko mjesta na obali Jadranskog mora (desetogodišnji prosjek - 1948. do 1957.), klima je uglavnom semiaridna do subhumidna. To znači da je potrebno primjenjivati redovno ili dopunsko navodnjavanje.

Kišni faktor za neka mjesta na Jadranskom moru (po Butorcu srednje vrijednosti za razdoblje 1948-1957.):

Mjesto	Prosječna vrijednost KF	Potreba navodnjavanja
Pula	54	redovito ili dopunsko
Crikvenica	80	dopunsko
Rab	71	dopunsko
Zadar	56	redovito ili dopunsko
Split	46	redovito ili dopunsko
Hvar	42	redovito ili dopunsko
Dubrovnik	76	dopunsko

Nedostatak je godišnjega kišnog faktora po Langu u tome što ne uzima u obzir raspored oborina tijekom godine i tijekom vegetacijskog razdoblja. Taj nedostatak može se ublažiti određivanjem mjesečnoga kišnog faktora (Gračanin, 1950.):

$$KF_m = \frac{P_m}{t}$$

- KF_m - mjesečni kišni faktor
 P_m - mjesečne oborine
 t - srednja mjesečna temperatura zraka u °C

Oznaka klime i potreba za navodnjavanjem prema vrijednosti mjesečnoga kišnog faktora:

Kišni faktor (KF_m)	Klima i potreba za navodnjavanjem
< 3,3	aridna - potrebno je navodnjavati
3,3 - 5,0	semiaridna - potrebno redovito ili dopunsko navodnjavanje
5,0 - 6,6	subhumidna - potrebno dopunsko navodnjavanje
6,6 - 13,3	humidna - nije potrebno navodnjavati
> 13,3	perhumidna - nije potrebno navodnjavati

Kohnke (1968.) smatra da je potrebno Langov kišni faktor modificirati za procjenu klime i potrebe za navodnjavanjem u umjerenim i hladnim područjima. Zapravo, po njemu, procjena zadovoljava ako se uzmu u obzir zimske temperature iznad točke smrzavanja. To su po Holdrigeu (1962.) biotemperature. U nastavku iznosimo rezultate Butorca (cit. po Mihaliću et al, ibid) mjesečne kišne faktore vegetacijskog razdoblja za nekoliko mjesta jadranskog područja.

Mjesečni kišni faktor vegetacijskog razdoblja za neka mjesta na Jadranskom moru (po Butorcu - srednje vrijednosti za razdoblje 1948-1957.)

Tablica 6-2

Mjesto	Srednja vrijednost KE_m u veget.razdoblju						Veget.razd.prosjek.	Potreba za navodnjavanjem
	IV	V	VI	VII	VIII	IX		
Pula	4.4	2.9	2.0	2.2	1.8	3.7	2.8	redovito
Crikvenica	6.2	4.8	3.2	3.2	3.0	5.4	4.3	redovito ili dopunsko
Rab	4.4	3.2	2.4	2.6	2.2	6.6	3.6	redovito ili dopunsko
Zadar	4.8	3.1	2.4	1.1	1.6	4.5	2.9	redovito
Split	2.8	3.2	2.0	1.2	1.0	3.3	2.3	redovito
Hvar	3.6	2.7	1.3	1.2	0.9	2.6	2.1	redovito
Dubrovnik	5.0	5.0	2.4	0.9	1.1	4.5	3.2	redovito

Dakle, podaci pokazuju da sva navedena mjesta imaju u lipnju, srpnju i kolovozu aridnu klimu te da je prijeko potrebno redovito navodnjavati za uspješnu biljnu proizvodnju.

De Martonne je 1926. predložio da se za indeks sušnosti primijeni odnos srednje godišnje visine oborine u mm i srednje godišnje temperature u °C povećane za 10, tj.:

$$IM = \frac{P}{T+10}$$

Na osnovi dobivenih vrijednosti indeksa IM, područje se može klimatski klasificirati kako slijedi:

IM < 5	aridna	navodnjavanje prijeko potrebno
5 < IM < 10	semiaridna	navodnjavanje prijeko potrebno
10 < IM < 20	suha-subhumidna	navodnjavanje korisno
20 < IM < 30	subhumidna	navodnjavanje nije prijeko potrebno
30 < IM < 50	humidna	navodnjavanje nepotrebno
IM > 50	perhumidna	navodnjavanje nepotrebno

Za potrebe natapanja De Martonne je predložio jedan drugi izraz sličan gornjemu, ali koji se odnosi na mjesečne vrijednosti i glasi:

$$IM = \frac{12 P}{T+10}$$

Prema tom izrazu potreba dopunskim natapanjem nastupa uvijek kada je IM < 20, a za dobar dio usjeva i u rasponu od IM = 20-30. U pravilu natapanje nije potrebno za vrijednosti iznad 30.

Indeks suše po De Martonneu za neka mjesta na Jadranskom moru (po Butorcu - srednje vrijednosti za razdoblje 1948-1957.)

Tablica 6-3

Mjesto	Indeks suše za mjesec						Veget. sred.vr.	Godina sred.vr.	Potreba za navodnjavanjem
	IV	V	VI	VII	VIII	IX			
Pula	29	22	16	18	15	28	21	31	prijeko potrebno
Crikvenica	43	37	26	27	25	43	33	48	prijeko potrebno
Rab	30	24	20	22	19	54	28	43	prijeko potrebno
Zadar	26	24	20	9	14	37	22	33	prijeko potrebno
Split	20	25	16	11	9	27	18	22	prijeko potrebno
Hvar	25	21	10	11	8	21	16	26	prijeko potrebno
Dubrovnik	35	39	20	7	9	27	23	47	prijeko potrebno

Podaci su dosta neujednačeni. Veće se suše pojavljuju na južnom dijelu Jadrana. Posebno je potrebno navodnjavati u tom dijelu tijekom srpnja i kolovoza.

Koeficijent osiguranja vode

Ocjenu o potrebi za navodnjavanjem moguće je izvesti na temelju koeficijenta osiguranja vode po Sbevu et al (1968) i po Gribkovu (1960).

Koeficijent osiguranja vode koji preporučuju bugarski istraživači (Sbeva et al. ibid) dobije se:

$$K_v = \frac{N + V}{E}$$

K_v - koeficijent osiguranja vode

N - efektivne oborine u vegetacijskom razdoblju u mm

V - zimska rezerva lakopristupačne vode tla u mm

E - potreba za vodom u vegetacijskom razdoblju u mm

Koeficijent osiguranja vode ili potrebe za navodnjavanjem određuje se na temelju klasifikacije u tablici 6-4.

Osiguranje vode tla prema koeficijentu osiguranja vode po Sbevu i sur.

Tablica 6-4

Koeficijent osiguranja vode (K_v)	Osiguranje vode u tlu	Potreba za navodnjavanjem
0.1 - 0.54	nedovoljno	redovito navodnjavanje
0.55 - 0.8	srednje	dopunsko navodnjavanje
0.81 - 0.95	dobro	eventualno dopunsko navodnjavanje
0.95	vrlo dobro	navodnjavanje nije potrebno

Gore navedeni koeficijent osiguranja vode Gribkov ispravlja na sljedeći način:

$$K_v = \frac{V_1 + P}{0.65 \sum E - e}$$

K_v - koeficijent osiguranja vode

V_1 - rezerva pristupačne vode u 1 m dubine tla, prije sjetve u mm

P - količina oborina u vegetac. razdoblju u mm

$\sum E - e$ - zbroj srednjednevnih deficita vlažnosti zraka u mm

Druga varijanta te formule uzima u obzir samo količinu oborina koja se pojavi tijekom vegetacijskog razdoblja (P), pa je:

$$K_v = \frac{P}{0.65 \sum E - e}$$

Indeks vlaženja po Ivanovu

U melioracijskim istraživanjima i za praktične svrhe podosta se koristio u bivšem SSSR-u.

$$K_n = \frac{P}{E}$$

K_n - indeks vlaženja

P - količina godišnjih oborina u mm

E- količina ishlapljene vode u mm/godinu

Količina vode koja godišnje ishlapi (E) odredi se: $E = \sum E_m$, a formula za mjesečno ishlapljivanje jest:

$$E_m = 0,0018 (25 + t)^2 (100 - a)$$

E_m - količina ishlapljene vode tijekom mjeseca u mm

t- srednja mjesečna temperatura zraka u °C

a- srednja mjesečna relativna vlažnost zraka u %

Mjesečno je ishlapljivanje vode moguće odrediti i formulom:

$$E_m = 18,4 D_m$$

D_m - srednji mjesečni deficit vlažnosti zraka u mm, a količina vode koja dnevno ishlapi jest:

$$E_d = 0,61 D_d$$

E_d - količina vode koja ishlapi na dan u mm

D_d - srednja vrijednost dnevnog deficita vlažnosti zraka u mm

Tu je formulu Alpatjev ispravio, smatrajući da se potreba biljaka za vodom preciznije dobije:

$$E = 0,65 \sum D$$

E- količina potrebne vode za određeno vremensko razdoblje u mm

D - srednja vrijednost dnevnog deficita vlažnosti zraka za određeno vremensko razdoblje u mm

Napominje se da je navedeni koeficijent (0,65) zapravo srednja vrijednost od onih koje je Alpatjev (ibid) dobio eksperimentalnim putem.

Značaj indeksa vlaženja dokazuje i podatak da je u bivšem SSSR-u, na temelju njegove vrijednosti, provedena podjela prirodnih oblasti, i to (tablica 6-5).

Podjela oblasti u bivšem SSSR-u na temelju indeksa vlaženja

Tablica 6-5

Oblast	Indeks vlaženja (K_v)
pustinja	0.1
polupustinja	0.1 - 0.2
suha stepa	0.2 - 0.3
južna stepa	0.3 - 0.5
sjeverna stepa	0.5 - 0.7
šumska stepa	0.7 - 0.9

Adekvatno tim vrijednostima moguće je provesti i procjenu manjka vode te potrebu za primjenom navodnjavanja.

Meyer je 1926 preporučio da se indeks vlažnosti, odnosno sušnosti, računa iz sljedećeg odnosa:

$$I = \frac{P}{S},$$

gdje je:

I- indeks vlažnosti ili sušnosti

P- prosječna visina godišnje oborine u mm

S= E - e, deficit saturacije vodene pare koji odgovara srednjoj godišnjoj temperaturi u mm stupca žive.

Prema izrazu Meyera, klima se klasificira kako slijedi:

I < 50	aridna
50 < I < 100	semiaridna
100 < I < 150	suha-subhumidna
150 < I < 275	subhumidna
275 < I < 500	humidna
I > 500	perhumidna

Vilensky je 1955. indeks vlažnosti izrazio u ovisnosti o visini oborine i isparavanju. Izraz glasi:

$$I = \frac{P}{E},$$

gdje je:

I- indeks sušnosti, odnosno vlažnosti

P- visina srednje godišnje oborine u mm

E- srednje godišnje isparavanje na isparitelju u mm

Klasifikacija je klime po toj metodi sljedeća:

I < 0,25	aridna
0,25 < I < 0,75	semiaridna
0,75 < I < 1,25	suha-subhumidna
1,25 < I < 1,75	subhumidna
1,75 < I < 2,25	humidna
I > 2,25	perhumidna

Selyaninov je 1958. predložio indeks ariditeta u ovisnosti o mjesečnim oborinama i temperaturama iznad 10°C, a dobiva se iz sljedećeg odnosa:

$$I_a = \frac{\sum p_{10}}{\sum t_{>10}},$$

gdje je:

I_a - indeks ariditeta (hidrotermički koeficijent)

p - visina srednjih mjesečnih oborina u mm

t - zbroj dnevnih temperatura iznad 10°C za određeni mjesec

Taj se izraz upotrebljava za definiranje razdoblja sušnosti, odnosno vlažnosti, gdje vrijednosti za $I_a < 1$ označavaju vlažno (humidno) stanje. Za $I_a > 1$ počinje razdoblje suše, a za $I_a < 0.5$ nastupa stanje prave aridnosti.

Napominjemo da se upotrebljavaju vrijednosti srednjih dnevnih temperatura iznad 10°C. Pomoću hidrotermičkog koeficijenta Selyanminova moguće je razlikovati pet zona osiguranja vodom (Butorac - cit. po Mihaliću, et al ibid):

I. zona, koeficijent veći od 1,3; prisutnost suvišne vode,

II. zona, koeficijent 1,3 - 1,0; prisutno je dovoljno vode,

III. zona, koeficijent 1,0 - 0,7; nedostaje voda - navodnjavaju se najvažnije kulture,

IV. zona, koeficijent 0,7 - 0,5; nedostaje vode - navodnjavanje je rentabilno,

V. zona, koeficijent manji od 0,5; zona navodnjavanja.

Vučić (ibid) iznosi da je Mirkin ispravio formulu Selyaminova uzimajući u obzir koeficijent otjecanja:

$$K_s = \frac{P(1-\eta)}{0.1 \sum t}$$

η - koeficijent otjecanja

Već je istaknuto da na potrebu za promjenom navodnjavanja, uz klimatske elemente, utječu svojstva tla i vrsta uzgajanih kultura te socijalno-ekonomski i organizacijski uvjeti. U svakom slučaju, pri ocjenjivanju nedostatka vode i procjene potrebe za navodnjavanjem nužno je uzeti sve značajne čimbenike u obzir.

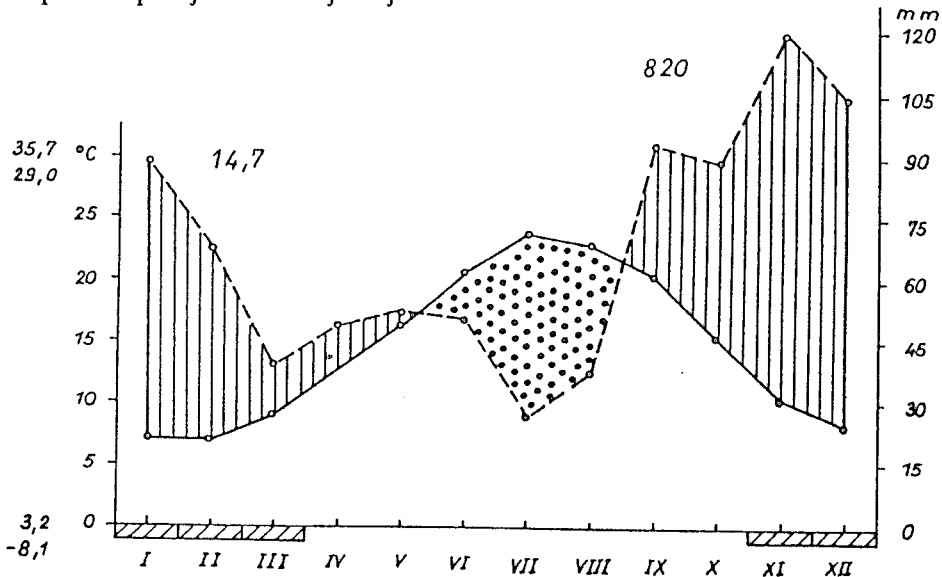
Procjena potrebe za navodnjavanjem po klimadijogramu Waltera

Na temelju godišnjeg hoda temperatura i oborina (srednje vrijednosti po mjesecima) Walter određuje klimat određenog područja, pojavu suše i njezin intezitet te potrebu primjene navodnjavanja. Na slici 6-2 prikazujemo klimadijagram po Walteru za meteorološku stanicu Zadar.

Vidljivo je iz klimadijagrama da je odnos vrijednosti temperature i oborina 1:3.

Površina je iznad krivulje temperature, a ispod krivulje oborina šrafrirana i pokazuje humiditet klime. Dakle, humidna je klima od siječnja do svibnja i od rujna do prosinca. U lipnju, srpnju i kolovozu izražen je određen ariditet klime (točkasti prostor na slici 6-2). Osim toga srednja je godišnja temperatura zraka 14,7°C, a

srednje oborine iznose 820 mm godišnje. Apsolutni je minimum temperature - 8,1°C, a maksimum 35,7°C. Znači, pomoću klimadijagrama po Walteru ilustriraju se agroklimatske značajke određenog područja, uz posebno izražavanje pojave suše te potrebe primjene navodnjavanja.



Sl. 6-2 KLIMADIJAGRAM PO WALTERU ZA ZADAR

Preciznija procjena potrebe za navodnjavanjem za pojedina područja i pojedine kulture može se dobiti na temelju određivanja norme navodnjavanja, koja predstavlja manjak ili deficit vode tijekom vegetacijskog razdoblja.

Thornthwaite je 1931. izradio veći broj analitičkih izraza za procjenu klimatskih značajki i efektivnih oborina. Izraz koji se niže navodi predstavlja efektivnost oborina koja se određuje iz mjesečnih vrijednosti oborina i isparavanja, a glasi:

$$PE = \sum_{1}^{12} 115 \left(\frac{P}{T-10} \right)^{10/9},$$

gdje je:

P - mjesečna oborina in.

T - temperatura u °F

Klasifikacija je klime po tom izrazu sljedeća:

PE > 128

jako vlažna

64 < PE < 127

vlažna

Klasifikacija je klime po tom izrazu sljedeća:

PE > 128	jako vlažna
64 < PE < 127	vlažna
32 < PE < 63	subhumidna
16 < PE < 31	semiaridna
PE < 16	aridna

Thornthwaite je 1948. godine modificirao svoju formulu zamjenjujući parametar isparavanja s evapotranspiracijom (potencijalnom) koja se računala pomoću temperatura. To je izraz:

$$PET = 1.6 \left(\frac{10t}{T} \right)^a,$$

koji je detaljno obrađen u prvom dijelu knjige, pa se ovdje to neće ponavljati.

Papadiks je 1966. preporučio indeks vlažnosti koji se dobiva kao odnos između srednjih godišnjih i mjesečnih oborina (P) i potencijalne evapotranspiracije koja se računa po formuli koju je on predložio. Izraz glasi:

$$I_n = \frac{P}{ET_p}$$

Prema toj metodi, $I_n > 1$ odnosi se na vlažno razdoblje s obiljem oborina, dok je za I_n između 1 i 0,5 osrednja vlažnost, a za $I_n < 0,5$ jest prava suša. Autor je na temelju takvih analiza izradio detaljnu klasifikaciju klime za razne klimatske zone na svijetu.

Kod razmatranja efektivnosti kiša nije dovoljno samo poznavati ET_p , već ukupne potrebe za dani usjev i sezonu (ispiranje, poniranje i dr.). Ukupne su potrebe mjerodavne za proračun stupnja efektivnosti oborina.

6.4.2. ČIMBENICI KOJI UTJEČU NA EFEKTIVNU OBORINU

Na visinu efektivnih oborina utječe veliki broj čimbenika. Nabrojiti ćemo samo najvažnije:

oborine:	visina, intezitet, učestalost, prostorna rasprostanjenost i drugo
ostali meteorološki parametri:	temperatura, insolacija, relativna vlaga, vjetar
teren:	nagib, način korištenja, razvedenost
tlo:	dubina, tekstura, struktura, sadržaj soli, sadržaj organske materije i sl.
voda u tlu:	tlak, temperatura, mutež i dr.
drenažni sustav:	dimenzije, oblik, hrapavost i dr.
usjevi:	vrsta, dubina zakorjenjivanja, faza razvoja i dr.
podzemna voda:	dubina i kvaliteta

Svaki od navedenih čimbenika na specifičan način utječe na povećanje, odnosno smanjenje stupnja efektivnosti oborina. Tako npr. jake i intezivne oborine mogu u većoj mjeri smanjiti postotak iskoristivosti oborine. Neravnomjerno raspoređene kiše također mogu bitno smanjiti iskoristivost. To se isto odnosi i na prostornu rasprostranjenost. Na isti način može se prikazati utjecaj ostalih čimbenika, ali se, za sada, u detalje neće ući.

6.4.3. MJERENJE EFEKTIVNIH OBORINA

Procjena efektivnih oborina pretpostavlja mjerenje svakoga od onih članova vodne bilance o kojima ovisi, a to su oborine, dodana natapna voda, površinsko otjecanje, duboko poniranje i potrošnja vode iz tla putem evapotranspiracije.

Ukupne oborine mjere se uobičajenim kišomjerima i pluviografima, a u specifičnim prilikama i drugim uređajima. Dodana se količina vode za navodnjavanje obično mjeri bez obzira na navedenu potrebu radi obračuna troškova. U svakom slučaju, za svaku vrstu dovoda postoji adekvatna metoda mjerenja količina. Što se tiče površinskog otjecanja, ono mora, u natapnim parametrima, biti svedeno na minimum. Ipak, vodu odvedenu odvodnom mrežom ili pak onu oteklu dubokim poniranjem nije teško registrirati, odnosno postoje provjereni uređaji za to. Kod toga treba odrediti dubinu prodiranja korijenja, što se čini pažljivim iskapanjem, a usisana voda može se odrediti pomoću različitih uređaja za mjerenje vlage tla (tenziometri, gipsani blokovi i dr.). Za efektivnu dubinu zakorjenjivanja uzima se obično ona u kojoj se nalazi 90% žila. Količine utrošene na duboko poniranje, najjednostavnije se mjere lizimetrima. Za vodu utrošenu na evapotranspiraciju postoji veliki broj metoda, od kojih su neke detaljno opisane u prvom dijelu knjige.

6.4.4. EMPIRIJSKE METODE ZA ODREĐIVANJE EFEKTIVNE OBORINE

Do sada je razvijen veći broj metoda za određivanje efektivnih oborina. Dakako kao i obično, svaka ima izvjesnih prednosti i mana, i svaka je "najbolja" za određene specifične prilike i uvjete. Neke su u širokoj primjeni diljem svijeta (obično najjednostavnije s parametrima koji se lako nalaze), a neke u manjoj mjeri zbog složenosti postupka određivanja ili drugih ograničavajućih čimbenika: U ,

METODE ZA ODREĐIVANJE EFEKTIVNIH OBORINA

Tablica 6-6.

Metoda	Faktori koje uključuje			Posebna oprema	Točnost	Relativna cijena	Primjedbe
	Otjecanje	Tlo	Ariditet				
P mjerjenje promjene vlage tla	+	+	+	+	veoma visoka	srednja	dobra je; za kontrolu ostalih nije jako praktična
O dnevna bilanca vlage tla pomoću ET _r	-	+	+	+	veoma visoka	srednja	osrednje praktična
U integrirajuća mjerenja	-	+	+	+	srednja	srednja	
P uređaj Ramdas	-	+	+	+	visoka	srednja	dosta praktična
C lizimetri	-	+	+	+	veoma visoka	veoma visoka	dobra; za kontrolu ostalih osrednje praktično
I metoda triju rezervoara	+	+	+	+	veoma visoka	niska	visoka praktičnost
I formula Renfro	-	B	+	+	niska	zanemariva	previše empirijsko
S Bureau of Reclamation SAD	+	-	+	-	niska	zanemariva	nije prikladna za opću upotrebu
U odnos ET _p /oborine	B	B	+	-	srednja	niska	zadovoljava za prethodne studije
S metoda SCS; USDA	-	B	+	B	srednja	niska	dobra za zone niskih intenziteta kiše i visoke infiltracije u tlo
V iskustvene vrijednosti (6447)	B	B	B	B	slaba	zanemariva	velika praktičnost
O iskustvene vrijed. za rižu (6447)	B	B	B	B	srednja	zanemariva	velika praktičnost; traži provjeru

+ da; - ne; B - za približne vrijednosti (prva aproksimacija)

svakom slučaju, za praktičnu primjenu na terenu, metoda mora biti jednostavna, jeftina, brza i točna.

Sve se metode dijele u dvije osnovne skupine: empirijske postupke (metode) i empirijske formule. U tablici 6-6 navedene su redom, i to najprije postupci, a potom formule. Postavlja se pitanje kojoj dati prednost. U principu nijednoj. Treba, međutim, naglasiti da bez obzira na to koja se metoda upotrebljava, bilo bi poželjno, u slučaju većih zahvata, da se rezultati provjere po metodi lizimetara, onda mjerenja promjene vlage tla (na terenu).

6.4.4.1. Promjena vlage tla

Ta se metoda temelji na uzimanju uzoraka tla u zoni korijena i utvrđivanju sadržaja vode u tlu gravimetrijskom metodom. Tako ustvrđeno povećanje vlage plus gubici na evapotranspiraciju (ET_p) u vremenu između početka kiše i trenutka uzimanja uzoraka, predstavlja ustvari efektivnu oborinu. U slučaju potrebe, evapotranspiracija se može računati iz podataka isparitelja, pa imamo sljedeći odnos:

$$P_e = M_2 - M_1 + k_p E_o,$$

gdje je:

P_e - efektivna oborina

E_o - vrijednost isparavanja na isparitelju

k_p - koeficijent redukcije isparitelja (obično 0,4-0,8)

M_1, M_2 - vlaga tla u zoni korijena prije i poslije kiše

To je dobra i dosta točna metoda ako se pažljivo radi. Uzima u obzir značajke tla i vrstu usjeva, zahtijeva dosta vremena i rada, ali je postupak jednostavan. Postupak se može ubrzati ako se upotrijebi neutronska mjerač vlažnosti.

6.4.4.2. Dnevno bilanciranje vlage tla

Za provedbu tog načina utvrđivanja efektivnih oborina, potrebno je najprije točno odrediti poljski vodni kapacitet tla. Sve količine vode koje ulaze u tlo, a prelaze tu vrijednost, gube se ili dubokim poniranjem ili površinskim otjecanjem. Ostale elemente vodne bilance, a to su ulazne vrijednosti: oborine i dodana količina putem navodnjavanja te izlaz u obliku evapotranspiracije, mogu se također izmjeriti, odnosno izračunati na uobičajeni način. Oborine se mjere kišomjerom, dodana natapna voda neposredno, a utrošak na ET proračuna se po jednoj od prikazanih metoda.

U tablici 6-7 prikazan je postupak određivanja efektivnih oborina po toj metodi za jedan primjer naših krajeva. Pretpostavljen je retencijski kapacitet tla od 80 mm pod uvjetom da se dopušta sniženje količine vode u tlu na 50% te vrijednosti.

Dnevno bilanciranje vlage tla

Tablica 6-7

Datum	Visina oborine mm	Etp mm	Razlika mm	Stanje mm	Natapanje mm	Višak vode mm
1	60	3	57	57		0
2		6	-6	51		0
3		7	-7	44		0
4		7	-7	67	30	0
5		8	-8	59		0
6		8	-8	51		0
7		8	-8	43		0
8	50	3	47	80		10
9	20	4	16	80		16
10		6	-6	74		0
11		7	-7	67		0
12		7	-7	60		0
13		8	-8	52		0
14		8	-8	44		0
15		8	-8	76	40	0
16		8	-8	68		0
17	40	4	36	80		24
18		5	-5	75		0
19		6	-6	69		0
20		6	-6	63		0
21		7	-7	54		0
22		7	-7	47		0
23		7	-7	80	40	0
24	10	3	7	80		7
25		5	-5	75		0
26		5	-5	70		0
27		5	-5	65		0
28		5	-5	60		0
29		6	-6	54		0
30		6	-6	48		0
Svega	180	183				57

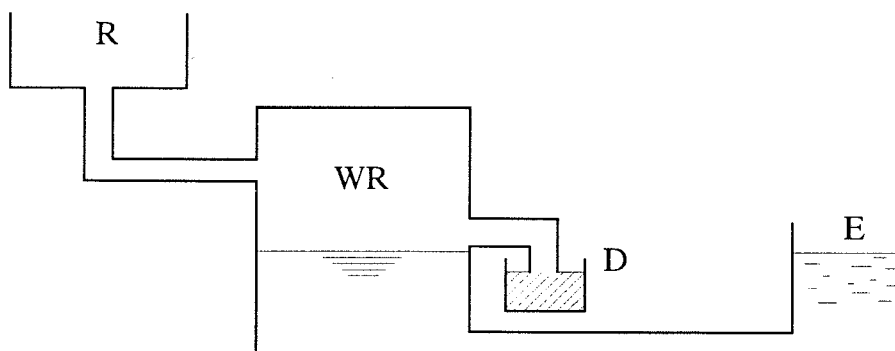
6.4.4.3. Metoda integrirajućeg mjerenja

Princip na kome se temelji ta metoda vidljiv je na shemi slike 6-3, a sastoji se u tome da se kiša hvata u posudi R, koja je spojena s rezervoarom WR, a taj pak s posudom za isparavanje E, koja ima funkciju usjeva. Rezervoar WR ima u središnjem dijelu bočne strane otvor s koji je spojen s jednom daljnjom posudom

označenom s D. Zapremina je rezervoara do preljeva za posudu D tako baždarena da odgovara maksimalnome retencijskom kapacitetu tla koje se istražuje. Oborinske vode koje dotječu u WR najprije popune volumen do preljeva, a onda se višak prelijeva u posudu D i ta voda predstavlja neefektivnu oborinu, što u prirodi odgovara dubokom poniranju ili eventualno otjecanju u odvodnu mrežu. Dakako, površina za isparavanje E ima neprekidan dotok vode i na njoj se površini stalno zbiva isparavanje, odnosno simulira se isparavanje poljoprivrednog usjeva.

Od ukupno palih 180 mm, efektivno je 123 mm ili oko 68%.

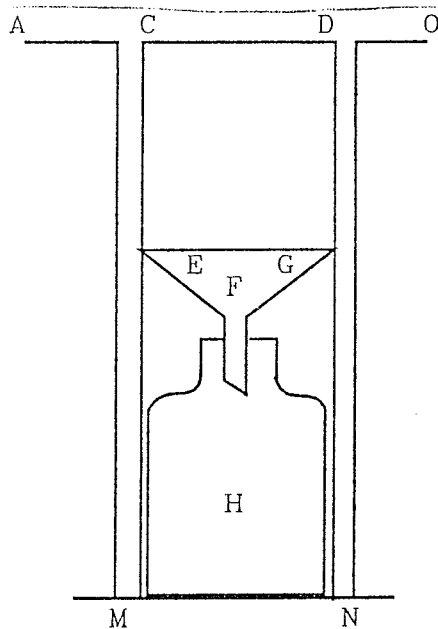
Posuda WR baždarena je tako da se veličina isparavanja može stalno (dnevno) pratiti, a veličina i sastav materijala (tla) u njoj odgovaraju razmatranom usjevu. Tu je metodu prvi opisao i objavio Stanhill 1958. godine.



Sl.6-3 Shema metode integrirajućeg mjerenja

6.4.4.4. Metoda Ramdasa

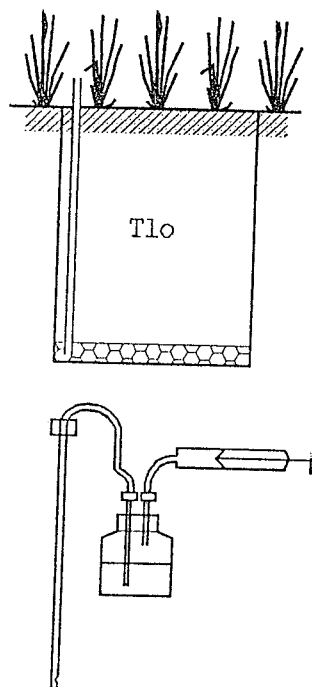
Ramdas je 1960. god. objavio metodu prikazanu na slici 6-4, koja je veoma prikladna za neposredan rad na terenu, čime se izbjegava prikupljanje i doprema uzoraka tla. Sastoji se od cilindra CD, oko 30 cm u promjeru, koji ima perforiranu osnovu EG, a ispod toga ima lijevak F putem koga se drenirana voda sakuplja u posudu H. Taj cilindar sa svim opisanim dijelovima smješten je u jedan veći cilindar MN. Treba naglasiti da dubina na kojoj se nalazi perforirana osnova EG mora biti jednaka dubini efektivnog zakorjenjivanja usjeva koji ispituujemo. Uređaj se smjesti u polje gdje želimo ustanoviti efektivnu oborinu i cilindar CDEG ispuni se tlom toga polja, a na vrhu se zasije isti usjev polja. Mjerenje se provodi tako da se povremeno jednostavno čitaju vrijednosti količine vode koja se sakupi u boci H, a to predstavlja neefikasne oborine (duboko poniranje). Dakako, ne treba ni naglašavati da je posuda pod istim režimom vlaženja kao i polje (oborine i natapanje). Kao što se vidi, ta je metoda jako jednostavna, praktična i jeftina i omogućava direktno čitanje efektivnih oborina. Zapravo je to neka vrsta minijaturnog lizimetra.



Sl.6-4 Uredaj Ramdasa

6.4.4.5. Metoda lizimetra

Kao što je već navedeno, lizimetri nam daju potpune i relativno točne podatke o svim članovima vodne bilance uzgajanog usjeva. Oni se upotrebljavaju u rješavanju širokog spektra problema vezanih za opskrbu bilja vodom, utvrđivanje vodne bilance, mjerenje isparavanja, testiranja obrazaca za proračun ET i drugo. Sastoje se od poveće posude (obično volumena od nekoliko m³ tla) ukopane u tlo i postavljene u sredinu većeg polja na kome se uzgaja isti usjev kao u lizimetru. Opremljeni su potpuno opremom za kontrolu ulaza i izlaza vode. Po konstrukciji ih ima više vrsta, ali najčešće se primjenjuju tipovi s drenažom, u kojima se višak vode mjeri neposredno iz drenažne posude te na bazi vaganja. Tipovi s drenažom nisu prikladni za čestu ili neprekidnu kontrolu stanja vlage u njemu, već oni na bazi vaganja ili druge opreme. Za brzu i jeftinu kontrolu utroška ET, a dakako i manje točnu, mogu se, ponekad, za tu namjenu upotrijebiti i obične bačve za ulje ili naftu, koje se ukopaju u tlo na polju koje se ispituje i u njih se zasije usjev kao u polju te provode na isti način sve agrotehničke operacije. Za kontrolu drenirane vode može se upotrijebiti jedna obična cijev koja od drenaže na dnu vodi na površinu gdje se montira jedna zračna crpka s obrnutim djelovanjem (podtlak) za isisavanje vode. Detalji te sheme vidljivi su na slici 6-5.



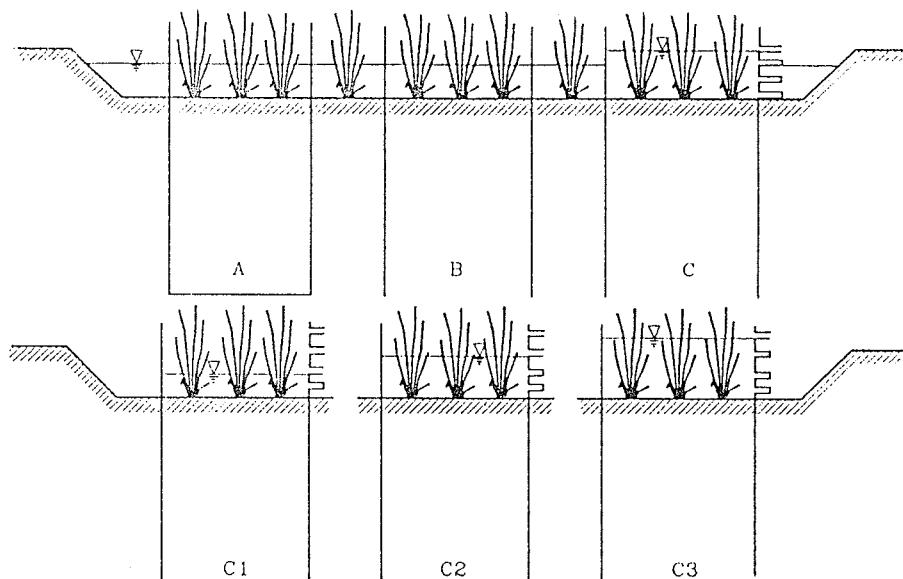
Sl.6-5 Lizimetar na osnovi isisavanja vode

6.4.4.6. Metoda triju posuda

Ta je metoda prvi puta objavljena od Dastante et. al. 1966. god., a može se upotrijebiti za određivanje efektivnih oborina u rižinim poljima. Za tu se svrhu najčešće upotrebljavaju tri bačve za benzin ili slične posude, visine oko 1,20 m i promjera oko 0,50 m, koje se ukopaju u tlo (rižino polje) za približno 3/4 visine. Na slici 6-6 one su označene s A, B i C. Posuda A ima dno, a posuda B i C ga nemaju. K tome, posuda C ima na bočnoj strani otvore za ispust vode na razmaku oko 5 cm koji se mogu po volji otvarati i zatvarati ili pak ugrađeni klizni preljev tako da se razina istjecanja može regulirati. Na otvor za kontrolu visine vode montirana je savitljiva cijev tako da se količina vode može mjeriti.

Mjeri se na sljedeći način: na početku se sve tri posude ispunje vodom do razine kao i u polju. Nakon prva dva dana kontrolira se razina: sniženje u posudi A se odnosi samo na ET, dok se ono u posudi B odnosi na ET i poniranje. Prema tome, razlika gubitka vode između A i B jest gubitak na poniranje. Posuda C služi za mjernje neefektivnih oborina, odnosno određivanje efektivnih. Poznato je da je u rižištima dubina vode funkcija dviju veličina: visine biljke i visine bočnih nasipa: Dakako, mjerodavna je ona manja. Prema tome, dio oborine koji nadvisuje tu mjerodavnu visinu treba smatrati neefektivnim (vidi sliku). Kako biljka raste (ako je njena visina mjerodavna) tako će se moći dopustiti i viša razina vode, odnosno veći će postotak oborine biti efektivan (zatvorit će se donji otvori); to sve dok ne postane

visina nasipa mjerodavna. Dakle, razlika između razine vode u posudi B i C predstavlja neefektivnu oborinu.



Sl.6-6 Shema metode triju posuda

6.4.4.7. Primjena empirijskih formula

Danas je u opticaju izvjestan broj metoda proračuna efektivnih oborina, bilo na temelju empirijskih formula dobivenih iz rezultata istraživanja na određenu lokalitetu, bilo da su ti rezultati izraženi u obliku tablica i nomograma, pa se u primjeni tih metoda krije velika zamka: njihova će upotreba biti to svrsishodnija što je područje na koje se primjenjuju sličnije području na kome su izvedene.

a) Formula Renfroa

Ta formula, koju je citirao Chow (1964.), glasi:

$$ER = E R_g + A,$$

gdje je:

ER - efektivna oborina

R_g - oborine za vrijeme vegetacijske sezone

A - prosječna količina upotrijebljene natapne vode

E - koeficijent ovisan o odnosu između potrošnje vode bilja (CU) i oborina u vegetacijskom razdoblju (vidi tablicu)

Npr. ako je palo 320 mm kiše u sezoni, a bilje je utrošilo 480 mm te je u prosjeku koristilo 50 mm za navodnjavanje, efektivna će oborina biti:

$$ER = (0,54 \times 320) + 50 = 223 \text{ mm.}$$

Tu metodu treba upotrebljavati (ako se upotrebljava) s velikim oprezom.

Vrijednost koeficijenta E u formuli Renfroa

Tablica 6-8

CU/Rg	E	CU/Rg	E
0.0	0.00	2.4	0.72
0.2	0.10	2.6	0.75
0.4	0.19	2.8	0.77
0.6	0.27	3.0	0.80
0.8	0.35	3.5	0.84
1.0	0.41	4.0	0.88
1.2	0.47	4.5	0.91
1.4	0.52	5.0	0.93
1.6	0.57	6.0	0.96
1.8	0.61	7.0	0.98
2.0	0.65	9.0	0.99
2.2	0.69	-	-

b) Metoda Bureau of Reclamation, SAD

Tu je metodu prvi opisao Stamm (1967) i preporučio ju za aridne i poluaridne predjele na zapadu SAD. Da bi se postigla što veća sigurnost, metodu treba primijeniti na 5 najsušnijih uzastopnih godina, a za odgovarajući mjesec vegetacijske sezone. U tablici 6-9 dane su numeričke vrijednosti faktora koji se upotrebljavaju za procjenu mjesečnih efektivnih od ukupno izmjerenih oborina. Kako metoda ne vodi računa o vrsti tla, usjeva, učestalosti oborina, ariditetu itd., ne može se preporučiti.

Efektivne oborine na osnovi povećanja mjesečnih oborina

Tablica 6-9

Red povećanja oborina		Postotak	Sumarno povećanje efektivnih oborina	
mm	in.		mm	in.
0.0 - 25.4	0-1	90-100	22.9-25.4	0.90-1.00
25.4 - 50.8	1-2	85-95	44.4-49.5	1.75-1.95
50.8 - 76.2	2-3	75-90	63.5-72.4	2.50-2.85
76.2 -101.6	3-4	50-80	76.2-92.7	3.00-3.65
101.6-127.0	4-5	30-60	83.8-107.9	3.30-4.25
127.0-152.4	5-6	10-40	86.4-118.1	3.40-4.65
iznad 152.4	iznad 6	0-10	86.4-120.6	3.40-4.75

c) Metoda odnosa ETp i oborina

Ta je poluempirička i jednostavna metoda koja je razvijena u Indiji i primijenjena na nekoliko projekata u toj zemlji. Osnova proračuna je odnos potencijalne evapotranspiracije, koja se uzima kao 80% izmjerene isparavanja na isparitelju klase A, prema ukupnim oborinama jednoga određenog broja dana za vrijeme čitave vegetacijske sezone. Broj dana koji se uzima u obzir uglavnom ovisi o vrsti tla, ali za topli dio godine ne prelazi 15. Razdoblja bez oborina isključuju se iz proračuna. Za detaljnije upute u vezi s primjenom čitatelj se upućuje na FAO Irrigation and Drainage Paper No. 25.

d) Metoda Soil Conservation Service, USDA, SAD

Služba zaštite tla USDA razvila je metodu za procjenu efektivnih oborina na temelju obrade dugogodišnjih podataka klime i vlage. Za tu su svrhu obrađeni ombrometrijski podaci za 50-godišnje razdoblje na 22 pokusne stanice raspoređene u različitim klimatskim i pedološkim uvjetima SAD. Bilanca vlažnosti tla računata je iz dana u dan na osnovi efektivnih oborina, natapanja i potrošnje vode od strane bilja.

S obzirom na to da je proračun efektivne oborine proveden za normu natapanja od 75 mm, prijeko je potrebno za drugu vrijednost te veličine ispraviti dobivene rezultate. Korekcijski su koeficijenti navedeni u tablici 6-10.

Korekcijski koeficijent f u ovisnosti o normi natapanja

Tablica 6-10

Neto norma mm	Faktor f	Neto norma mm	Faktor f	Neto norma mm	Faktor f
10	0,62	50	0,93	90	1,01
20	0,73	60	0,96	100	1,02
30	0,81	75	1,00	125	1,04
40	0,88	80	1,01	150	1,06

Ta je metoda već dobro poznata našim stručnjacima jer se već duže vrijeme primjenjuje kod nas, pa nije potrebno davati detaljnije upute za primjenu.

Efektivne mjesečne oborine u mm

Tablica 6-11

Srednja mjes, ob, /mm/	Prosječna mjesečna potrošnja vode usjeva u mm											
	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
	Prosječne mjesečne efektivne oborine u mm											
12,5	7,5	8,0	8,7	9,0	9,2	10,0	10,5	11,2	11,7	12,5	12,5	12,5
25,0	15,0	16,2	17,5	18,0	18,5	19,7	20,5	22,0	24,5	25,0	25,0	25,0
37,5	22,5	24,0	26,2	27,5	28,2	29,2	30,5	33,0	36,2	37,5	27,5	37,5
50,0	25,0	32,2	34,5	35,7	36,7	39,0	40,5	43,7	47,0	50,0	50,0	50,0
62,5		39,7	42,5	44,5	46,0	48,5	50,5	53,7	57,5	62,5	62,5	62,5
75,0		46,2	49,7	52,7	55,0	57,5	60,2	63,7	67,5	73,7	75,0	75,0
87,5		50,0	56,7	60,2	63,7	66,0	69,7	73,7	77,7	84,5	87,5	87,5
100,0			63,7	67,7	72,0	74,2	78,7	83,0	87,7	95,0	100,0	100,0
125,0			75,0	81,5	87,7	90,5	95,7	102,0	108,0	115,0	121,0	125,0
150,0				95,2	102,0	106,0	112,0	120,0	127,0	136,0	143,0	150,0
175,0					115,0	120,0	127,0	135,0	143,0	154,0	164,0	170,0
200,0					125,0	133,0	140,0	148,0	158,0	168,0	178,0	188,0
225,0						144,0	151,0	151,0	160,0	171,0	182,0	
250,0						150,0	161,0	170,0	183,0	194,0		
275,0							171,0	181,0	194,0	205,0		
300,0							175,0	190,0	203,0	215,0		

Za manje površine i približne proračune, kada želimo izbjeći dugotrajan posao na izračunavanju raspodjele vjerojatnosti oborina u vegetacijskoj sezoni za svaki pojedini usjev, možemo se poslužiti približnim postupkom SCS. U tom se slučaju primjenjuje prosječan odnos za prosječnu efektivnu oborinu u vegetacijskoj sezoni da bi se dobila sezonska efektivna oborina za svaki postotak osiguranja. Te se vrijednosti navode u tablici 6-12.

Prosječni odnosi za izračunavanje efektivnih iz ukupnih oborina

Tablica 6-12

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
1016	0,98	0,94	0,89	0,83	0,77
1143	0,98	0,94	0,90	0,84	0,78
1270	0,98	0,95	0,91	0,85	0,79
1397	0,99	0,95	0,91	0,86	0,80
1523	0,99	0,95	0,91	0,87	0,81

Primjer: treba izračunati efektivnu oborinu za vegetacijsku sezonu uz osiguranje od 80% na području gdje je prosječna godišnja (ukupna) oborina 650 mm, a za vegetacijsku je sezonu utvrđena prosječna efektivna oborina od 450 mm. Iz tablice, za taj slučaj, dobijemo 79%, pa će sezonska efektivna oborina iznositi

$$P_e = 0,79 \times 450 = 355 \text{ mm:}$$

6.4.4.8. Primjena empiričkih iskustava

Na temelju dugogodišnjeg iskustva, u mnogim su zemljama ustanovljene norme za utvrđivanje efektivnih od ukupnih oborina. Dakako, ta iskustva vrijede za određene klimatske uvjete i prilike koje vladaju u područjima na kojima su utvrđena i mogu se primijeniti u drugim krajevima samo uz krajnji oprez vodeći računa da uvjeti pod kojima će se primijeniti budu slični uvjetima pod kojima su utvrđene.

a) Svi usjevi izuzev riže

Da čitalac stekne dojam gdje i kako su se ljudi domišljali da riješe problem efektivnosti oborina, u nastavku će se navesti nekoliko primjera iz najrazličitijih krajeva svijeta, uglavnom azijskih. Dakako, to se ne navodi radi moguće primjene tih običajnih normativa, već da se stekne uvid u širinu i značaj te problematike.

Indija

U nekim se krajevima kao efektivna oborina uzima 70% prosječnih oborina u vegetacijskoj sezoni. Prema jednoj drugoj iskustvenoj metodi, kao efektivne se uzimaju prosječne vrijednosti oborina tako da se izbacij talog iznad 76 m/m u jednom danu i 127 m/m u 10 dana. Po drugoj se metodi kao efektivne uzimaju

najmanje monsunke kiše koje se pojavljuju jednom u četiri godine. Damodar Valley Corporation utvrdila je pravilo određivanja efektivnih oborina po kome se od lipnja do studenoga sve kiše koje prelaze potrebu vode uobičajenih usjeva smatraju neefektivnima. Analiza se provodi za razdoblja od po deset dana.

Khuslani je 1956. predložio da sve kiše koje padnu u vegetacijsko razdoblje loše godine (a to znači sušne godine) treba smatrati efektivnima. Za područje oblasti Deccan (u blizini Bombaja), Rege et. al. predložili su da se za šećernu trsku uzimaju kao efektivne samo one oborine koje su pale 5 ili više dana prije početka natapanja. Sve ostalo je neefektivno.

Burma

U toj se zemlji često primjenjuje jedno iskustveno pravilo koje glasi da su u vlažnom dijelu godine sve oborine koje su manje od pola inča (12,7 mm) neefektivne; 65% oborina iznad te vrijednosti jest efektivno. U sušnom su dijelu godine sve oborine manje od jednog inča (25,7 mm) neefektivne; 65% oborina iznad te vrijednosti jesu efektivne.

Tajland

Prema Kungu (1971.), u toj je zemlji običaj da se 80% oborina studenoga smatra efektivnima, dok ta vrijednost za kiše pale od prosinca do ožujka iznosi 90%.

b) Uzgoj riže

Uzgoj riže zahtijeva velike količine vode i sigurnu opskrbu. Dubina vode u rižištu ovisi o stupnju biljke i visini nasipa. Voda se uglavnom troši na evapotranspiraciju i perkolaciju. U nastavku će se prikazati nekoliko iskustvenih načina određivanja efektivnih oborina koje je opisao Kung (1971.).

Indija

Prema jednoj metodi, kao efektivne se uzimaju oborine u visini od 50 do 80% od ukupnih. Po drugoj, sve su oborine ispod 6,25 mm, a isto tako i one iznad 75 mm, sve računato po danu. Jednako su tako sve 10-dnevne oborine koje prelaze 125 mm neefektivne.

Japan

Za potopljena se rižišta za analizu uzima godina s najnižim oborinama u rasponu od 10-15 godina. Ovisno o lokalnim uvjetima uzima se kao neefektivno 50 do 80 mm; sve je ostalo efektivno. Za nepotopljena rižišta upotrebljavaju se dnevne vrijednosti. Uzima se kao efektivno 80% dnevnih kiša, ali tako da se kiša koja je manja od 50% dnevne evapotranspiracije uzima kao neefektivna.

Vijetnam

Pretpostavlja se da je retencijski kapacitet tla rižišta 50 mm. Sve dnevne oborine niže od 5 mm i više od 50 mm smatraju se neefektivnima. Ako je dnevna ET 10 mm, oborina od 60 mm u dva dana uzima se kao efektivna, a vrijednost iznad toga smatra se neefektivnom. Tim se putem nastavi za 3,4 itd. dana sve do kraja sezone.

Burma

U toj je zemlji uobičajeno da se oborine ispod 12,7 mm smatraju neefektivnima. Za oborine iznad te vrijednosti uzima se da su efektivne sa 80%.

6.5. DOPRINOS PODZEMNE VODE, ZE

Općenito uzevši, doprinos podzemne vode vlazi tla ovisi o dubini podzemne vode u odnosu na dubinu korijenova sustava, teksturi tla, kao i o sadržaju vode u tlu u zoni korijena. U tlima fine teksture, dotok je vode značajan, a brzine niske; u obratnom slučaju, tj. u lakšim tlima, dotok je ograničen, ali su brzine visoke. Za određivanje pravih vrijednosti kako količina tako i brzina dotoka, treba provesti odgovarajuća mjerenja na licu mjesta.

Ako je tlo homogeno i u gornjem dijelu bez nepropusnih slojeva, tada je, približno, za dotok podzemne vode od 1mm/dnevno potrebno da dubina podzemne vode, ovisno o vrsti tla, ali za grupu krupne teksture, bude negdje između 50 i 90 cm. Za istu vrijednost brzine ta će se vrijednost postići za tla srednje teksture ako je dubina podzemne vode negdje od 120 do 200 cm ispod zone korijena.

6.6. POVRŠINSKO I PODZEMNO DOTJECANJE I OTJECANJE, D, O

Površinskog dotoka obično nema izuzev u područjima podvrgnutima povremenim poplavama. Kod dobro uređenog natapanja ne bi trebalo biti površinskog otjecanja, izuzev kod pojava gubitaka u mreži.

Podzemnog dotoka također uglavnom nema izuzev u nekim lokalitetima s uzlaznim kretanjem vode iz dubljih horizonata koji su najčešće rezultat gubitaka iz akumulacija. Podzemno je otjecanje također vrlo rijetko i uvjetovano orografskim značajkama područja.

6.7. DUBOKO PONIRANJE, PO

Duboko se poniranje obično pojavljuje nakon jače natapne norme ili intezivnih kiša. Ono može u izvjesnim slučajevima iznositi i do 20% ukupno dodane vode. I, vremenom, smanjuje se brzina i količina koja ponire. Tu pojavu treba za svaki konkretan slučaj posebno izučiti.

Ta je pojava uglavnom prisutna u laganim tlima, zato u takvim slučajevima treba dobro proučiti veličinu natapne norme i po potrebi smanjiti normu i povećati učestalost natapanja.

6.8. PROMJENA USKLADIŠTENE VODE U TLU, ΔV

Količina uskladištene vode u tlu varira između nule i poljskoga vodnog kapaciteta. To predstavlja, zapravo, ravnotežu između prihoda i rashoda vode. Ovisi o teksturi tla i efektivnoj dubini zakorjenjivanja. Detaljnije o tome opisano je u poglavlju 5.3.

7. NETO POTREBA ZA VODOM, N_n

7.1. MJESEČNE I SEZONSKE POTREBE ZA VODOM

U poglavlju 3 opisano je šest empiričkih metoda za proračun potrebne količine vode za ET bilja na temelju meteoroloških podataka. Te su metode izdvojene iz skupa velikog broja koje su do sada razvijene u svijetu, jer su najraširenije i omogućuju primjenu više-manje u svim prilikama. Dakako, za svaki konkretan slučaj treba izabrati onu koja najbolje odgovara, bilo što se tiče raspoloživih podataka bilo što se tiče sličnosti i veze između toga konkretnog projekta i područja na kome je svojevremeno izvedena, odnosno testirana.

U svakom slučaju prilikom utvrđivanja potreba za vodom za neki usjev ili više njih, kako mesečnih tako i sezonskih, treba uzeti u obzir sve članove vodne bilance koji su ranije opisani, odnosno:

- potrebe za vodom za evapotranspiraciju, i to najčešće putem referentnog usjeva pomoću jedne od opisanih metoda. Dakako, rezultat analiza mora se odnositi na zadani usjev i klimati,
- doprinos od oborina analizom svih vrsta oborina koje doprinose opskrbi vlagom bilja uz proračun njihova djelotvorna učinka,
- doprinos podzemne vode analizom kapilarnog penjanja uz kvalitativne i kvantitativne pokazatelje,
- doprinos vlage tla, naročito uskladištene zimske vlage,
- analizu prihoda i rashoda kako površinskim tako i podzemnim putem.

Tako utvrđen neto deficit vlage za uzgoj poljoprivrednih usjeva, bilo mjesečno ili sezonski, predstavlja neto potrebu za vodom za natapanje kao što je objašnjeno u poglavlju 6.2.

Primjer utvrđivanja sezonskih potreba. Zadani je usjev kukuruz s efektivnom dubinom zakorjenjivanja od 100 cm na tlu glinovito-praškastom.

Natapanje počinje kod kapilarnog potencijala od 0,33 bara, odnosno kada je sadržaj vode u tlu jednak poljskome vodnom kapacitetu. Naravno, prije te bilance treba izračunati, odnosno definirati sve članove. Račun se prikazuje tabelarno.

Proračun sezonske potrebe za vodom za kukuruz ¹⁾

Tablica 6-13

Parametar	Bilančni prikaz po mjesecima u mm					Ukupno mm
	travanj	svibanj	lipanj	srpanj	kolovoz	
$\Delta Z^{2)}$ na početku	+60	+60	+22	+29	+19	
P_e	+28	+45	+55	+51	14	
Z_e	-	-	-	-	-	
ET_c	-25	-83	-168	-181	-38	
$N_n^{3)}$	0	0	+120	+120	+30	270
ΔZ na kraju mjeseca	+60	+22	+29	+19	+25	

1) Podaci se odnose na dolinu donjeg toka rijeke Mirne

2) Z - uskladištena voda u tlu

3) N_n - neto natapna norma, max. 60 mm po natapanju

7.2. VRŠNE POTREBE ZA VODOM

U poglavlju 5.2.1. obrađeno je nekoliko metoda za određivanje vršne potrebe za vodom u mjesecu najveće ET. Zapravo, radi se o razdoblju od 7-10 dana u tom mjesecu kada je dnevna ET viša od prosječne u tom mjesecu. To povećanje obično iznosi od 10-20%, ali se točnije može izračunati pomoću navedenih postupaka. To ćemo prikazati na jednom primjeru. Uzet ćemo kukuruz za zrno u dolini rijeke Mirne.

Zadano: usjev kukuruz, prosječna ET u srpnju 6 mm/dan, područje u semiaridnom klimatu, natapna norma: 50 mm.

Iz grafikona 5-3 čitamo odnos $ET_{csr}/ET_{max} = 1,19$; prema tome, vršna potrošnja bit će $6 \times 1,19 = 7,1$ mm/dan.

8. BRUTO POTREBA ZA VODOM, N_b

8.1. EFIKASNOST NATAPANJA, E_n

Nema nikakve dvojbe da neto izračunata količina vode koja je potrebna da zadovolji fiziološke potrebe bilja mora biti povećana za izvjesnu mjeru da bi se dobila adekvatna bruto količina, odnosno ona veličina koju će biti potrebno

zahvatiti, odnosno dati na raspolaganje na ulazu u natapno područje. Kao mjera rasipanja, odnosno gubitka vode, zove se efikasnost natapanja.

Prema tome, imamo:

$$N_b = N_n \frac{1}{E_n} \text{ ili } N_n \frac{100}{E_n}$$

gdje N_b predstavlja bruto potrebu vode, a E_n znači odnos (ili postotak) između volumena vode stvarno uskladištene u zoni korijena (raspoložive usjevima) i ukupna volumena vode koja je upotrijebljena za natapno polje. Nastavno se u priloženoj tablici daje računski primjer.

Primjer određivanja bruto natapne norme (kukuruz u dolini Mirne)

Tablica 6-14

Parametar	travanj	svibanj	lipanj	srpanj	kolovoz	ukupno
N_n ; mm	0	0	120	120	30	270
E_n ; odnos	-	-	0.65	0.70	0.65	
N_b	-	-	185	171	46	402

Prosječna efikasnost iznosi $E_n = 67\%$.

Općenito uzevši, bruto norma izračunava se po sljedećem izrazu:

$$N_b = \frac{\sum(ET_c - P_e - Z_e)}{E_n}$$

Općenito uzevši, efikasnost se natapanja smanjuje ako dodana količina vode (od kiše ili natapanja) prelazi vrijednost retencijskog kapaciteta ili pak brzine upijanja tla, jer se tada formira površinski tok.

Nasuprot općenitom vjerovanju, mnogobrojna mjerenja dokazuju da u prosjeku, efikasnost natapanja u najvećem broju natapnih sustava ne prelazi vrijednost od 60%. Veličina je efikasnosti natapnog sustava od prvorazrednog značaja, ali se nažalost rijetko utvrđuje, pa vlada općenito vjerovanje da je viša nego ustvari jest.

Nastavno se daju prosječne vrijednosti efikasnosti natapanja koje su dobivene ispitivanjem velikog broja natapnih sustava u raznim krajevima svijeta. U pomanjkanju drugih podataka, projektant se za preliminarne vrijednosti može njima poslužiti.

Efikasnost natapanja u ovisnosti o načinu natapanja

Tablica 6-15

Način natapanja	SAD (SCS)	ICID ¹
prelijevanje - nivelirane plohe	0.60 - 0.85	0.58
prelijevanje - sasvim ravne plohe	0.60 - 0.80	0.53
prelijevanje - rigoli po slojnicama	0.50 - 0.55	-
brazde	0.55 - 0.70	0.57
brazde hrapave	0.50 - 0.70	
podzemno natapanje	0.80	
kišenje - klima topla i suha	0.60	
kišenje - klima umjerena	0.70	0.67
kišenje - klima vlažna i svježja	0.80	
riža	-	0.32

Gubici kod natapanja u % volumena dodane vode, a ovisno o teksturi tla

Tablica 6-16

Vrsta gubitaka	tekstura		
	lagana	srednja	teška
neobloženi sekundarni kanali	0,25	0,10	0,05
površinsko prelijevanje	0,05	0,10	0,25
duboko poniranje	0,35	0,15	0,10
Efikasnost polja	0,45	0,65	0,60

Na temelju poznavanja bruto norme navodnjavanja (deficita vode u vegetacijskom razdoblju), kao i površina na kojima će se navodnjavanje primjenjivati, može se odrediti ukupna količina vode koju treba osigurati za navodnjavanje. Osim ukupne vegetacijske potrebe, obično se u projektu određuje i količina vode koja je ustvari najveća mjesečna potreba. U nastavku se iznosi primjer koji se odnosi na područje Zadra.

- a) potrebna voda za vegetacijsko razdoblje (P_v):
- bruto norma navodnjavanja (N_n) iznosi 339,3 mm = 3393 m³/ha
 - površina je navodnjavanja 200 ha

Za površinu od 200 ha, ukupno je potrebno vode:

$$P_v = 3393 \times 200 = 678\,600 \text{ m}^3 \text{ vode}$$

- b) najveća mjesečna potrebna voda (srpanj):

¹International Commission on Irrigation and Drainage

- bruto je manjak vode u srpnju 100,6 mm ili 1006 m³/ha
- površina navodnjavanja 200 ha

Ukupno je potrebno vode za srpanj (P_{mj}):

$$P_{mj} = 1006 \times 200 = 201\,200 \text{ m}^3 \text{ vode}$$

Ako su poznate uzgajane kulture i njihova zastupljenost na proizvodnim površinama, mogu se odrediti potrebne količine vode za pojedine kulture. Osim toga, može se u svrhu izrade projektne dokumentacije odrediti potrebna količina vode po "Idealnom hektaru".

$$I_{ha} = \frac{P_{vk1} \cdot P_1 + P_{kv2} \cdot P_2 + P_{vk3} \cdot P_3 * \dots + P_{vkn} \cdot P_n}{P_1 + P_2 + P_3 * \dots + P_n}$$

- I_{ha} - potreba za vodom po idealnom hektaru u m³/ha
- P_{vk1xn} - potreba za vodom za pojedine kulture u m³/ha
- P_{1-n} - površina pojedinih kultura u ha

Na temelju tih vrijednosti moguće je procijeniti ukupnu potrebnu vodu za navodnjavanje određenog objekta ili za cijelo gospodarstvo.

8.1. OSTALE POTREBE ZA VODOM

U postupku navodnjavanja, osim količina vode koje se troše na evapotranspiraciju i gubitke koji prate dovod i razvod vode, ima još nekoliko vrsta potrošnje koje se mogu, ovisno o vrsti sustava i lokalnim prilikama, povremeno ili trajno pojaviti. Te se potrebe najčešće pojavljuju radi zaštite od mraza, pripreme tla prije sjetve, borbe protiv nekih štetnika, kontrole mikroklimе (temperatura i vlaga), ispiranja soli itd. U nekim specifičnim prilikama, natapanje se čak prakticira poslije berbe.

Navedene se potrebe za različite namjene općenito ne mogu generalizirati i bitno ovise o lokalnim prilikama, pa je teško za to dati neka uputstva. Za naše prilike u najvećem broju slučajeva ne dolaze u obzir, pa se tu neće ući u metodologiju njihova određivanja. Od spomenutih potreba, jedino bi se moglo dati detaljnija uputstva za ispiranje soli i zaštitu od mraza. To će se obraditi u onom svesku priručnika koji će obrađivati tu problematiku.

BIBLIOGRAFIJA (ZA POGLAVLJA 1,2,4,5 I 6)

1. Aboukhaleed, A.: *Lysimeters*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 39, Rome 1982.
2. Alpatjev, A.M.: *Vlagooborot kulturnih rastenih*, Leningrad, 1954.
3. Constantinidis, C.Ath.: *Bonifiche ed irrigazioni*, Edagricole, Bologna, Via Emilia levante 31/2 - 1970.

4. Doorenbos, J. - Pruitt, W.O.: *Les besoins en eau de cultures*, FAO Bulletin d'irrigation et de drainage 24, Rome 1975.
5. Dastane, N.G.: *Precipitations efficaces*, FAO Bulletin d'irrigation et de drainage 25, Rome, 1977.
6. Doorenbos, J. - Kassam, A.H.: *Yield Response to Water*, FAO Irrigation and Drainage Paper 33, Rome 1979.
7. Gračanin, M.: *Mjesečni kišni faktori i njihovo značenje u pedološkim istraživanjima*. Poljoprivredna znanstvena smotra, br. 12, Zagreb, 1950.
8. Gripkov, H.G.: *Povišenije urožainosti putem efektivnoga isplazovanja osadkov*, Leningrad, 1960.
9. Jensen, M.E.: *Design and Operation of Farm Irrigation Systems* ASAE Monograph No. 3, 2950 Niles Road, St. Joseph, Michigan 49085, USA - 1981.
10. Kohnke, H.: *Soil Physics*, New York, St. Louis, S. Francisco, 1968.
11. Kos, Z.: *Hidrotehničke melioracije tla, navodnjavanje*. Školska knjiga, Zagreb, 1987.
12. Kos, Z.: *Hidrotehničke melioracije tla, odvodnjavanje*. Školska knjiga, Zagreb, 1989.
13. Kos, Z.: *Hidrotehničke melioracije tla, kvaliteta vode za navodnjavanje*. Školska knjiga, Zagreb, 1991.
14. Mihalić, V.; Butorac, A.; Tomić, F.: *Agrobiotopi mediteranskog područja i optimalizacije stanišnih uvjeta za vrtlarstvo*, Centar za studije poljoprivrede Mediterana, Split-Zagreb, 1978.
15. * * * *Irrigation Water Requirements*, Technical Release No. 21, USDA, SCS, 1967.
16. * * * *Priručnik za hidrotehničke melioracije*, II kolo, knjiga 1, Građevinski fakultet Rijeka, 1992.
17. Ollier, Ch. Poire'e, M.: *Irrigation*, Eyrolles, 61, Boulevard Saint - Germain - 75005 Paris - 1981.
18. Penzar, I. - Penzar, B.: *Agroklimatologija*. Školska knjiga, Zagreb, 1989.
19. Šbev, M.: *Harakter na zasušavanijata i promenlivijat pokiver režim na selskofopanskite kulturi*, Sofija, 1968.
20. Singer, M.J. - Munns, D.N.: *Soils. An Introduction*. Mac Millan Publishing Company, New York, 1987.
21. Tomić, F.: *Navodnjavanje*, Savez poljoprivrednih inženjera i tehničara Hrvatske i Fakultet poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1988.
22. Vučić, N.: *Navodnjavanje poljoprivrednih kultura*, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 1976.

Prof. dr. ŽELJKO VIDAČEK
Prof. dr. FRANE TOMIĆ
Mr. DAVOR ROMIĆ
Agronomski fakultet
Sveučilišta u Zagrebu

1. UVOD

Sveukupne pojave premještanja vode u tlu, promjene zaliha vode po dubini profila i razmjena vode između tla i drugih prirodnih tijela, nazivamo vodni režim tla (Rode A.A., 1969). S hidropedološkoga i biljno-proizvodnog aspekta, to znači ulaz, zadržavanje i gubitak vode iz tla u sustavu tlo - biljka - atmosfera.

Količinski izraz za vodni režim tla jest bilanca vode u tlu.

U najširem smislu, ulazne količine vode u tlo mogu biti pojedinačno ili kombinirano oborine, slivene vode, poplavne vode i podzemne vode. Gubici su vode iz tla evapotranspiracijom i dubinskim otjecanjem ili drenažom.

Posljedice su gornjih događaja promjene zaliha pristupačne ili fiziološke aktivne vode u tlu.

Određivanje bilance vode u tlu ili njenih komponenata, moguće je direktnim ili indirektnim metodama. Direktna se mjerenja vrše u lizimetrima i evaprimetrima, a indirektno je određivanje bilance vode u tlu moguće primjenom empirijskih metoda Thornthwaitea i Palmera.

2. BILANCA VODE U TLU PO METODI THORNTHWAITEA

Bilanca vode u tlu dosta se primjenjuje u nas, posebno pri izradi studija i projekata navodnjavanja. Naime, osnovna je svrha bilance vode u tlu saznanje količine nedostatka vode ili pak njezina viška u tlu na određenoj lokaciji. Thornthwaite je (1956, cit. po Mihaliću et al., 1978), pri određivanju vodne bilance, pošao od činjenice da sposobnost primanja vode i njezina zadržavanja ovisi o tipu tla, dubini profila i svojstvima tla te da kapacitet tla za vodu može varirati od nekoliko mm (plitka tla) do više od 400 mm (duboka tla). Svoju je metodu Thornthwaite razradio za tlo koje ima kapacitet za vodu 300 mm. Međutim, u praksi je ovaj njegov pristup modificiran tako da se danas i u nas pri izračunavanju vodne bilance pretpostavlja da tlo sadrži 100 mm rezerve vode u zoni rizosfere i da je tada potpuno zasićeno. Evapotranspiracija je prilično konstantna dok se tih 100 mm vode ne istranspirira. Nakon što se popuni kapacitet od 100 mm, ostale količine

oborina otječu i čine višak vode. Ako u tlu nema vode, evapotranspiracija je jednaka nuli do pojave prvih oborina.

Na tim je pretpostavkama postavljena ova metoda pa se zbog toga i ne mogu očekivati precizni rezultati o deficitu i suficitu vode. Oni imaju (kao i rezultati dobiveni nekim drugim metodama) uglavnom orijentacijski karakter, ali se mogu upotrebljavati za melioracijske potrebe.

Za određivanje vodne bilance tla po Thornthwaiteu potrebna su dva klimatska elementa - temperatura zraka i oborine. Od temperature upotrebljavaju se srednje mjesečne vrijednosti, a od oborina mjesečni zbroj u mm.

U nastavku se iznosi primjer određivanja vodne bilance tla za meteorološku stanicu Osijek prema srednjim vrijednostima temperature zraka i oborina iz razdoblja 1965-1984. godine (tablica 1).

Nakon određene potencijalne evapotranspiracije (opisano u prvom radu ovog Priručnika), izračunavanje je bilance vode tla dosta jednostavno.

Dakle, obično se počinje od mjeseca u kojemu nema rezerve vode u tlu. U našim je uvjetima uglavnom to kolovoz. U tom su mjesecu bile srednje oborine 61,9 mm. Nekorigirana potencijalna evapotranspiracija (PE_n) iznosila je 9,6 cm (96 mm), a korigirana (PE_k) 116,6 mm: Međutim, stvarna evapotranspiracija (SE) iznosi kao i količina oborina (61,9 mm). Iz toga utvrđujemo da je deficit vode u kolovozu 54,7 mm pa je tlo u početku rujna bez rezerve vode. U rujnu je nedostatak vode 29,5 mm, a u listopadu svega 0,2 mm. U studenome su oborine veće od evapotranspiracije tako da se ne pojavljuje deficit vode. Stvara se rezerva vode u tlu (40,2 mm). S obzirom na činjenicu da su oborine znatno veće od evapotranspiracije i u prosincu, popunjava se rezerva vode u tlu na 91,2 mm, a u siječnju na 100 mm. Zbog toga se u siječnju pojavljuje višak vode od 48,9 mm. Suficit vode, uz maksimalnu prisutnost rezerve vode u tlu, nastavlja se u veljači, ožujku i travnju. U svibnju su oborine (53 mm) manje od potencijalne evapotranspiracije (96,8 mm), ali je stvarna evapotranspiracija (96,8 mm) jednaka potencijalnoj, zahvaljujući rezervnoj vodi u tlu koja se u tom mjesecu smanjila za tu razliku (43,8 mm). Smanjenje rezerve vode u tlu nastavlja se u lipnju (na 29,8 mm), a u srpnju se potpuno iscrpljuje (0,0 mm). Zapravo, u srpnju oborine (69,4 mm) i postojeća rezerva vode u tlu (0,0 mm) ne zadovoljavaju potencijalnu evapotranspiraciju tako da je stvarna evapotranspiracija manja za 32,5 mm, a u tom iznosu pojavljuje se i nedostatak vode (manjak također 32,5 mm). Tako određena bilanca vode tla može se prikazati i na grafički način-slika u tekstu, Tomić F. (1988)

Pored izrađenog primjera bilance vode tla za Osijek, u nastavku iznosimo izračunate bilance vode i za još sedam mjesta (meteoroloških stanica) Hrvatske. Time se omogućava orijentacijska spoznaja u svezi s potrebom primjene navodnjavanja ili odvodnje na području Hrvatske, tablice 2-8.

Bilanca vode tla po Thornthwaiteu za razdoblje 1965-1984. god.

Tablica 1.

OSIJEK	MJESECI												SUMA
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
OBORINE	48,9	41,0	37,9	52,0	53,0	93,4	69,4	61,9	49,2	45,4	55,0	52,8	659,9
TEMP.	-0,1	1,9	6,5	10,8	16,5	19,5	20,8	20,1	16,5	11,5	5,3	1,0	10,9
i	0,0	0,2	1,5	3,2	6,1	7,9	8,7	8,2	6,1	3,5	1,1	0,1	46,6
PE _n	0,0	0,5	2,4	4,5	7,6	9,3	10,1	9,6	7,6	4,9	1,9	0,2	58,5
PE kor.	0,0	4,3	24,6	50,8	96,8	119,8	131,7	116,6	78,7	45,6	14,8	1,8	685,5
R	100,0	100,0	100,0	100,0	56,2	29,8	0,0	0,0	0,0	0,0	40,2	91,2	617,3
SE	0,0	4,3	24,6	50,8	96,8	119,8	99,2	61,9	49,2	45,4	14,8	1,8	568,6
M	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,5	54,7	29,5	0,2	0,0	0,0	116,9
V	48,9	36,7	13,3	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,1

Tablica 2.

DARUVAR	MJESECI												SUMA
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
OBORINE	58,5	49,7	55,8	75,1	81,0	104,0	91,6	94,8	66,5	67,8	81,6	79,0	905,4
TEMP.	0,1	2,4	6,8	10,0	15,8	19,0	20,4	19,4	16,0	10,9	5,7	1,6	10,7
i	0,0	0,3	1,5	2,9	5,7	7,5	8,4	7,8	5,8	3,3	1,2	0,2	44,6
PE _n	0,0	0,8	2,6	4,2	7,3	9,1	9,9	9,3	7,4	4,7	2,1	0,5	57,8
PE kor.	0,1	6,2	26,1	47,6	93,2	117,2	129,6	112,7	76,9	43,9	16,9	3,5	673,7
R	100,0	100,0	100,0	100,0	87,8	74,6	36,7	18,8	8,4	32,4	97,0	100,0	855,8
SE	0,1	6,2	26,1	47,6	93,2	117,2	129,6	112,7	76,9	43,9	16,9	3,5	673,7
M	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V	58,4	43,5	29,7	27,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	72,5	231,7

Tablica 3.

VARAŽDIN	MJESECI												SUMA
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
OBORINE	48,2	43,7	51,1	64,7	81,6	100,3	96,1	48,7	79,6	65,8	91,3	69,0	840,1
TEMP.	-0,8	1,7	5,8	9,9	14,8	17,4	19,7	19,1	15,3	10,1	4,8	0,6	9,9
i	0,0	0,2	1,3	2,8	5,2	6,6	8,0	7,6	5,4	2,9	0,9	0,0	40,9
PE _n	0,0	0,6	2,4	4,4	7,0	8,4	9,6	9,3	7,2	4,5	1,9	0,2	55,4
PE kor.	0,0	4,7	24,3	49,6	89,7	109,6	127,3	113,5	75,1	42,2	15,2	1,3	652,5
R	100,0	100,0	100,0	100,0	91,9	82,6	51,5	0,0	4,5	28,1	100,0	100,0	858,6
SE	0,0	4,7	24,3	49,6	89,7	109,6	127,3	100,2	75,1	42,2	15,2	1,3	639,2
M	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,4	0,0	0,0	0,0	0,0	13,4
V	48,2	39,0	26,8	15,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	67,7	200,9

Tablica 4.

ZAGREB MAKSIMIR		MJESECI											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	SUMA
OBORINE	48,7	41,4	55,4	58,3	76,2	98,2	89,5	94,9	77,4	72,5	77,7	63,8	854,0
TEMP,	-0,2	2,2	6,3	10,2	15,2	18,6	20,0	19,0	15,6	10,4	5,2	1,1	10,3
i	0,0	0,3	1,4	2,9	5,4	7,3	8,2	7,5	5,6	3,0	1,1	0,1	42,8
PE _n	0,0	0,7	2,5	4,4	7,1	8,9	9,7	9,2	7,3	4,5	2,0	0,3	56,7
PE kor,	0,0	5,9	25,6	50,0	90,3	115,3	127,5	110,9	75,6	42,5	15,9	2,4	662,0
R	100,0	100,0	100,0	100,0	85,9	68,8	30,8	14,8	16,6	46,6	100,0	100,0	863,5
SE	0,0	5,9	25,6	50,0	90,3	115,3	127,5	110,9	75,6	42,5	15,9	2,4	662,0
M	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V	48,7	35,5	29,8	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,4	61,4	192,0

Tablica 5.

GOSPIĆ		MJESECI											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	SUMA
OBORINE	120,0	121,0	111,0	111,0	120,0	96,0	64,0	94,0	134,0	156,0	125,0	137,0	1389,0
TEMP,	-0,2	0,8	4,2	7,2	11,8	15,4	17,0	16,1	12,8	3,8	3,8	0,2	8,2
i	0,0	0,1	0,8	1,7	3,7	5,5	6,4	5,9	4,2	2,4	0,7	0,0	31,2
PE _n	0,0	0,4	2,2	3,7	6,0	7,9	8,7	8,2	6,5	4,5	2,0	0,1	50,1
PE kor,	0,0	3,4	22,0	41,7	76,6	101,4	112,8	98,6	68,0	42,8	15,6	0,8	583,6
R	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	94,6	45,8	41,2	100,0	100,0	100,0	100,0	1081,6
SE	0,0	3,4	22,0	41,7	76,6	101,4	112,8	98,6	68,0	42,8	15,6	0,8	583,6
M	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V	120,0	117,6	89,0	69,3	43,4	0,0	0,0	0,0	7,2	113,2	109,4	136,2	805,4

Tablica 6.

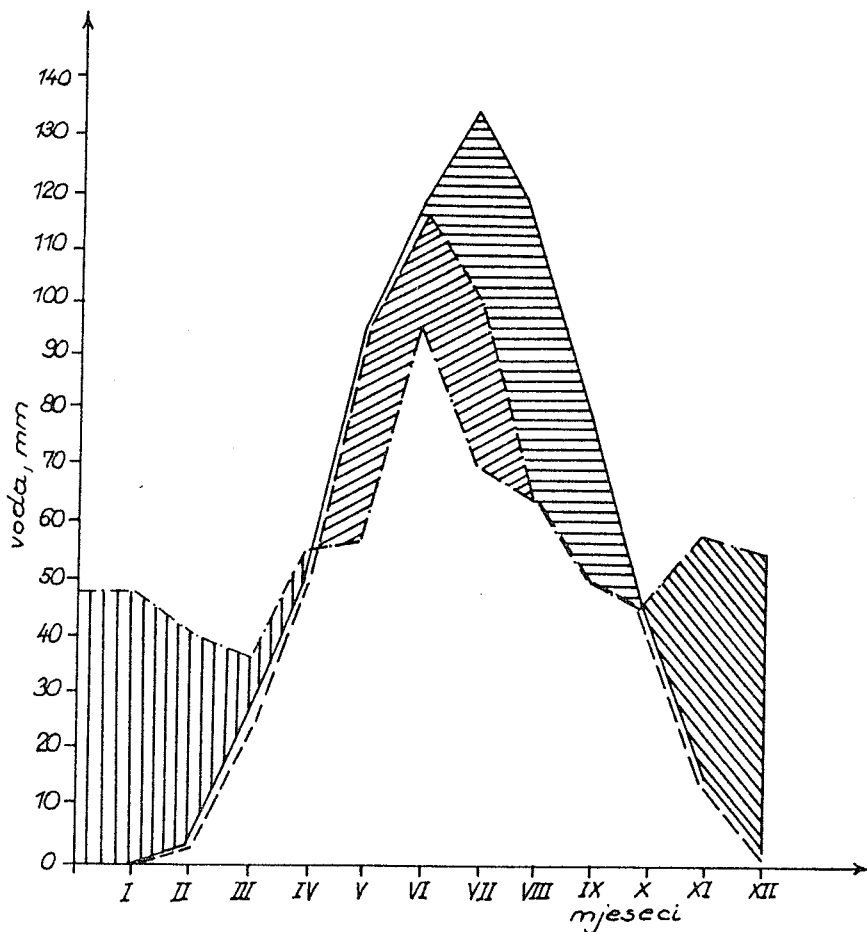
PULA		MJESECI											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	SUMA
OBORINE	81.7	72.1	57.9	68.2	65.0	54.0	39.8	98.2	97.4	70.0	109.9	87.4	901.6
TEMP.	5.5	6.1	8.4	11.7	16.3	20.4	23.1	22.2	18.7	14.4	9.9	6.7	13.6
i	1.2	1.4	2.2	3.6	6.0	8.4	10.1	9.6	7.4	5.0	2.8	1.6	59.1
PE _n	1.4	1.7	2.6	4.2	6.8	9.3	11.1	10.5	8.2	5.7	3.3	1.9	66.8
PE kor.	11.7	13.7	26.9	47.7	85.9	120.1	144.4	126.0	85.6	53.9	26.6	14.5	757.1
R	100.0	100.0	100.0	100.0	79.1	13.0	0.0	0.0	11.8	27.9	100.0	100.0	731.8
SE	11.7	13.7	26.9	47.7	85.9	120.1	52.8	98.2	85.6	53.9	26.6	14.5	637.7
M	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	91.7	27.8	0.0	0.0	0.0	0.0	119.4
V	70.0	58.4	31.0	20.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.2	72.9	263.9

Tablica 7.









ZADAR		MJESECI											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	SUMA
OBORINE	80,1	74,7	74,0	62,1	64,8	57,1	35,1	75,3	102,5	103,3	112,5	100,5	942,0
TEMP,	6,9	7,5	9,5	12,6	17,1	20,9	23,4	22,9	19,7	15,6	11,5	8,1	14,6
i	1,6	1,8	2,6	4,1	6,4	8,7	10,3	10,0	8,0	5,6	3,5	2,1	64,9
PEn	1,8	2,0	2,9	4,4	6,9	9,4	11,2	10,8	8,6	6,0	3,8	2,2	70,0
PE kor,	14,2	16,3	29,1	49,4	88,2	121,4	145,2	129,7	89,5	57,4	30,5	17,0	788,1
R	100,0	100,0	100,0	100,0	76,6	12,2	0,0	0,0	13,0	58,9	100,0	100,0	760,7
SE	14,2	16,3	29,1	49,4	88,2	121,4	47,3	75,3	89,5	57,4	30,5	17,0	635,8
M	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	97,9	54,4	0,0	0,0	0,0	0,0	152,3
V	65,9	58,4	44,9	12,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	40,9	83,5	306,2

Tablica 8.

DUBROVNIK		MJESECI											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	SUMA
OBORINE	138,0	121,0	99,0	89,0	67,0	54,0	32,0	93,0	103,0	111,0	138,0	134,0	1179,0
TEMP,	8,8	9,3	11,2	13,8	18,1	21,8	24,1	24,1	21,4	17,5	13,6	10,3	16,2
i	2,4	2,6	3,4	4,7	7,0	9,3	10,8	10,8	9,0	6,7	4,5	3,0	74,1
PEn	2,1	2,3	3,2	4,5	7,1	9,7	11,5	11,5	9,4	6,7	4,4	2,8	75,3
PE kor,	17,5	19,4	32,9	50,7	89,7	123,4	147,1	136,7	98,0	63,9	36,2	21,9	837,2
R	100,0	100,0	100,0	100,0	77,3	7,9	0,0	0,0	5,0	52,1	100,0	100,0	742,4
SE	17,5	19,4	32,9	50,7	89,7	123,4	39,9	93,0	98,0	63,9	36,2	21,9	686,4
M	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	107,1	43,7	0,0	0,0	0,0	0,0	150,8
V	120,5	101,6	66,1	38,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	53,9	112,1	492,6



Legenda :

-  višak vode u mm
-  optimalno stanje vlažnosti tla
-  nedostatak vode u tlu
-  iskorišćenje rezerve vode
-  popuna rezerve vode u tlu
-  oborine u mm
-  potencijalna evapotranspiracija u mm
-  stvarna evapotranspiracija u mm

Slika 1. Bilanca vode u tlu po Thornthwaiteu za Osijek (1965-1984. god.)

3. BILANCA VODE U TLU PO METODI PALMERA

Pedesetih i šezdesetih godina ovog stoljeća, bavi se istraživanjem suše W.C. Palmer (1965). Po uzoru na Thornthwaiteovu metodu određivanja viška i manjka vode u tlu, on uvodi postupak izračunavanja ulaznih i izlaznih količina vode u sustavu tlo - vegetacija i vodotoci - atmosfera. Pojedine stavke ili komponente tog proračuna, kao naprimjer zalihe vode u tlu i gubici vode iz tla, vrlo su zanimljivi za biljnu proizvodnju. Konačni je rezultat proračuna indeks koji pokazuje intezitet suhoće ili vlažnosti za neko razdoblje. Meteorološka služba SAD prihvatila je Palmerovu metodu računajući spomenuti indeks za svaku pokrajinu.

Postupak se sastoji od više faza (Branka Penzar, 1976).

Prva je faza takozvani hidrološki proračun, kod čega su bitne dvije pretpostavke. Oborine koje padnu, troše se u prvom redu na evapotranspiraciju, zatim na punjenje tla vodom, a eventualni višak vode otječe. Ako nema dovoljno oborina, onda se troše zalihe vode iz tla na evapotranspiraciju i otjecanja nema.

Tlo u proračunu dijeli se na dva sloja, površinski i podpovršinski sloj. Uz gornje pretpostavke, poznati kapacitet tla za vodu, početne količine vode u tlu, evapotranspiraciju i oborine, mogu se odrediti gubitak vode iz tla ili potrošnja na evapotranspiraciju, punjenje tla vodom, otjecanje vode iz tla i promjene količina vode u tlu. Osim toga, određuje se neke potencijalne vrijednosti, kao naprimjer za evapotranspiraciju, gubitak vode, punjenje i otjecanje.

Druga je faza određivanje klimatski odgovarajućih veličina viška i manjka oborina uvođenjem koeficijenata za pojedine veličine ili komponente. U trećoj se fazi utvrđuju anomalije vlage, a u četvrtoj fazi indeks suhoće, trajanje suhih i vlažnih razdoblja.

Za potrebe poljoprivrednih melioracija ili, konkretno, za procjenu, planiranje i projektiranje odvodnje i navodnjavanja može se zadovoljiti prva faza Palmerova postupka ili hidrološki proračun komponenata bilance vode u tlu (Vidaček Ž. 1981; Vidaček Ž., Husnjak S. 1989; Vidaček Ž., Bogunović M., Škorić A. 1990; Romić D., 1990).

Naime, u osnovni i hidrološki proračun aproksimira pojave ulaza, zadržavanja i kretanja oborinske vode u sustavu tlo - biljka - atmosfera, a stanje dinamičke ravnoteže pojedinih komponenata bilance vode u tlu, izražava sljedeća opća jednačina: $P + G = AE + P_u + OT$, u mm gdje su P - padaline (oborine); G - gubitak vode iz tla; AE - aktualna evapotranspiracija; P_u - punjenje tla vodom; OT - otjecanje vode.

Uvažavajući izvorne pretpostavke Palmerova hidrološkog proračuna, te rezultate kalibracije (Vidaček Ž., *ibid*), navodimo ulazne podatke i postupak proračuna. Ulazni su podaci oborine - padaline (P) umanjene za intercepciju ili/i

površinsko otjecanje, evapotranspiracija (ET) PE - potencijalna ili ET_0 - referentna ili/i ET_k - kulture, kapacitet fiziološki aktivne vode ($F_{Av} = Z$) za površinski sloj uvijek 0 -10 cm (Z_1) i potpovršinski sloj (Z_2) najčešće samo do 100 cm dubine (npr. 10-60 ili 10-100 cm), zatim poljski kapacitet tla za vodu potpovršinskog sloja (PK_{V2})

Postupak proračuna treba započeti kada je kapacitet fiziološki aktivne vode $F_{Av} = Z_{max}$ ili kada su zalihe te vode maksimalne u površinske i potpovršinskom sloju tla. Postupak ili pojedine korake proračuna, u skladu s gornjim pretpostavkama, možemo prikazati i izraziti na niže navedeni način:

Ukupni gubitak vode iz tla:

$$G = G_1 + G_2, \text{ gdje su}$$

G_1 - gubitak vode iz površinskoga,

G_2 - gubitak vode iz potpovršinskog sloja, i to:

- ako je $Z_1' > 0$ i $ET - P > 0$, uzima se za G_1 ona od tih dviju vrijednosti koja je manja

- ako je $Z_1' > 0$ i $ET - P < 0$, onda je $G_1 = 0$

- uz $Z_1' = 0$ je i $G_1 = 0$

$$G_2 = (ET - P - G_1) Z_2' / PK_2, \text{ pri čemu mora biti } 0 \leq G_2 \leq Z_2'$$

- ako jednadžba daje negativan G_2 , stavlja se $G_2 = 0$, a ako gubitak vode iz donjeg sloja ispadne veći od količine vode u tom sloju, stavlja se $G_2 = Z_2$

Palmer je tu pretpostavio da se voda iz gornjeg sloja tla troši nesmetano, ali ne iz donjeg sloja. Zato potrebu za vodom iz donjeg sloja ($ET - P - G_1$) treba pomnožiti s nekim faktorom manjim od jedinice, koji se mijenja sa stupnjem zasićenosti donjeg sloja vodom.

Punjenje tla vodom (P_u) i otjecanje (OT) računaju se na sljedeći način:

- za $P < ET$ je $P_u = OT = 0$

- $P - ET \leq Z_{max} - Z'$ je $P_u = P - ET$ i $OT = 0$

- za $P - ET > Z_{max} - Z'$ je $P_u = Z_{max} - Z'$ i $OT = P - ET - P_u$

Aktualna evapotranspiracija (AE) može biti jednaka potencijalnoj evapotranspiraciji ET (PE ili ET_0 ili/i ET_k) ili pak manja:

- za $P > ET$ je $AE = ET$

- za $P < ET$ je $AE = P + G$

Time su uz oborine (P) određene i ostale komponente jednadžbe bilance.

Da bi se račun mogao nastaviti i za razdoblje koje slijedi, potrebno je još ustanoviti koliko se promijenila količina vode u tlu i koliko ona iznosi na kraju razmatranog razdoblja.

Promjena vode u površinskom sloju Z_1 i potpovršinskome Z_2 ne može biti ako nije bilo punjenja niti otecanja vode, odnosno:

- za $P_u = G = 0$ je $\Delta Z_1 = \Delta Z_2 = 0$

- ako je $P_u = 0$ a $G \neq 0$ onda je $\Delta Z_1 = -G_1$ i $\Delta Z_2 = -G_2$

- ako je $G = 0$, a $P_u \neq 0$ onda

za $P < P_u \leq Z_{\max} - Z'$ je $\Delta Z_1 = P_u$, $\Delta Z_2 = 0$

za $P_u > Z_{\max} - Z'$ je $\Delta Z_1 = Z_{1\max} - Z_1'$ i

$Z_2 = P_u - \Delta Z_1$

Zaliha fiziološki aktivne vode na kraju razmatranog razdoblja iznosi u površinskom sloju tla $Z_1 = Z_1' + \Delta Z_1$, a u potpovršinskom sloju tla $Z_2 = Z_2' + \Delta Z_2$. Ukupna zaliha fiziološki aktivne vode za površinski i potpovršinski sloj $Z = Z_1 + Z_2$.

Iz odnosa $Z_{\max} - Z$, možemo izračunati manjak vode u tlu, kada je $Z < Z_{\max}$

Iz odnosa potencijalna evapotranspiracija ET (PE ili ET_o ili ET_k) minus aktualna evapotranspiracija (AE), kada je $AE < PE$ ili ET_o ili ET_k , proizlazi manjak vode do zadovoljavanja potencijalnih potreba biljaka za vodom.

Za proračun bilance vode u tlu po metodama Thornthwaitea i Palmera, izrađeni su u Zavodu za pedologiju i Zavodu za melioracije Agronomskog fakulteta u Zagrebu, odgovarajući kompjuterski programi.

Neke od postojećih rezultata tih proračuna bilance oborinske vode u tlu za područje Hrvatske, navodimo u tablicama 9-16.

Ulazni su podaci u spomenutim proračunima prosječne nekorrigirane mjesečne padaline (P_u) i potencijalna evapotranspiracija Thornthwaitea (PE) za razdoblje 1965-1984. godine, zatim slučajno odabran kapacitet fiziološki aktivne vode (Z_{\max}) 100 mm za ilovasti sloj 60 cm debljine ($Z_{1\max} = 15$ mm i $Z_{2\max} = 80$ mm) te poljski kapacitet potpovršinskog sloja (P_{Kv2}) 210 mm vode.

**Hidrološki proračuni bilance oborinskevode u tlu po metodi Palmera
(prosjeak 1965-84)**

Tablica 9.

Osijek	Tlo: ilovasto 60 cm							Oborine: prosjeak 1965/84					
	P ₁₁	PE	G ₁	G ₂	P ₁₁	OT	AE	ZALIH F _{Av}				PE-AE	
								Z ₁	Z ₂	Z=Z ₁ +Z ₂	Z _{max} -Z		
								u milimetrima				%	mm
I	48,9	0	0,0	0,0	0,0	48,9	0,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00
II	41,0	4	0,0	0,0	0,0	36,7	4,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00
III	37,9	25	0,0	0,0	0,0	13,3	24,6	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00
IV	52,0	51	0,0	0,0	0,0	1,2	50,8	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00
V	53,0	97	15,0	11,7	0,0	0,0	79,7	0,0	73,3	73,3	26,7	26,66	17,14
VI	93,4	120	0,0	9,2	0,0	0,0	102,6	0,0	64,1	64,1	35,9	35,88	17,18
VII	69,4	132	0,0	19,0	0,0	0,0	88,4	0,0	45,1	45,1	54,9	54,90	43,28
VIII	61,9	117	0,0	11,7	0,0	0,0	73,6	0,0	33,4	33,4	66,6	66,65	42,95
IX	49,2	79	0,0	4,7	0,0	0,0	53,9	0,0	28,7	28,7	71,3	71,33	24,81
X	45,4	46	0,0	0,0	0,0	0,0	45,4	0,0	28,6	28,6	71,4	71,36	0,00
XI	55,0	15	0,0	0,0	40,2	0,0	14,8	15,0	53,8	68,8	31,2	31,16	0,00
XII	52,8	0	0,0	0,0	31,2	21,6	0,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00
Godišnje	660	684	15	36	71	122	538						145
U veget.	379	594	15	56	0	1	449						145
Van veg.	281	89	0	0	71	121	89						

Tablica 10.

Daruvar	Tlo: ilovasto 60 cm							Oborine: prosjeak 1965/84					
	P ₁₁	PE	G ₁	G ₂	P ₁₁	OT	AE	ZALIH F _{Av}				PE-AE	
								Z ₁	Z ₂	Z=Z ₁ +Z ₂	Z _{max} -Z		
								u milimetrima				%	mm
I	58,5	0	0,0	0,0	0,0	58,4	0,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00
II	49,7	6	0,0	0,0	0,0	43,3	6,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00
III	55,8	26	0,0	0,0	0,0	29,7	26,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00
IV	75,1	48	0,0	0,0	0,0	27,5	47,6	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00
V	81,0	93	12,2	0,0	0,0	0,0	93,0	2,8	85,0	87,8	12,2	12,20	0,00
VI	104,0	117	2,8	4,2	0,0	0,0	111,0	0,0	80,8	80,8	19,2	19,21	6,19
VII	91,6	130	0,0	14,6	0,0	0,0	106,2	0,0	66,2	66,2	33,8	33,83	23,38
VIII	94,8	113	0,0	5,6	0,0	0,0	100,4	0,0	60,5	60,5	39,5	39,47	12,26
IX	66,5	77	0,0	3,0	0,0	0,0	69,5	0,0	57,5	57,5	42,5	42,47	7,40
X	67,8	44	0,0	0,0	23,9	0,0	43,9	15,0	66,4	81,4	18,6	18,57	0,00
XI	81,6	17	0,0	0,0	18,6	46,1	16,9	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00
XII	79,0	0	0,0	0,0	0,0	79,0	0,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00
Godišnje	905	670	15	27	42	284	621						49
U veget.	513	577	15	27	0	27	528						49
Van veg.	392	93	0	0	42	257	93						

Tablica 11.

Varaždin		Tlo: ilovasto 60 cm					Oborine: prosjek 1965/84						
	P ₁₁	PE	G ₁	G ₂	P ₁₁	OT	AE	ZALIHE F _{Av}				PE-AE	
								Z ₁	Z ₂	Z=Z ₁ +Z ₂	Z _{max} -Z		
								u milimetrima					%
I	48,2	0	0,0	0,0	0,0	49,2	0,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00
II	43,7	5	0,0	0,0	0,0	39,0	4,7	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00
III	51,1	24	0,0	0,0	0,0	26,8	24,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00
IV	64,7	50	0,0	0,0	0,0	15,1	49,6	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00
V	81,6	90	8,1	0,0	0,0	0,0	89,7	6,9	85,0	91,9	8,1	8,10	0,00
VI	100,3	110	6,9	1,0	0,0	0,0	108,2	0,0	84,0	84,0	16,0	15,97	1,43
VII	86,1	127	0,0	12,5	0,0	0,0	108,6	0,0	71,5	71,5	28,5	28,46	18,72
VIII	48,7	114	0,0	22,1	0,0	0,0	70,8	0,0	49,5	49,5	50,5	50,53	42,72
IX	79,6	75	0,0	3,0	4,5	0,0	75,0	4,5	49,5	54,0	46,0	46,03	0,00
X	65,8	42	0,0	0,0	23,6	0,0	42,0	15,0	62,6	77,6	22,4	22,43	0,00
XI	91,3	15	0,0	0,0	22,4	53,7	15,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00
XII	60,0	0	0,0	0,0	0,0	69,0	0,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00
Godišnje	840	651	15	36	51	252	588						63
Uveget.	471	565	15	36	5	15	502						63
Vanveg.	369	86	0	0	46	237	86						

Tablica 12.

Zagreb - Maksimir		Tlo: ilovasto 60 cm					Oborine: prosjek 1965/84						
	P ₁₁	PE	G ₁	G ₂	P ₁₁	OT	AE	ZALIHE F _{Av}				PE-AE	
								Z ₁	Z ₂	Z=Z ₁ +Z ₂	Z _{max} -Z		
								u milimetrima					%
I	48,7	0	0,0	0,0	0,0	48,7	0,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00
II	41,4	6	0,0	0,0	0,0	35,5	5,9	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00
III	55,4	26	0,0	0,0	0,0	29,8	25,6	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00
IV	58,3	50	0,0	0,0	0,0	8,3	30,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00
V	76,2	90	14,1	0,0	0,0	0,0	90,0	0,9	85,0	85,9	14,1	14,10	0,00
VI	98,2	115	0,9	6,6	0,0	0,0	105,7	0,0	78,4	78,4	21,6	21,56	9,64
VII	89,5	128	0,0	14,2	0,0	0,0	103,7	0,0	64,2	64,2	35,8	35,75	23,81
VIII	94,9	111	0,0	4,9	0,0	0,0	90,8	0,0	59,4	59,4	40,6	40,65	11,10
IX	77,4	76	0,0	0,0	1,8	0,0	75,6	1,8	59,4	61,2	38,8	38,85	0,00
X	72,5	43	0,0	0,0	30,0	0,0	42,5	15,0	76,2	91,2	8,8	8,85	0,00
XI	77,7	16	0,0	0,0	8,8	53,0	15,9	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00
XII	63,8	0	0,0	0,0	0,0	63,8	0,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00
Godišnje	854	660	15	26	41	239	615						45
Uveget.	495	570	15	26	2	8	525						45
Vanveg.	360	90	0	0	39	231	90						

Tablica 13.

	Gospić							Tlo: ilovasto 60 cm		Oborine: prosjek 1965/84				
	P ₁₁	PE	G ₁	G ₂	P ₁₁	OT	AE	ZALIHE F _{Av}				PE-AE		
								Z ₁	Z ₂	Z=Z ₁ +Z ₂	Z _{max} -Z			
								u milimetrima		%		mm		
I	120,0	0	0,0	0,0	0,0	120,0	0,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00	
II	121,0	3	0,0	0,0	0,0	117,6	3,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00	
III	111,0	22	0,0	0,0	0,0	89,0	22,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00	
IV	111,0	42	0,0	0,0	0,0	69,3	41,7	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00	
V	120,0	77	0,0	0,0	0,0	43,4	76,6	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00	
VI	96,0	101	5,4	0,0	0,0	0,0	101,0	9,6	85,0	94,6	5,4	5,40	0,00	
VII	64,0	113	9,6	15,9	0,0	0,0	89,5	0,0	69,1	69,1	30,9	30,87	23,33	
VIII	94,0	99	0,0	1,5	0,0	0,0	95,5	0,0	67,6	67,6	32,4	32,38	3,09	
IX	134,0	68	0,0	0,0	32,4	33,6	68,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00	
X	156,0	43	0,0	0,0	0,0	113,2	42,8	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00	
XI	125,0	16	0,0	0,0	8,8	109,4	15,6	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00	
XII	137,0	0	0,0	0,0	0,0	137,0	0,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00	
Godišnje	1389	583	15	17	32	833	556						26	
Uveget.	619	499	15	17	32	146	473						26	
Vanveg.	770	84	0	0	0	686	84							

Tablica 14.

	Daruvar							Tlo: ilovasto 60 cm		Oborine: prosjek 1965/84				
	P ₁₁	PE	G ₁	G ₂	P ₁₁	OT	AE	ZALIHE F _{Av}				PE-AE		
								Z ₁	Z ₂	Z=Z ₁ +Z ₂	Z _{max} -Z			
								u milimetrima		%		mm		
I	81,7	12	0,0	0,0	0,0	70,0	11,7	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00	
II	72,1	14	0,0	0,0	0,0	58,4	13,7	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00	
III	57,9	27	0,0	0,0	0,0	31,0	26,9	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00	
IV	68,2	48	0,0	0,0	0,0	20,5	47,7	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00	
V	65,0	86	15,0	2,4	0,0	0,0	82,4	0,0	82,6	82,6	17,4	17,39	3,51	
VI	54,0	120	0,0	26,0	0,0	0,0	80,0	0,0	56,6	56,6	43,4	43,39	40,10	
VII	39,8	144	0,0	28,2	0,0	0,0	68,0	0,0	28,4	28,4	71,6	71,59	76,40	
VIII	98,2	126	0,0	3,8	0,0	0,0	102,0	0,0	24,7	24,7	75,3	75,35	24,04	
IX	97,4	86	0,0	0,0	11,8	0,0	85,6	11,8	24,7	36,5	63,5	63,55	0,00	
X	70,0	54	0,0	0,0	16,1	0,0	53,9	15,0	37,6	52,6	47,4	47,45	0,00	
XI	109,9	27	0,0	0,0	47,4	35,9	26,6	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00	
XII	87,4	0	0,0	0,0	0,0	87,4	0,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00	
Godišnje	902	743	15	60	75	303	598						144	
U veget.	423	610	15	60	12	21	466						144	
Van veg.	479	133	0	0	64	283	133							

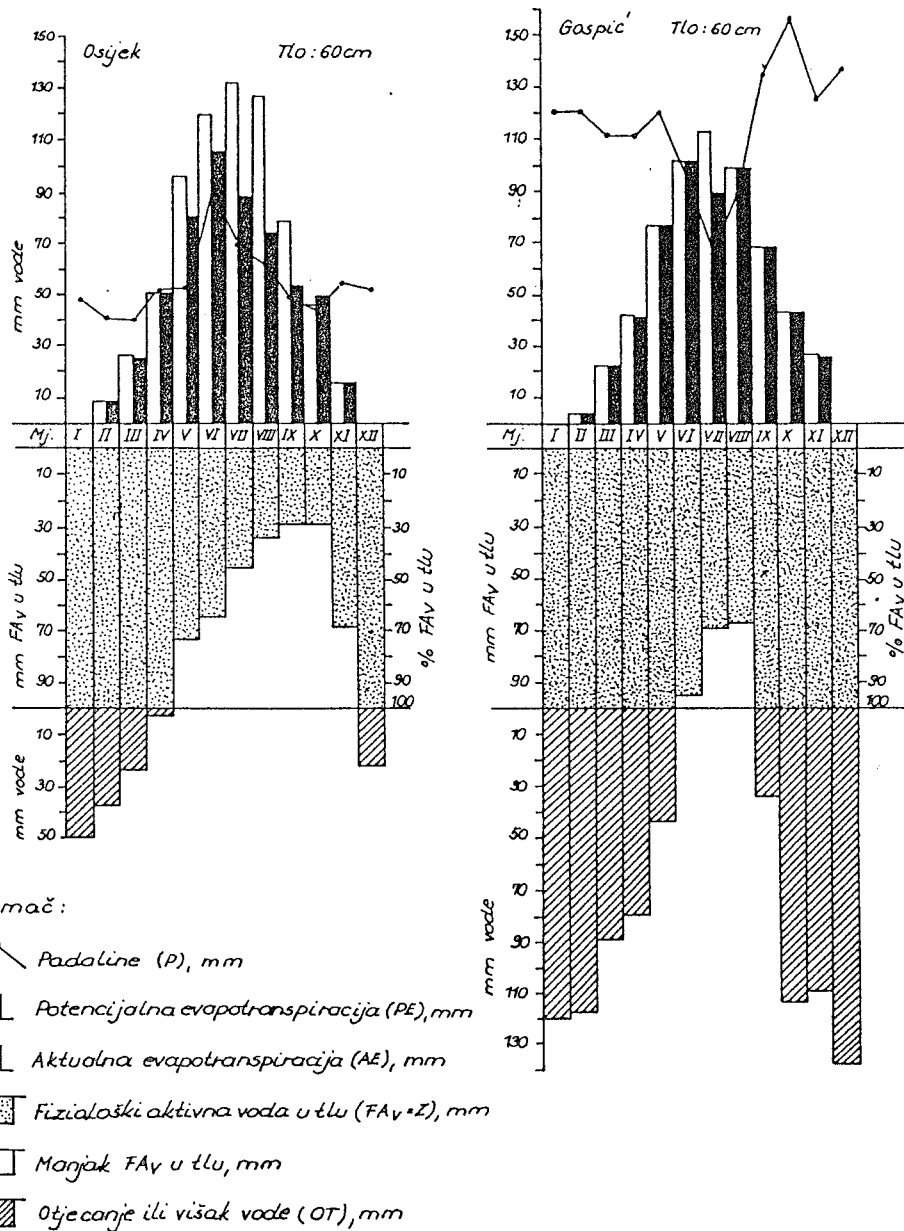
Tablica 15

Zadar		Tlo: ilovasto 60 cm					Oborine: prosjek 1965/84							
	P ₁₁	PE	G ₁	G ₂	P ₁₁	OT	AE	ZALIHE F _{Av}					PE-AE	
								Z ₁	Z ₂	Z=Z ₁ +Z ₂	Z _{max} -Z	%		mm
								u milimetrima						
I	80,1	14	0,0	0,0	0,0	65,9	14,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00	
II	74,7	16	0,0	0,0	0,0	58,4	16,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00	
III	74,0	29	0,0	0,0	0,0	44,9	29,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00	
IV	62,1	49	0,0	0,0	0,0	12,7	49,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00	
V	64,8	88	15,0	3,4	0,0	0,0	83,2	0,0	81,6	81,6	18,4	18,40	5,00	
VI	57,1	121	0,0	25,0	0,0	0,0	82,1	0,0	56,6	56,6	43,4	43,39	39,31	
VII	35,1	145	0,0	29,7	0,0	0,0	64,8	0,0	26,9	26,9	73,1	73,07	80,42	
VIII	75,3	130	0,0	7,0	0,0	0,0	82,3	0,0	20,0	20,0	80,0	80,04	47,42	
IX	102,5	90	0,0	0,0	13,0	0,0	89,5	13,0	20,0	33,0	67,0	67,04	0,00	
X	103,3	57	0,0	0,0	45,9	0,0	57,0	15,0	63,9	78,9	21,1	21,14	0,00	
XI	112,5	31	0,0	0,0	21,1	60,9	30,5	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00	
XII	100,5	0	0,0	0,0	0,0	100,5	0,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00	
Godišnje	942	771	15	65	80	343	597						172	
U veget.	397	623	15	65	13	13	451						172	
Van veg.	545	148	0	0	67	331	146							

Tablica 16

Dubrovnik		Tlo: ilovasto 60 cm					Oborine: prosjek 1965/84							
	P ₁₁	PE	G ₁	G ₂	P ₁₁	OT	AE	ZALIHE F _{Av}					PE-AE	
								Z ₁	Z ₂	Z=Z ₁ +Z ₂	Z _{max} -Z	%		mm
								u milimetrima						
I	138,0	18	0,0	0,0	0,0	120,5	17,5	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00	
II	121,0	19	0,0	0,0	0,0	101,6	19,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00	
III	99,0	33	0,0	0,0	0,0	66,1	32,9	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00	
IV	89,0	51	0,0	0,0	0,0	38,3	50,7	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00	
V	67,0	90	15,0	3,1	0,0	0,0	85,1	0,0	81,9	81,9	18,1	18,12	4,58	
VI	54,0	123	0,0	27,1	0,0	0,0	81,1	0,0	54,8	54,8	45,2	45,18	42,34	
VII	32,0	147	0,0	30,0	0,0	0,0	62,0	0,0	24,8	24,8	75,2	75,23	85,05	
VIII	93,0	137	0,0	5,2	0,0	0,0	98,2	0,0	19,6	19,6	80,4	80,38	38,54	
IX	103,0	98	0,0	0,0	5,0	0,0	98,0	5,0	19,6	24,6	75,4	75,30	0,00	
X	111,0	64	0,0	0,0	47,1	0,0	63,9	15,0	56,7	71,7	28,3	28,28	0,00	
XI	138,0	36	0,0	0,0	28,3	73,5	36,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00	
XII	134,0	0	0,0	0,0	0,0	134,0	0,0	15,0	85,0	100,0	0,0	0,00	0,00	
Godišnje	1179	816	15	65	80	534	644						171	
U veget.	438	646	15	65	5	38	475						171	
Van veg.	741	170	0	0	75	496	169							

Rezultati proračuna bilance oborinske vode u tlu metodom Palmera mogu biti prikazani odnosno interpretirani kao na slici 2.



Slika 2. Bilanca vode po metodi Palmera (prosjeak 1965-1984 g.)

ZAKLJUČAK

Thornthwaiteovu metodu proračuna bilance vode tla, upotrebljavaju naši hidrotehničari i biotehničari od kraja pedesetih godina, a metodu Palmera od početka devedesetih godina ovog stoljeća.

1. Metoda Thornthwaitea. Ulazni su podaci potencijalna evapotranspiracija Thornthwaitea (PE ili PET) i oborine (Ob) kao varijabilne vrijednosti te rezerve vode u tlu u zoni rizosfere (R) u količini od 100 mm, kao pretpostavljena konstantna vrijednost za sve slučajeve proračuna. Rezultati proračuna iskazani tablicom ili/i grafički jesu stvarna ili aktualna evapotranspiracija (SET ili AE), višak (V) ili manjak (M) vode u tlu, optimalno stanje vlažnosti, iskorištene rezerve vode i pojava rezerve vode, sve u mm.

2. Metoda Palmera, kalibrirana i korigirana prema usporednim gravimetrijskim mjerenjima na području Slavonije te djelomično nadopunjena za potrebe hidropedoloških proračuna, ima sljedeće ulazne podatke: potencijalnu evapotranspiraciju ET (Thornthwaitea PE, ili Blaney-Criddlea ET_o ili drugih autora ili/i evapotranspiraciju kultura $ET_k = ET_o \times k$), zatim padaline (P), fiziološki aktivnu vodu (F_{Av}) za površinski i potpovršinski sloj u izrazu $Z_{max} = Z_{1max} + Z_{2max}$.

Padaline su u tom slučaju nekorrigirane za intercepciju i površinsko otjecanje te prosjek za analizirana razdoblja. Međutim, u konkretnom slučaju, za potrebe natapanja uzimamo 60-70%-tnu vjerojatnost njihovih pojava, a za detaljnu odvodnju najčešće 25%-tnu vjerojatnost pojava padalina.

Rezultati su proračuna gubitak vode iz površinskog sloja (G_1) koji je obavezno samo 10 cm debljine, gubitak vode iz potpovršinskog sloja (G_2), punjenje tla vodom (P_v), otjecanje vode iz tla (OT) ili višak, aktualna ili stvarna evapotranspiracija (AE), manjak vode u tlu ($Z_{max} - Z$) i manjak vode iz razlike potencijalne (ET) i aktualne (AE) evapotranspiracije.

Sve su ulazne vrijednosti i rezultati proračuna u mm, a manjak vode izražavamo i u postotku od mogućega punog kapaciteta zaliha ili fiziološko aktivne vode tla.

3. Uspoređujući prednosti i nedostatke metoda proračuna bilance oborinske vode u tlu koje su tu obrađene, prema dosadašnjem iskustvu možemo zaključiti sljedeće:

Zajednički je nedostatak opća pogreška i ograničenost korištenja kao kod svih empirijskih metoda.

Thornthwaiteova metoda manje zadovoljava i aproksimira dinamičnost sustava tlo - biljka - atmosfera.

Količine viška ili/i manjka vode metodom Thornthwaitea više upotrebljavamo za planiranje hidromelioracija, a vrijednosti otjecanja i manjka vode po metodi Palmera upotrijebili smo s dosta uspjeha u planiranju te projektiranju dopuskog natapanja i detaljne odvodnje.

LITERATURA

1. Palmer W.C.: *Meteorological Drought US Weather Bureau Technical Paper No 45*, Washington D.S., February 1965, 58 pp,1965.
2. Penzar Branka: *Indeksi suhoće za Zagreb i njihova statistička prognoza*. Posebni otisak iz Rasprave i prikaza RHMZ Hrvatske, br 13, Hidrometeorološki zavod Hrvatske, 1978.
3. Penzar Branka, Makjanić B.: *Uvod u opću klimatologiju*, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb,1978.
4. Rode A.A.: *Osnovi učenja o počvenoj vlage*, Tom II. Gidrometeoizdat, Leningrad, 1969.
5. Romić D.: *Kompleksno uređenje vodnog režima tla u Prekodravlju*, Magistarski rad, Poljoprivredni fakultet Novi Sad, 1990.
6. Tomić F.: *Navodnjavanje*, SPIT Hrvatske i FPZ Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1988.
7. Tanić S., Vidaček Ž.: *Hidrocalc - kompjutorski programski paket za proračun bilance oborinske vode u tlu*, Institut za agroekologiju, Zagreb, 1989.
8. Vidaček Ž.: *Procjena proizvodnog prostora i prikladnosti tla za natapanje u istočnoj Slavoniji i Baranji*, disertacija, Fakultet poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1981.
9. Vidaček Ž., Husnjak S.: *Hidropedološka osnova projekta za natapanje dijela područja Krnjak*, Institut za agroekologiju, Zagreb, 1989.
10. Vidaček Ž., Bogunović M., Škorić A.: *Water Balance Module for Free - Draining Soils of Subhumid Type Agroecological Systems*, Poda, No 2, 91-99, Bratislava 1990.