

SILVA OTOREPEC, dipl. meteorolog
Savezni hidrometeorološki zavod

Izračunavanje i mjerenje isparavanja zemljišta

UVOD

Mnogi radovi i studije napisani su o toplotnoj bilansi zemljišta jer se mjerenja temperature na različitim dubinama vrše u cijelom svijetu. S druge strane pak, malo se zna o razmjeni vodene pare (vlažnosti) između zemljine površine i atmosfere i o vodnoj bilansi zemljišta, koji je isto tako važan elemenat, kako klime zemljišta tako i klime uopće.

Napredak i razvoj privrede, a u prvom redu poljoprivrede, iziskuju dublje poznavanje vodene bilanse zemljišta, detaljnije upoznavanje njezinih najvažnijih komponenata, njihov međusobni odnos kao i njihov odnos prema drugim elementima klime. To su važna pitanja kojima se danas bavi sve veći broj stručnjaka u svijetu.

Mi ćemo se u ovom radu osvrnuti samo na problem isparavanja zemljišta kao jednog od značajnih komponenti vodene bilanse. Pitanje isparavanja zahvaćeno je u najglavnijim crtama, sa kratkim opisom instrumenata koji su u upotrebi u našoj zemlji. Prikazane su i izvjesne metode za određivanje isparavanja, koje bi mogle naći, ili su već donekle našle, primjenu u našoj zemlji. Na kraju rada iznijeti su i rezultati 5-godišnjeg mjerenja stvarnog isparavanja zemljišta na agrometeorološkoj istraživačkoj stanici Zemun-Polje, pomoću isparitelja Popov.

ISPARAVANJE ZEMLJIŠTA

Problem determiniranja načina i količine isparavanja sa zemlje i vodene površine, ili transpiracije sa vegetacije, izražen je kompleksno, znajući činjenicu da voda postaje nevidljiv plin koji se brzo miješa sa drugim plinovima atmosfere i transportira na prostrane razdaljine i velike visine«, rekao je Dr. Thornthwaite (2). Isparavanje je prelazak vode iz tekućeg ili čvrstog agregatnog stanja u plinovito. Ono predstavlja količinu isparene vode sa jedinice površine u određenom vremenu. Putem pokusa konstatirano je, da je isparavanje funkcija različitih meteoroloških elemenata: 1) toplotnog stanja podloge sa koje se vrši isparavanje, 2) relativne vlažnosti uzduha iznad te površine, 3) brzine vjetra, 4) uzdušnog pritiska, 5) visine oborina i 6) sunčevog zračenja. Na isparavanje sa zemljine površine utiču pored navedenih, i drugi faktori: biljni pokrivač

(vrsta i faza razvoja), visina podzemne vode, reljef, nagib, boja zemljišta i ekspozicija.

Ukoliko je temperatura podloge viša utoliko je veće isparavanje, kod inače istih uslova. Isparavanje je veće ukoliko je manja relativna vlažnost uzduha odnosno ukoliko je uzduh suhlji. Sa povećanjem brzine vjetra povećava se i isparavanje, jer vjetar stalno odnosi vlažniji uzduh koji se nalazi iznad površine koja isparava, a na njegovo mjesto donosi suhlji. Uzdušni pritisak utiče na isparavanje tako, što ukoliko je on veći utoliko je isparavanje manje i obratno. Što je veća visina oborina u određenom vremenu to je manje isparavanje. I ukoliko je intenzitet i dužina trajanja osunčavanja veći utoliko je veće isparavanje.

Količina isparene vode upravo je proporcionalna veličini površine sa koje se vrši isparavanje, pri inače istim uslovima. Biljni pokrivač povećava površinu isparavanja. Za koliko će se ona povećati zavisi od vrste biljke, njene visine i faze razvoja. Opiti u Eberswaldu (Njemačka) od 1930.—1932. godine pokazali su da je isparavanje sa površine pokrivene travnim pokrivačem i bez podzemne vode dva puta veće nego sa gole površine zemljišta. Visina podzemne vode igra također značajnu ulogu u isparavanju. Pokusi izvedeni u periodu od 1934.—1937. u Eberswaldu pokazali su slijedeći odnos isparavanja, koji najbolje ilustrira njen značaj:

golo zemljište	travni pokrivač bez podzemne vode	travni pokrivač sa visokom podzemnom vodom
2	4	8

Ovakav odnos mogao bi imati i praktičan značaj. Ako se na pr. želi sakupiti što je moguće više podzemne vode onda taj kompleks zemljišta treba ostaviti bez vegetacije. Na taj način se godišnje dovede najmanje 200 mm vode od oborina ili 200 litara vode po kvadratnom metru (3).

Kod proučavanja problema isparavanja potrebno je razlikovati potencijalno i stvarno isparavanje. Potencijalno isparavanje je količina vode koja se ispari sa neke površine kada na raspoloženju ima dovoljno vode. Stvarno isparavanje je pak ona količina vode koja se ispari, pod postojećim uslovima. Za vrijeme vlažnog perioda kada u zemljištu postoji dovoljno vode, stvarno i potencijalno isparavanje zemljišta bit će jednako. Ako je pak zemljište suho, što se često dešava u aridnim oblastima za vrijeme ljetnih mjeseci, vrijednosti stvarnog isparavanja su mnogo manje od potencijalnih. Thornthwaite je uveo jedan novi pojam, potencijalnu evapotranspiraciju, koja predstavlja količinu vode koja će se ispariti sa površine potpuno pokrivene vegetacijom, ako postoji dovoljno vode u zemljištu za čitavo vrijeme trajanja vegetacije. Vlažnost zemljišta treba da bude za cijelo vrijeme oko poljskog kapaciteta. Za njezino mjerenje on je konstruirao i prigodan instrumenat, poznat kao Thornthwaite-ov evapotranspirometar, o kome će biti govora u kasnijem izlaganju.

Pitanje isparavanja zemljišta interesiralo je već odavno stručnjake u raznim dijelovima svijeta. Zavisno od razvoja nauke i sredstava, oni su davali svoje priloge za rješavanje ovog kompliciranog elementa klime, o kome se i danas ne može sasvim pouzdano govoriti. Noviji radovi su pokazali da se rješavanju ovog problema prišlo sa dvije strane. Prvo, teoretski, izračunavanjem isparavanja indirektnim putem pomoću empiričkih jednadžbi i drugo, praktički, konstruiranjem instrumenata koji bi sa što više točnosti davali bilo potencijalno, bilo stvarno isparavanje.

INDIREKTNO IZRAČUNAVANJE ISPARAVANJA ZEMLJIŠTA

Još 1802. godine Dalton je istakao da je »isparavanje proporcionalno razlici između pritiska vodene pare uzduha na površini vode i uzduha koji leži iznad njega«. Historijski to bi bio prvi rad koji malo jasnije definira ovu veličinu. Na osnovu Daltonovog zakona date su različite empiričke formule od strane raznih autora. Opći oblik jednačine za određivanje isparavanja sa neke površine, uzimajući u obzir vertikalnu raspodjelu vlažnosti uzduha i intenzitet turbulencije, glasi:

$$E = A \frac{dq}{dz}$$

u kojoj je A koeficijent turbulentnog miješanja ili vertikalne razmjene masa ili kako ga je još nazvao Wilhelm Schmidt »Austausch Coefficient« a dq/dz je promjena koncentracije vlage sa visinom iznad površine koja isparava. Kada je dq/dz pozitivno, vlaga se transportira naniže i na površini dolazi do kondenzacije, a kada je dq/dz negativno, vlaga se transportira naviše, a na površini se vrši isparavanje. Polazeći od ove jednadžbe ili uzimajući u obzir i druge elemente koji imaju uticaja na isparavanje, nađeno je više metoda za određivanje isparavanja, od kojih su najvažnije slijedeće:

1. Aerodinamička metoda
2. Metoda bilansa energije
3. Kombinirana metoda
4. Metode izračunavanja isparavanja na osnovu klimatoloških podataka.

Razmotrit ćemo u najkraćim crtama svaku od ovih metoda.

Aerodinamička metoda poznata je još pod imenom Austauschmethode. Ova metoda zasniva se na mjerenjima vertikalne raspodjele vodene pare na dvije različite visine iznad zemljine površine, na osnovu koje se može dobiti isparavanje u svako doba. Na ovoj metodi radili su, pored drugih, Thornthwaite i Holzmann (1939) u Americi, Haude (1948) i Frankenberger (1949) u Njemačkoj

i Pasquill (1950) u Engleskoj. Thornthwaite i Pasquill došli su do slične formule, koja glasi:

$$V = \frac{g K^2 (q_1 - q_2) (v_2 - v_1)}{\ln \left(\frac{z_2 - d}{z_1 - d} \right)^2}$$

gdje je:

- V = isparavanje
- g = debljina uzduha
- K = Karmanova konstanta (0,38)
- q = specifična vlažnost
- v = brzina vjetra
- z = visina mjerenja
- d = koeficijent hrapavosti, koji se određuje posebnom formulom na osnovu mjerenja brzine vjetra na dva nivoa.

Indeks 1 odnosi se na donji a indeks 2 na gornji nivo iznad zemljine površine.

Razlika specifične vlažnosti je pri manjim visinskim razlikama blizu zemljine površine proporcionalna razlici pritiska vodene pare ($e_2 - e_1$).

Metoda bilanse energije. Po ovoj metodi isparavanje se izračunava iz pojedinih komponenata zračenja. Ona se na kraju svodi na rješavanje jednadžbe:

$$E = H - K$$

gdje je:

- E = isparavanje
- H = zaliha toplote
- K = energija upotrebljena za zagrijavanje uzduha.

Zaliha toplote H izračunava se pomoću formule u koju ulazi sunčeva radijacija (direktna i difuzna) i onaj njezin dio koji se odmah reflektira od zemljine površine kao i povratno zračenje zemlje. Jedinice energije se lako pretvaraju u milimetre, kada se zna da je potrebno 590 kalorija za isparavanje 1 grama vode.

Kombinirana metoda. Obje naprijed iznijete metode mogu se kombinirati, kao što je to učinio Penman. Njegova konačna formula glasi:

$$V = \frac{2\Delta H + V_a}{2\Delta + 1}$$

gdje je:

- V = isparavanje
- Δ = nagib krive zasićenja vodene pare pri temperaturi T
- H = zaliha toplote
- V_a = koeficijent transporta pare.

Veličine H i V_a određuju se posebnim formulama, u kojima se svi elementi mogu dobiti iz redovnih klimatoloških promatranja.

Penmanova formula daje potencijalno isparavanje sa vodenih površina, a množenjem sa određenim faktorom, koji se mijenja u toku godine, dobiva se potencijalno isparavanje zemljine površine pokrivene vegetacijom. Ovaj faktor iznosi za period od novembra do februara 0,6, za mart, april, septembar i oktobar 0,7, a za period od maja do augusta 0,8.

Metode izračunavanja isparavanja na osnovu klimatoloških podataka. Ovakve metode, koje se obično baziraju na empiričkim formulama, nastale su kao potreba za poznavanjem veličine isparavanja i u onim oblastima, gdje postavljanje instrumenata za mjerenje istog, iz bilo kojeg razloga nije moguće, ili kao potvrda i kontrola već postojećim instrumentima. One imaju i tu prednost što se isparavanje može izračunati i za protekli vremenski period i tako naknadno obraditi neki interesantan period. Najpoznatije metode, koje su u praksi već našle svoju primjenu, su slijedeće: Penmanova, koju smo već naprijed iznijeli, Albrechtova, Haudeova i Thornthwaiteova. Sve ove metode daju potencijalno isparavanje izuzev Thornthwaiteove, koja osim potencijalnog daje i stvarno isparavanje. One se odnose na tlo sa vegetacijom.

Albrechtova metoda. Kako se u novije vrijeme obraća sve veća pažnja na deficit zasićenosti uzduha, to je i Albrecht (1940) uzeo ovaj elemenat kao osnovu za svoju metodu. On izračunava mjesečno potencijalno isparavanje po jednadžbi:

$$V' = F (E - e)$$

gdje je:

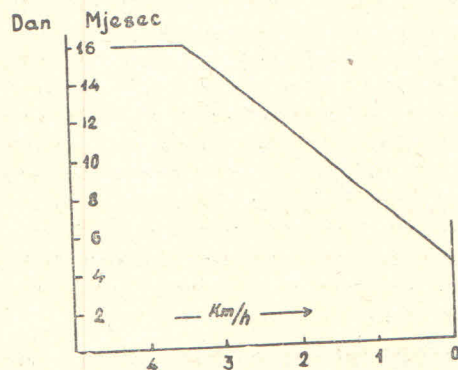
V' = isparavanje u mm/mjesec

E = srednji mjesečni maksimalni pritisak vodene pare u uzduhu

e = srednji mjesečni pritisak vodene pare

F = faktor, koji zavisi od brzine vjetra (kod manjih brzina vjetra on ima manje vrijednosti i obratno).

Za određivanje faktora F služi dijagram na slici 1, koji se sa dovoljno točnosti može upotrebiti u praksi.



Slika 1. Dijagram za određivanje faktora F

Ako želimo dobiti dnevne vrijednosti potencijalnog isparavanja, tada se za E i e uzimaju srednje dnevne vrijednosti, a vrijednost faktora F dijeli se sa brojem dana u mjesecu.

Haudeova metoda. I Haude se oslanja isključivo na deficit zasićenja ($E - e$), samo on upotrebljava vrijednosti za E (maksimalni pritisak vodene pare i e (pritisak vodene pare) od 14 časova, smatrajući da su one najbitnije za dnevno isparavanje, obzirom da tada temperatura uzduha ima najvišu, a relativna vlažnost najmanju vrijednost, a kao što je poznato ova dva klimatska elementa najviše utiču na isparavanje. Deficit zasićenja ($E - e$). Haude množi sa koeficijentima koji se mijenjaju od mjeseca do mjeseca. Iako je Haude 1952. dao nove koeficijente, mi ćemo ovdje navesti i stare.

	Stari koeficijenti	Novi koeficijenti
Period od oktobra do aprila	0,3	0,28
maj	0,36	0,38
juni i juli	0,38	juni 0,43
		juli 0,44
august	0,36	0,3
septembar	0,33	0,3

Ova metoda je veoma jednostavna, a ispitivanja u Njemačkoj pokazala su da su vrijednosti dobivene po ovoj metodi približne stvarnima.

Thornthwaiteova metoda. Od svih metoda na najveću primjenu na svim kontinentima naišla je metoda Thornthwaitea. Ona daje široku skalu elemenata vlažnosti, koji se izračunavaju na osnovu poznatih klimatoloških elemenata temperature i oborina. To su: potencijalna i stvarna evapotranspiracija (jer je u obzir uzeto zemljište pokriveno vegetacijom), manjak i višak vlage u zemljištu i površinsko oticanje (od kiše i od snijega). Na osnovu ovih podataka mogu se izračunati indeksi aridnosti i humidnosti, čiji je međusobni odnos dat u klimatskom pokazatelju, na osnovu kojega Thornthwaite daje svoju poznatu klimatsku klasifikaciju. Metoda je pretrpjela izvjesne korekcije i dopune od strane samog autora, tako da se njezin posljednji i najnoviji oblik, dat 1955. godine, znatno razlikuje od metode iz 1958. godine, koja je kod nas već bila primijenjena od strane nekih stručnjaka. Nova metoda je znatno bliža prirodnim uslovima i daje bolje rezultate. Za razliku od ranije metode, on uzima u obzir i retencioni kapacitet zemljišta, dopuštajući da on, kao i u prirodnim uslovima, varira od mjesta do mjesta, u zavisnosti u prvom redu od tipa zemljišta. Ranija metoda odnosila se na neko srednje tlo, koje u prirodi ne postoji, smatrajući da je ono uvijek zasićeno kada u zemljištu postoji zaliha vode od 100 mm.

Kako nas ovdje interesira samo pitanje isparavanja, to će detaljni prikaz drugih elemenata ove metode biti ovdje izostavljen.

Razrada ove metode po svim elementima i sa primjerima predstavljala bi poseban rad.

Thornthwaite izračunava potencijalnu evapotranspiraciju na osnovu srednje temperature željenog perioda. Obično se za period uzima jedan mjesec, iako se postupak odnosi i na manje periode, kao što je jedan dan, samo što se onda umjesto srednje mjesečne temperature uzima srednja dnevna temperatura. Prvi korak je izračunavanje mjesečnog kaloričnog indeksa (i) na osnovu srednje mjesečne temperature, koja se vrši po formuli:

$$i = \left(\frac{t \text{ } ^\circ\text{C}}{5} \right)^{1.514}$$

Pošto ovakovo izračunavanje iziskuje dosta vremena, sastavljena je tabela za temperaturnu skalu od 0° do 40° C, iz koje se mogu odmah vršiti čitanja. Za negativne temperature kalorični indeks je nula.

Slijedeći korak je izračunavanje godišnjeg kaloričnog indeksa I , koji je jednak zbiru mjesečnih indeksa:

$$I = \sum_1^{12} i$$

Odnos između srednje mjesečne temperature i potencijalne evapotranspiracije može se predstaviti slijedećom jednačinom

$$PE = 16 \left(\frac{10 t}{I} \right)^a$$

gdje je

$$a = 0,0000006571 I^3 - 0,0000771 I^2 + 0,01792 I + 0,49239$$

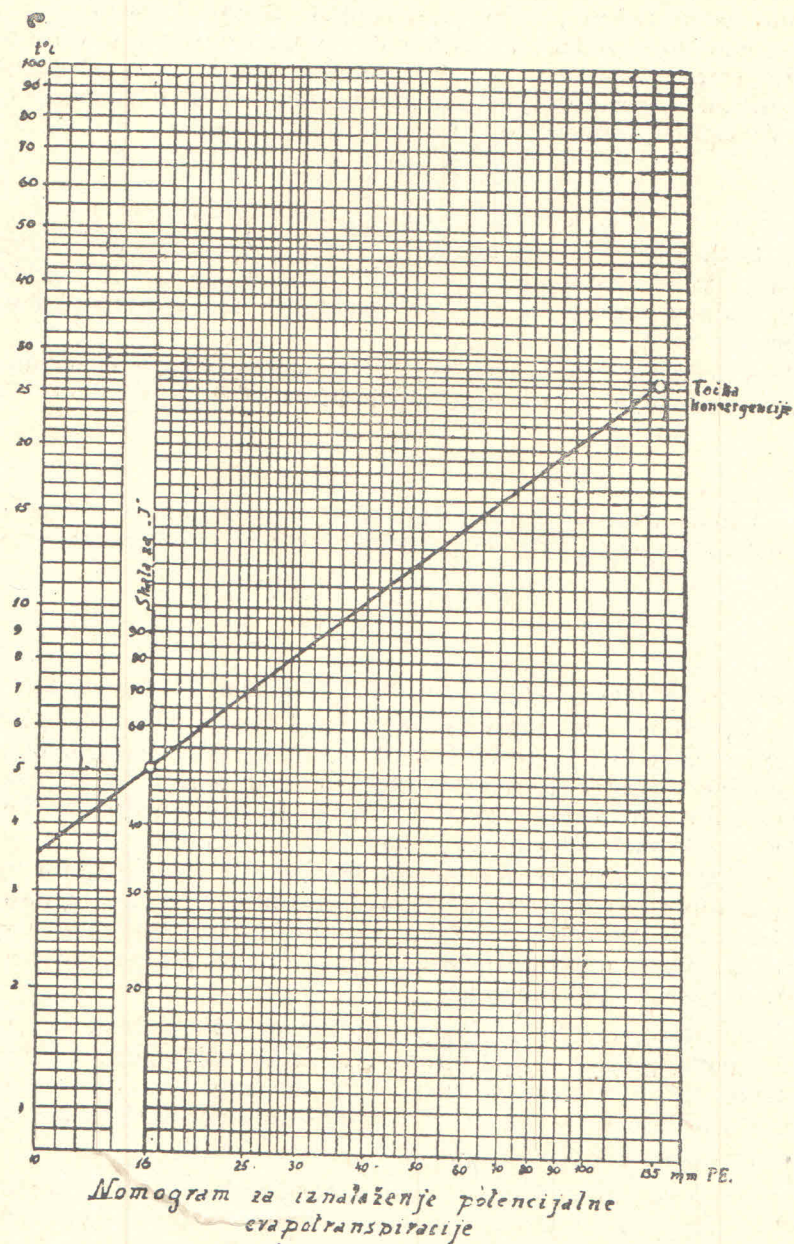
Upotreba ove formule je teška i bez nomograma (slika 2) gotovo neizvediva. Između logaritma temperature i logaritma potencijalne evapotranspiracije postoji linearan odnos. On je prikazan ravnim linijama koje prolaze kroz točku konvergencije ($T = 26,5^\circ$ C i $PE = 135$ mm) i točku na I skali ($PE = 16$ mm).

Pošto je točka konvergencije stalna, a znajući toplotni indeks I , spajanjem ove dvije točke dobiva se linija (vidi nomogram), pomoću koje se za svaku srednju mjesečnu temperaturu na ordinati, može pročitati odgovarajuća vrijednost nekorigirane potencijalne evapotranspiracije na apscisi.

Korigirana potencijalna evapotranspiracija dobiva se množenjem nekorigirane sa korigiranim faktorom za odgovarajuću geografsku širinu mjesta. Korigirani faktor odgovara mogućem trajanju osunčavanja i izražen je u jedinicama od 30 dana po 12 sati. On je prikazan u obliku tablice.

Izračunavanje stvarne evapotranspiracije po ovoj metodi je jednostavno. Za mjesec, kada su oborine veće od potencijalne evapotranspiracije, stvarna evapotranspiracija je jednaka potencijalnoj. Kada su oborine manje od potencijalne evapotranspiracije

zemljište počinje da se suši i stvarna evapotranspiracija je manja od potencijalne. U takvim mjesecima, stvarna evapotranspiracija je jednaka oborinama plus promjena vlage u zemljištu, koja se također dobiva po ovoj metodi.



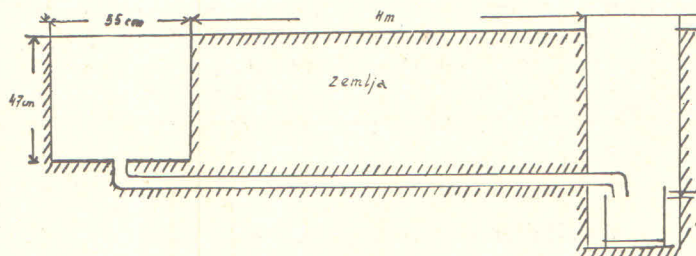
Slika 2. Nomogram za izračunavanje potencijalne evapotranspiracije

Potrebno je naglasiti da za izračunavanje isparavanja postoji i t. zv. *hidrografska metoda*, pomoću koje se isparavanje dobiva kao razlika oborina i oticanja. Kako se kod nas slabo raspolaže sa podacima oticanja, bilo površinskog ili podzemnog, ova metoda se ne će ovdje iznositi.

MJERENJE ISPARAVANJA ZEMLJIŠTA

Nekoliko naprijed iznijetih metoda pokazale su na koji se način mogu dobiti podaci o isparavanju zemljišta, za kraće ili dulje vremenske periode indirektnim putem bez korišćenja odgovarajućih instrumenata. Da bi se utvrdilo, koja od ovih empiričkih formula daje najbolje rezultate za odgovarajuće klimatsko područje, potrebno je raspolagati s podacima dobijenim mjerenjima. Svakako da se mjereni podaci ne mogu uzeti kao apsolutno točni, jer zasada ne postoji ni apsolutan instrument za mjerenje isparavanja. Ali i ove relativne vrijednosti mjerenja mogu veoma korisno poslužiti praksi.

Za mjerenje isparavanja zemljišta služe evaporimetri, evapotranspirometri i lizimetri. Prva dva daju potencijalne, a posljednji stvarne vrijednosti isparavanja. Za mjerenje evaporacije ili evapotranspiracije zemljišta pokrivenog vegetacijom, kod nas su u upotrebi Garnierov i Thornthwaiteov evaporimetar i evapotranspirometar. To su novi instrumenti koji su zasada još u toku ispitivanja i postavljeni su na agrometeorološkoj istraživačkoj stanici Zemun-Polje.



Slika 3. Garnierov evaporimetar (shema)

Garnierov evaporimetar (slika 3) je jedna posuda u obliku valjka sa otvorom na dnu i sa odvodnom cijevi, koja spaja ovu posudu s jednom drugom, koja služi za skupljanje procijeđene vode. Posuda se ukopa u zemlju, a odvodna cijev se kroz zemlju sprovede do posude za skupljanje vode (najbolje menzure) koja se nalazi u šahtu, posebno iskopanom za tu svrhu. U posudu se najprije stavi tanak sloj šljunka koji služi kao filter, a potom se puni zemljom. Prije početka mjerenja u posudu se nalije onoliko vode koliko je potrebno da zemljište, nakon ocjeđivanja gravitacione vode, bude na svom poljskom kapacitetu. Mjerenja se sastoje u svakodnevnom dolijevanju vode pomoću graduirane posude (kako bi se znalo koliko se vode nalije), a koje je najbolje vršiti u ranim jutarnjim satima

kada je isparavanje najmanje. Pošto se svakodnevno mjeri i količina procjeđene vode, to se dnevna količina isparavanja dobija po formuli:

$$PE = P + Vd - Vp$$

gdje je:

PE = potencijalna evaporacija

P = količina oborina

Vd = količina dodane vode

Vp = količina procjeđene vode

Veličine V i V izražene su u cm^3 , te se prethodno moraju pretvoriti u milimetre.

Ako je zemljište u posudi golo onda evaporimetar daje vrijednosti potencijalne evaporacije, a ako je pod vegetacijom, evaporimetar odnosno u ovom slučaju evapotranspirometar daje vrijednosti potencijalne transpiracije. Na stanici u Zemun-Polju postavljen je jedan evaporimetar i jedan evapotranspirometar od Garniera.

Thornthwaiteov evapotranspirometar konstruirao je Thornthwaite 1945 godine. On se sastoji iz 3 osnovna dijela: 1) čeličnog tanka napunjenog zemljom, površine 4 kvadratna metra i dubine 70 cm, 2) posude za dovod vode, posude za odvod vode i posude sa stalnim nivoom vode i mehanizmom za kontrolu nivoa vode u tanku sa zemljom i 3) metalne cijevi, duge oko 8 metara, koja vezuje posudu sa tankom. Tank se ukopa u zemlju, a ostali dijelovi nalaze se u šahtu, udaljenom za dužinu vezne cijevi. Voda u tanku, po zakonu o spojenim posudama, nalazi se na istom nivou kao u posudi, odnosno 15 cm iznad dna tanka. Mjerenja se sastoje u očitavanju nivoa vode u posudi i određivanju količine procjeđene vode. Dnevna količina isparavanja dobija se po formuli:

$$PE = P + Rn - Vp$$

gdje je:

PE = potencijalna evapotranspiracija

P = oborina za 24 sata

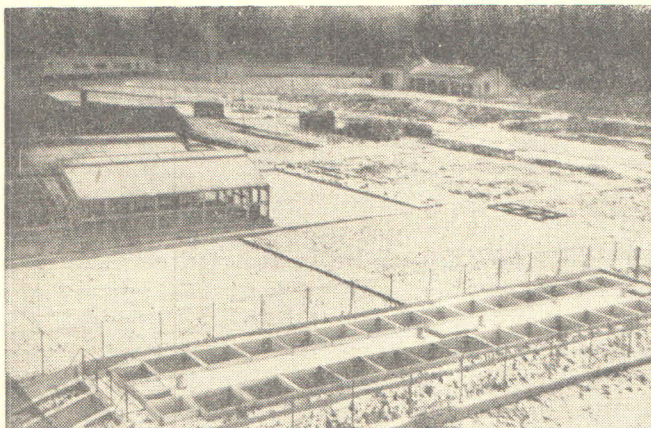
Rn = razlika u nivou vode u posudi (C) od jučer do danas

Vp = količina procjeđene vode za 24 sata

Veličine Rn i Vp, izražene prvobitno u kubnim centimetrima, moraju se pretvoriti u milimetre, da bi sve veličine bile izražene u istim jedinicama.

Lizimetri. Da bi se instrumenti za mjerenje isparavanja približili što više prirodnim uslovima i dali stvarne vrijednosti isparavanja, oni moraju prije svega biti jednostavne konstrukcije koja omogućuje lako rukovanje. Takvi instrumenti su lizimetri, koji su još 1688. godine upotrebljavani za eksperimentalni rad. U početku oni su većinom bili upotrebljavani za mjerenje količine i brzine procjeđivanja, a tek kasnije i za određivanje stvarnog isparavanja prirodnog tla.

Kasete lizimetara mogu biti raznih dimenzija što zavisi od njihove namjene. Oni mogu poslužiti za različite ciljeve. Ako se uzmu kasete različite dubine napunjene istim tipom zemljišta, dobiju se podaci o brzini prodiranja vode kod istih klimatskih uslova. Kasete iste dubine, napunjene različitim tipovima zemljišta sa različitom vegetacijom daju mnogobrojne podatke o uticaju tipa zemljišta i vrste vegetacije na procjeđivanje. Lizimetri pružaju mogućnost da se ispita moć prečišćavanja vode različitih tipova zemljišta kao i niz drugih problema iz oblasti hidropedologije. Na slici 4 prikazane su lizimetarske parcele u Centru za istraživanja iz oblasti poljoprivrede u Versaille-u.



Slika 4. Lizimetarske parcele u Centru za istraživanja iz oblasti poljoprivrede u Versaille-u

Ako pak pomoću lizimetara hoćemo dobiti podatke o isparavanju i promjeni zemljišne vlage, onda se oni moraju mjeriti. Pošto su težine kasete kod većih lizimetara velike (na tone), a moraju se mjeriti i male promjene težine, to i sama konstrukcija uređaja koji su za tu svrhu potrebni iziskuje znatne materijalne troškove.. Zbog toga su obično u upotrebi mali lizimetri, lako mjerljivi.

Isparavanje pomoću lizimetara dobiva se po formuli:

$$E = P - R$$

gdje je:

E = isparavanje

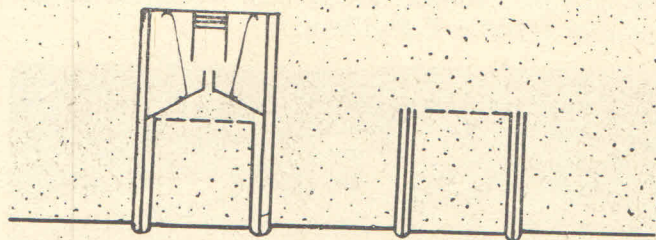
P = oborine

R = procjeđivanje

Pokusima je ustanovljeno da su lizimetri pogodni instrumenti u onim rajonima gdje su oborine veće od isparavanja, dok su za suhe klime nepodesni.

U našoj zemlji stvarno isparavanje zemljišta mjeri se zasada samo pomoću *isparitelja Popov* ili kako ga Nijemci još zovu »Kleinsimeter«. On nije apsolutan instrument i vrijednosti dobivene

njime predstavljaju samo realno mjerilo evaporacione moći zemljišta do 25 cm dubine. Kao i drugi instrumenti za mjerenje isparavanja zemljišta tako i isparitelj Popov daje nerealne vrijednosti za vrijeme jakih pljuskovitih oborina. No, kako je baš kod takve vremenske situacije isparavanje svedeno na minimum i kao takvo od malog značaja za praksu, to ovaj tehnički nedostatak instrumenta ne predstavlja prepreku za njegovu praktičnu primjenu.



Slika 5. Shema isparitelja Popov

Isparitelj Popov (slika 5) je veoma jednostavne konstrukcije. Sastoji se iz tri para cilindara, od kojih je svaki sastavljen od jednog spoljašnjeg i jednog unutrašnjeg cilindra. Svi unutrašnji cilindri su istih dimenzija i napunjeni su zemljom (monolitom). Dva spoljašnja cilindra su također istih dimenzija i imaju sitasto dno dok je treći (koji igra ulogu evaporimetra) dublji i sa normalnim dnom. Sva tri spoljašnja cilindra ukopaju se u zemlju, na rastojanju od 1 m u obliku istostraničnog trokuta, a u njih se stave unutrašnji cilindri sa sitastim dnom, koji su napunjeni zemljom. U jedan od spoljašnjih cilindara (najdublji) stavi se prvo posuda za hvatanje procjeđene vode, zatim lijevak napunjen šljunkom različite veličine koji služi kao filter, i najzad unutrašnji cilindar sa zemljom. Princip mjerenja sastoji se u svakodnevnom određivanju težine sva tri unutrašnja cilindra, lijevka sa šljunkom i mjerenju procjeđene vode. Na slici 6 prikazano je mjerenje jednog unutrašnjeg cilindra.

Isparavanje se dobiva po formuli:

$$i = R - b - 1 - p$$

gdje je:

i = isparavanje za 24 sata

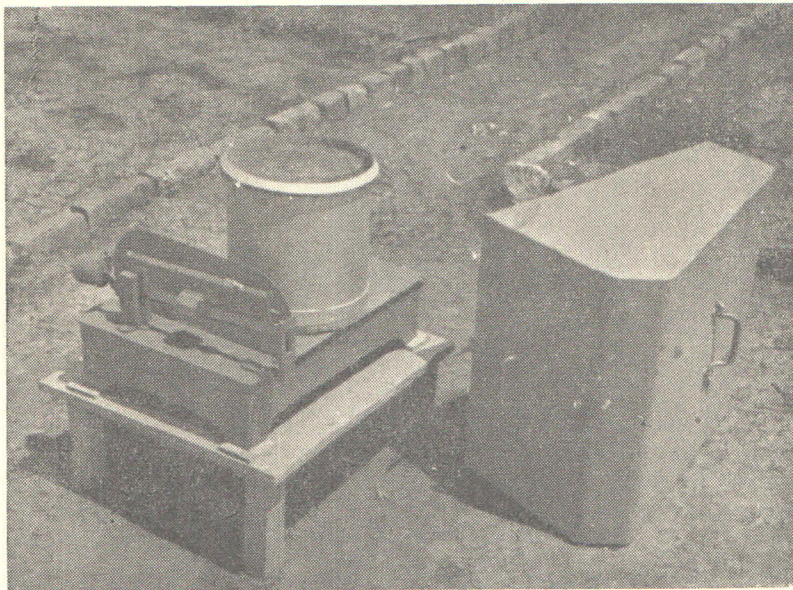
R = oborine

b = promjena težine od jučer do danas unutrašnjeg cilindra koji je bio u evaporimetarskom položaju

L = porast težine lijevka od jučer do danas

p = količina procjeđene vode

Kod isparitelja Popov zemljište nije potpuno izolirano od prirodnog tla. Kao što je već rečeno, gotovo svi cilindri imaju sitasto dno, koje im donekle omogućava kontakt sa prirodnim zemljištem. Jedan par cilindara nalazi se stalno u t. zv. lizimetarskom položaju, dok se unutrašnji cilindri druga dva para smjenjuju. Svaki



Slika 6. Mjerenje unutrašnjeg cilindra isparitelja Popov

od ovih unutrašnjih cilindara nalazi se 24 sata u prirodnim uslovima odnosno u lizimetarskom položaju, a 24 sata je odvojen od okolnog zemljišta, jer se nalazi u dubljem spoljašnjem cilindru odnosno u evaporimetarskom položaju. Zamjena ovih unutrašnjih cilindara vrši se svakog jutra prilikom mjerenja njihove težine.

REZULTATI MJERENJA STVARNOG ISPARAVANJA ZEMLJIŠTA

U junu 1953. godine postavljen je na agrometeorološkoj istraživačkoj stanici Zemun-Polje isparitelj Popov, prvi instrumenat za mjerenje stvarnog isparavanja zemljišta u našoj zemlji. Od tada pa do danas mjerenja se vrše redovno, svakog dana, u periodu od maja do oktobra. Samo 1953. i 1954. godine mjerenja su počela mjesec dana kasnije, t. j. u junu.

Ovdje će se ukratko iznijeti i prodiskutirati rezultati mjerenja u periodu 1953.—1957.

Klima ove stanice ima stepski karakter, koji je prema srednjoj godišnjoj temperaturi izrazitiji, a prema godišnjoj količini oborina ublažen.

Najveće količine oborina nastaju sredinom vegetacionog perioda (juni, juli). Preko ljeta prevladava umjeren vjetar iz sjeverozapadnog pravca, a u proljeće (mart) i krajem jeseni (oktobar i novembar) jaka košava.

U tabeli 1. iznijete su mjesečne količine isparavanja i oborina u mm, za period 1953.—1957.

Tabela 1. Mjesečne količine isparavanja i oborina

		V	VI	VII	VIII	IX	X
1953	I	—	145,4	109,5	63,6	32,4	17,3
	P	—	161,4	137,4	90,3	18,8	18,7
1954	I	—	94,0	48,2	61,4	34,7	53,3
	P	—	115,3	26,6	99,0	51,1	68,7
1955	I	37,0	46,5	94,9	52,5	27,5	35,9
	P	49,6	52,6	104,5	84,0	84,6	66,7
1956	I	64,2	138,4	35,5	20,0	9,5	17,9
	P	79,1	216,1	12,7	15,3	11,2	35,1
1957	I	111,2	38,3	132,2	22,1	43,6	23,0
	P	183,1	31,0	147,8	20,5	63,6	42,3

Iz tabele 1. se vidi da se maksimalne mjesečne količine isparavanja u svih pet godina javljaju u istim mjesecima kada i maksimalne sume oborina (juni, juli), što jasno ukazuje na zavisnost isparavanja zemljišta, u prvom redu, od oborina, a zatim od visokih temperatura u ovim ljetnim mjesecima i koje pojačavaju isparavanje sa vlažnog tla.

Najmanje mjesečne količine isparavanja ne padaju uvijek na mjesec sa najmanjom količinom oborina, kao što je slučaj 1954. i 1955. godine. U ovim godinama isparavanje je bilo najmanje u septembru, mada je najmanje kiše palo u julu, odnosno u maju. U ovom slučaju prevladavao je drugi važni faktor — temperatura. Pad temperature prema jeseni doveo je do smanjenog isparavanja.

Grafički prikaz mjesečne sume isparavanja i oborina dat je na slici 8.

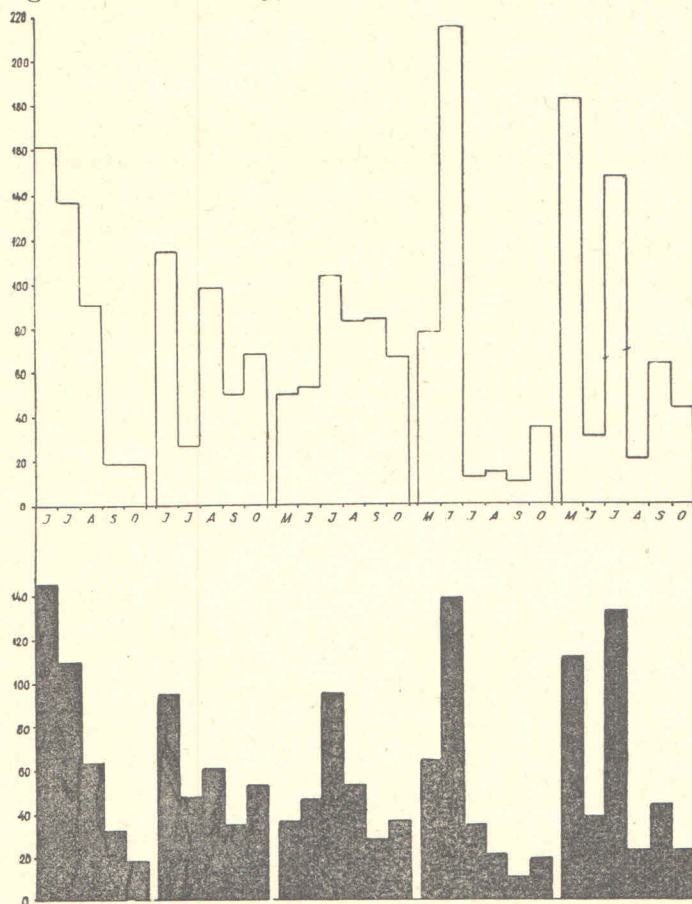
Vrijednosti isparavanja izražene u procentima oborina prikazane su u tabeli 2.

	V	VI	VII	VIII	IX	X
1953	—	90	80	70	172	92
1954	—	81	181	62	67	77
1955	74	88	91	62	32	52
1956	81	64	279	131	85	51
1957	66	124	89	108	68	54

Ako analiziramo ove podatke po godinama vidimo da je u septembru 1953. isparilo 72% više vode, nego što je palo u obliku kiše. Uzrok tome su velike količine kiše koje su pale u trećoj dekadi augusta i koje su jako navlažile zemljište, tako da je uslijed rela-

tivno visokih temperatura u septembru isparivanje u ovom mjesecu bilo pojačano u toj mjeri, da je mjesečna suma isparavanja bila veća od mjesečne sume oborina.

U julu 1954. količina isparene vode iz zemljišta bila je za 81% veća od pale količine kiše. To je posljedica jako vlažnog juna u kojem su pale obilne količine kiše (115,3 mm), te se gubitak vode sa vlažnog tla nastavio i u julu.



Slika 7. Mjesečne sume isparavanja i oborina za period 1953.—1957. godine

Najveći procenat od pale količine kiše ispario se u julu 1955. i iznosi 91%. Tada su vladali optimalni vremenski uslovi za isparavanja, naime visoka temperatura i dovoljno oborina. Inače, u prvoj polovici promatranog perioda, kada su temperature bile u porastu, procenat isparene vode od oborina je bio veći nego u drugoj, hladnijoj polovini perioda.

I u 1956. i 1957. godini isparavanje premašuje palu količinu kiše u mjesecima kojima su prethodile jake oborine. To je slučaj u

julu (za 179%) i augustu (za 31%) 1956., poslije obilnih junskih oborina (216,1 mm); i 1957. u junu (oborine u maju 183,1 mm) i augustu (u julu palo 147,8 mm). Kao što je već ranije rečeno, obilne oborine znatno povećavaju vlažnost zemljišta, što se odražava na povećanju isparavanja zemljišta u slijedećem mjesecu.

U toku cijelog perioda mjerenja, od maja odnosno juna do oktobra, isparilo se je u pojedinim godinama:

1953	368,2 mm = 86% od oborina
1954	291,6 mm = 81% od oborina
1955	294,3 mm = 67% od oborina
1956	285,5 mm = 77% od oborina
1957	370,4 mm = 76% od oborina

Iz ovog pregleda se vidi da se putem isparavanja veliki procenat vode vraća natrag u atmosferu. Time se može objasniti i pojava, da za vrijeme ljetnih mjeseci zemljište i biljni pokrivač na njemu mogu trpjeti od suše i pored dovoljnih količina kiše koje padaju u to vrijeme. Ovo je naročito potencirano pri visokim temperaturama, velikom deficitu vlage u uzduhu i vjetrovima.

Literatura

1. *Albrecht, F.*: Die Methoden zur Bestimmung der Verdunstung der natürlichen Erdoberfläche, Archiv für Meteor. Geoph. und Bioklim., Serie B, Band II, 1951.
2. *Burgos, J.*: Kratak kurs iz agrometeorologije, predavanja održana 1953. u Beogradu.
3. *Friedrich, W.*: Über die Verdunstung von Erdboden, Das Gas- und Wasserfach, Heft 24, München, 1950.
4. *Haude, W.*: Zur praktischen Bestimmung der aktuellen und potentiellen Evaporation und Evapstranspiration, Mitt. Dt. Wetterd. No 8, Bad Kissingen, 1954.
5. *Haude, W.*: Verdunstungsmenge und Evaporationskraft eines Klimas, Ber. Dt. Wetterd. US-Zone, No 42, 1952.
6. *Mather, R. J.*: Manual of evapotranspiration, Micrometeorology of the surface layer of the atmosphere, Interim. Rep. the John Hepkins, Univ., No 10, 1950.
7. *Milosavljević, M.*: Meteorologija, Beograd, 1953.
8. *Otorepec, S. i Tomić Lj.*: O rezultatima isparavanja i procjeđivanja vode u zemljištu na agrometeorološkoj istraživačkoj stanici Zemun-Polje mjerjenjem instrumentom Popov 1953.—1954. god., referat pročitani na I. Kongresu Jugoslav. društva za proučavanje zemljišta, Portorož, 1955., u štampi.
9. *Reichel, E.*: Der Stand der Verdunstungsproblems, Ber. Dt. Wetterd. US-Zone 35, 1951.
10. *Schubach, K.*: Wasserhaushaltuntersuchungen an verschiedenen Bodenarten unter besonderer Berücksichtigung der Verdunstung (nach Methode Popoff), Ber. Dt. Wetterd. US-Zone, No 40, 1952.
11. *Thorntwaite, C. W. and Benjamin Holzan*: Measurement of evaporation from Land and water surfaces, Washington, 1942.
12. *Thorntwaite, C. W. and Benjamin Holzan*: The determination of evaporation from land and water surfaces, Washington, 1939.
13. *Uhlig, S.*: Berechnung der Verdunstung aus klimatologischen Daten, Mitt. Dt. Wetterd., No 6, 1954.
14. *Uhlig, S.*: Die Agrarmeteorologie in Grossbritannien, Dt. Wetterd., Bad Kissingen.