

SAVREMENA ANALIZA POTREBNIH KOLIČINA VODE ZA NAVODNJAVAČE

Prof. dr Dimitrije AVAKUMOVIĆ¹, Prof. dr Ružica STRIČEVIĆ², Doc. dr Nevenka ĐUROVIĆ²,
Doc. dr Miloš STANIĆ¹, Doc. dr Tina DAŠIĆ¹, Mr Vesna ĐUKIĆ³

1. Građevinski fakultet, Beograd, 2. Poljoprivredni fakultet, Beograd, 3. Šumarski fakultet, Beograd

REZIME

U radu se obrađuje proračun potrebnih količina vode za navodnjavanje. Na osnovu jednačine vodnog bilansa uspostavlja se veza između prihoda i rashoda vode i određuju se potrebe za navodnjavanjem. Osim ove jednačine, u ovom radu se potrebe za navodnjavanjem određuju i pomoću proračuna padova prinosa gajenih useva na različitim vrstama zemljišta. Za ovaj slučaj u radu je primenjen model CROPWAT. U radu je, takođe, prikazan i savremen način odtređivanja efektivnih padavina i evapotranspiracije, kao glavnih komponenata vodnog bilansa, a u cilju proračuna potrebnih količina vode, tj. norme navodnjavanja.

Ključne reči: bilansna jednačina, navodnjavanje, CROPWAT, pad prinosa, norma navodnjavanja.

1. UVOD

Na navodnjavanju zemljištima potrebno je stvoriti i regulisati povoljan vodni režim u toku vegetacionog perioda za razne faze razvoja biljaka u datim klimatskim, zemljišnim i agrotehničkim uslovima. To se postiže primenom odgovarajućeg režima i tehnike navodnjavanja.

Režim navodnjavanja mora da zadovolji sledeće zahteve:

- da je usaglašen sa potrebama biljake za vodom u svakoj njenoj fazi razvoja pri ekonomičnom iskorišćenju vode za navodnjavanje za dobijanje visokih prinosa i obezbeđenje potrebnih rokova sazrevanja pri određenoj agrotehnici;
- da utiče na povišenje proizvodne sposobnosti navodnjavanog zemljišta, ne dozvoljavajući njegovu eroziju, zabarivanje i zasoljavanje.

U zavisnosti od promena klimatskih, poljoprivrednih i agrotehničkih uslova režim navodnjavanja biljaka menja

se u toku godine, a takođe, i u pojedinim njegovim periodima. Za projektovanje sistema za navodnjavanje potrebno je poznavati sve moguće promene, kao i ukupnu količinu vode za svaku kulturu u toku vegetacionog perioda.

Režim navodnjavanja računa se sledećim redosledom:

- određuju se rokovi i trajanje vegetacije kultura;
- određuje se evapotranspiracija biljaka i njena promena u toku vegetacionog perioda;
- određuje se dubina aktivnog sloja zemljišta u raznim fazama razvoja određene kulture;
- određuje se prirodna zaliha vode za kulturu i njena dinamika u vegetacionom periodu (početne rezerve vode u zemljištu, podzemna voda) u aktivnom sloju zemljišta;
- određuje se veličina i raspodela atmosferskih padavina, naročito, efektivnih padavina, koje dolaze u zemljište i koje biljka može iskoristiti u toku godine i u toku vegetacionog perioda i njihova promena po godinama;
- određuje se potrošnja vode i njena dinamika ili veličina norme navodnjavanja za kulture, kao i dinamika promene dnevne potrošnje vode određene kulture po fazama njenog razvoja;
- određuje se norma zalivanja za različite faze razvitka biljaka;
- određuju se rokovi i turnusi zalivanja;
- određuju se dozvoljene donje, odnosno, gornje granice vlažnosti u aktivnom sloju zemljišta u kojim treba da se kreće dostupna voda za biljke u toku vegetacionog perioda (u raznim njihovim fazama razvoja).

2. VODNI BILANS

Kod projektovanja hidromelioracionih sistema potrebno je proučiti vodni bilans tog područja, koji odražava postojeće odnose u prirodi između prihoda i rashoda vode i predstavlja karakteristiku vodnih resursa

izučavane teritorije. Pomoću analize vodnog bilansa u postojećim i projektnim uslovima mogu se, za usvojen vremenski period, odrediti promene rezervi površinske i podzemne vode, a isto tako i opterećenje drenaže, kao i potrebne količine vode za navodnjavanje i niz drugih praktičnih problema.

Jednačine vodnog bilansa, određene na osnovu teorije razmene mase u sistemu biljka - zemljište - prizemni vazduh, odražavaju zakone održanja materije u prirodi i karakterišu proces kruženja vode u prirodi. U zavisnosti od prilaza teoriji, a takođe, od karaktera razmatranih problema, mogu se koristiti različiti oblici jednačine bilansa na utvrđenom ograničenom prostranstvu za unapred zadati interval vremena.

Za navodnjavanje i odvodnjavanje, najveći značaj ima stanje vode u nezasićenoj sredini (zona aeracije), koja predstavlja gornji sloj zemljišta, od njegove površine do nivoa podzemne vode. Vodni režim i bilans vode u ovoj zoni, uporedo sa površinskom i podzemnom vodom je predmet kompleksnog vodno - bilansnog proračuna. Voda u nezasićenoj sredini je tesno povezana sa atmosferom, odnosno, sa atmosferskim padavinama, deficitom vlažnosti vazduha itd. Izučavanjem genetičke veze bilansa i migracije vode u ovoj zoni, sa bilansom i dinamikom površinske i podzemne vode, može se oceniti uloga tih voda u snabdevanju aktivnog sloja zemljišta.

Potrebno je sprovesti kompleksno proučavanje režima podzemne i površinske vode, a takođe, bilansa vode na površini, u zoni aeracije i u podzemnom toku, sa analizom uzajamnih veza između ovih zona. U pojedinim etapama, proučavanje se može ograničiti na jedan od ovih bilansa ili sprovesti kompleksni vodno - bilansni proračun svih zona - atmosfere, zone aeracije i podzemne hidrosfere.

Osnovna pitanja razmatranog proučavanja su:

- Određivanje zaliha vode u zoni aeracije i njihova promena u vremenu;
- Sastavljanje bilansa vode u zoni aeracije i razjašnjenje njegove veze sa bilansom date teritorije, sastavljanje sheme kretanja vode u zoni aeracije.

Vodni bilans zemljišta u suštini predstavlja skup svih komponenata prihoda i rashoda vode u njemu za određeni vremenski interval i može se napisati u obliku [1]:

$$\Delta V = P_r - R \quad (1)$$

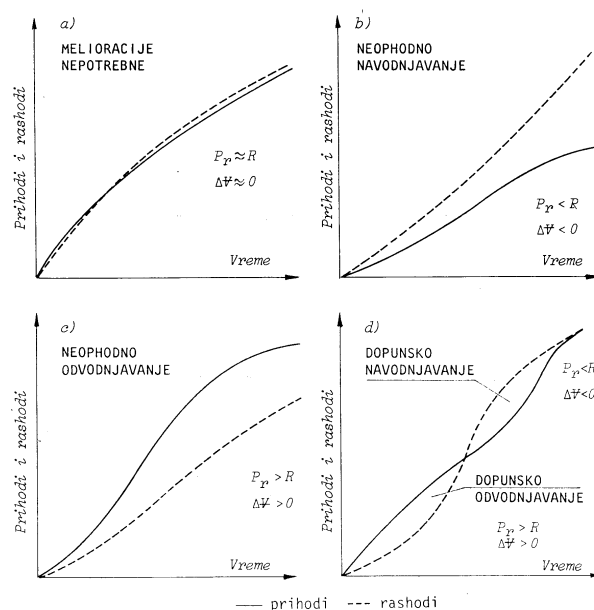
Biljka u toku života troši vodu i stvara biljnu masu. Na površinama obraslim poljoprivrednim kulturama voda se troši na evapotranspiraciju, površinsko i podzemno oticanje van aktivnog sloja u dublje slojeve, odnosno, van posmatranog područja i nedostupna je biljci. Potrošači vode su i zemljišna mikroflora i mikrofauna. Svi ovi rashodi vode u uzetom vremenskom intervalu t , obeleženi su sa R . Ove veličine su sume utroška po vremenu i zavise od trajanja perioda u kome se sumiraju (integralna kriva rashoda).

Prihodi vode na posmatranom zemljištu u istom vremenskom intervalu t potiču od padavina i doticaja vode sa strane i iz podzemlja. Takođe, se ovi prihodi sumiraju po vremenu, kao i vodni rashodi i obeleženi su sa P_r (integralna kriva prihoda).

Biljka je glavni potrošač vode. Svi prihodi i rashodi određuju se u zavisnosti od planirane proizvodnje i povezani su sa visinom žetvenog prinosa i imaju određeno praktično značenje samo onda kada su povezani za biljnu proizvodnju.

Potreba za odvodnjavanjem ili navodnjavanjem može se analizirati i pomoću jednačine (1). Na osnovu ove jednačine moguća su tri slučaja (slika 1), bez obzira na trajanje intervala u kome se prihodi i rashodi sumiraju:

1. $\Delta V = 0$; 2. $\Delta V < 0$; 3. $\Delta V > 0$.



Slika 1. Integralne krive prihoda i rashoda vode

U prvom slučaju su hidrotehničke melioracije nepotrebne, jer su prihodi i rashodi ujednačeni: $P_r \approx R$ (slika 1,a). Ovaj slučaj je samo privremen, jer čim se postavi zahtev za povećanje žetvenih prinosa, ova jednakost se narušava.

U drugom slučaju su prihodi stalno manji od rashoda: $P_r < R$ (slika 1,b), pa postoji manjak vode, koji treba nadoknaditi navodnjavanjem.

U trećem slučaju su prihodi stalno veći od rashoda: $P_r > R$ (slika 1,c), pa postoji višak vode, koji traži odvodnjavanje. U slučajevima 2 i 3 nema racionalne poljoprivredne proizvodnje bez dovođenja ili odvođenja vode, pa se zato govori o neophodnom navodnjavanju ili neophodnom odvodnjavanju.

U predelima umerene klime, u subhumidnim predelima, javljaju se najsloženiji slučajevi, jer su prihodi i rashodi promenljivi i može se desiti da je $P_r < R$ i $P_r > R$ (slika 1,d), u zavisnosti od trajanja intervala u kome se isti sumiraju. Vodni režim je nestabilan, pa je u jednom periodu potrebno odvodnjavanje, a u drugom navodnjavanje. Ovde navodnjavanje i odvodnjavanje nisu imperativne mere, kao za drugi i treći slučaj, gde su ove mere neophodne, jer se bez njih ne mogu postići željeni prinosi, nego su dopunsko sredstvo, čija se korisnost ne zapaža uvek neposredno, a i može da se javlja od slučaja do slučaja. U ovom slučaju hidrotehničke mere mogu biti samo dopunske, ako im je cilj da se ostvarljivi prinosi stabilizuju na nekom višem proseku.

Krive prihoda i rashoda vode mogu se prikazati i kroz padove prinosa gajenih useva na različitim tipovima zemljišta. U ovom radu je primenjen model CROPWAT [7] za procenu pada prinosa pšenice, suncokreta, krompira, šećerne repe, soje i kukuruza, uzimajući u obzir klimatske karakteristike Leskovca, Valjeva, Surčina, Smederevske Palanke i Šapca i najzastupljenije tipove zemljišta na tim područjima, lakša zemljišta sa manjim retencionim kapacitetom (aluvijum sa 120 mm/m) i srednje duboka, teža zemljišta (srednji sa 200 mm/m). Predzalična vlažnost je varirala od 75 – 85% od ukupnog retencionog kapaciteta.

3. POLAZNE OSNOVE NA KOJIMA SE ZASNIVA MODEL

Za uticaj vodnog deficita na prinos koriste se takozvani koeficijenti prinosa (k_y). Vodni deficit se određuje iz odnosa stvarne evapotranspiracije (ETa) i maksimalne evapotranspiracije (ETm) i može se dogoditi tokom

čitavog perioda rasta ili pak tokom pojedinih fenofaza rasta (nicanje, nagli porast kulture, cvetanje i plodonošenje i sazrevanje). Vodni deficit u zavisnosti od perioda javljanja može manje ili više da utiče na smanjenje prinosa. Najveća smanjenja prinosa se uočavaju kada se vodni deficit javi u periodu kada je usev najosetljiviji na sušu, a to je za većinu gajenih useva period cvetanja i plodonošenja.

Smanjenje prinosa u odnosu na vodni deficit se može prikazati po fenofazama ili tokom čitave vegetativne sezone. Tako na primer, pad prinosa je proporcionalno manji sa povećanjem vodnog deficita kod lucerke, šafrana i šećerne repe, a mnogo je veći kod kukuruza. Međutim, ako bi se uzela u obzir pojava deficita vode po pojedinim fenofazama rasta i njegov uticaj na prinos tada bi se dobila potpuno drugačija slika. Pad prinosa usled nedostatka vode bio bi neznatan ako bi se pojavio u periodu naglog porasta useva i sazrevanja, ali bi bio veoma intenzivan ako bi se javio u periodu cvetanja i plodonošenja. Zbog toga je pri sagledavanju potreba za navodnjavanjem veoma značajno da se uzmu u obzir periodi javljanja deficita i adekvatni koeficijent prinosa.

$$1 - \frac{Ya}{Y_{\max}} = k_y \cdot \left(1 - \frac{ETa}{ETm} \right) \quad (2)$$

Vrednosti k_y za mnoge biljne vrste su izvedene na osnovu pretpostavke da je odnos relativne evapotranspiracije (odnos stvarne i maksimalne evapotranspiracije) i relativnog prinosa (odnos stvarnog Ya i maksimalnog prinosa Ym) linearan i da je pouzdan sve dok relativna evapotranspiracija ne prelazi 50 %. Vrednosti k_y su zasnovane na eksperimentalnim podacima dobijenim u različitim uslovima gajenja. U eksperimentima su korišćene visokorodne sorte i hibridi u odličnim uslovima gajenja. U tabeli 1 date su orijentacione vrednosti koeficijenata prinosa za neke biljke, preuzete iz literature [3].

Uticaj vodnog deficita na prinos je veoma značajno poznavati, naročito onda kada nema dovoljno raspoložive količine vode za navodnjavanje. Tada se, koristeći te podatke projektuje poseban plodored, u kom bi usevi uz minimalne količine vode za navodnjavanje maksimalno povećali prinose ili pak da se poštujući osetljivost pojedinih fenofaza rasta biljke, intervenišu parcijalnim navodnjavanjem.

Ova tema je od sve većeg interesa danas, jer je globalna politika davanja prioriteta za korišćenje vode upravo odnos stvorene energije po m^3 vode.

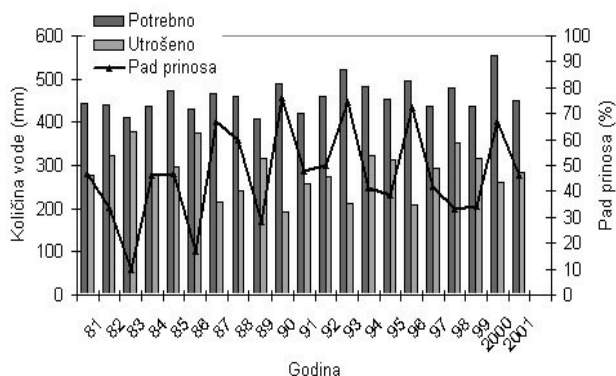
Tabela 1. Orjentacione vrednosti koeficijenta prinosa k_y (yield response factor)

Usev	nagli porast	Cvetanje	Plodonošenje	Sazrevanje	Ukupno
Lucerka	1	1	1	1	1
Pasulj	0.2	0.6	1.0	0.4	1.15
Kupus	0.2	-	0,45	0,6	0.95
Vinova loza	0.2	0.7	0.85	0.4	0.85
Kukuruz	0.4	0.4	1.3	0.5	1.25
Luk	0.8	0.4	1.2	1.0	1.0
Grašak	0.2	0.9	0.7	0.2	1.15
Paprika	1.4	0.6	1.2	0.6	1.1
Krompir	0.45	0.8	0.8	0.3	1.1
Šafran	0.3	0,55	0,6	-	0.8
Sirak	0.2	0,55	0,45	0,2	0.9
Soja	0.4	0.8	1.0	0.4	0.85
Šećerna repa	0.5	0.8	1.2	1.0	1.1
Suncokret	0.4	0.6	0.8	0.8	0.95
Duvan	0.2-1.0	-	0,5	0,50	0.9
Paradaiz	0.5	0.6	1.1	0.8	1.05
Lubenica	0.45-0.7	0,8	0,8	0,3	1,1
Pšenica	0.2	0.6	0.5	0.4	0.6
Krmno bilje	0.5	0.8	0.8	0.3	1.1

Da bi model mogao da proceni pad prinosa, potrebno je prethodno izračunati potencijalnu evapotranspiraciju, efektivne padavine svake proučavane kulture, ukupnu raspoloživu količinu vode u zoni korenovog sistema i predvegetacionu vlažnost zemljišta.

Na slici 2 prikazane su potrebe kukuruza za vodom, raspoložive količine vode i padovi prinosa po godinama kad je usev gajen na srednje dubokom, težem zemljištu u Leskovcu. Na ovakav način su urađene simulacije svih pomenutih kultura na svim područjima i zbirno su prikazane na slikama 3 – 7. Kukuruz, iako poznat da "trpi" sušu, veoma dobro reaguje na meru navodnjavanja i može značajno da poveća prinose. Kada vode nema dovoljno prinosi se za na svim područjima umanjuju od 10 – 76 % na aluvijumu i od 3 – 62 % na težim zemljištima. Ovakve razlike u prinosima navodnjavanog i nenavodnjavanog kukuruza (72.7 %) dobijene su na više eksperimentalnih polja u različitim periodima istraživanja u Vojvodini [10]. Padovi prinosa krompira variraju na svim područjima od 23 do 80 % na aluvijumu i od 21 do 63 % na težim zemljištima. Treba istaći, da su padovi prinosa krompira na svim područjima najviše izraženi, bez obzira na tip zemljišta. To se objašnjava nedovoljnim količinama padavina u vegetacionom periodu i plitkim korenovim sistemom. Iako se smatra da ova kultura u agronomskom smislu dobro podnosi sušu (koeficijent prinosa $k_y < 0.8$, tab. 1), padovi prinosa su veoma visoki, i dostižu vrednosti i do

80 %. Ovakav rezultat navodi na zaključak da sve ostale povrtarske kulture, koje karakteriše plitak korenov sistem i veća osetljivost na sušu ne mogu da se gaje bez navodnjavanja na svim ispitivanim područjima, što je inače već poznato u praksi. S obzirom na drastičan pad prinosa, jasno je da bi svaki sistem za navodnjavanje bio ekonomski isplativ, kada se radi o povrtarskim kulturama.

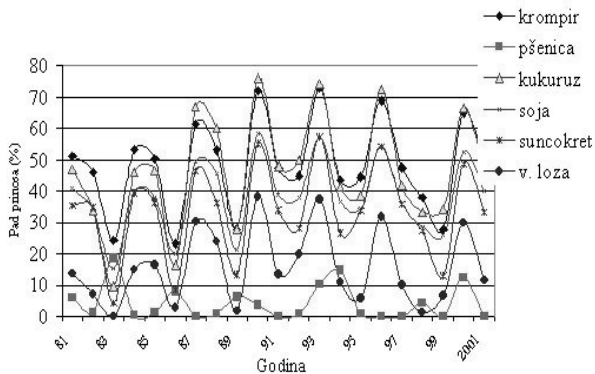


Slika 2. Potrebne i utrošene količine vode i pad prinosa kukuruza gajenog na srednje dubokim, težim zemljištima u Leskovcu

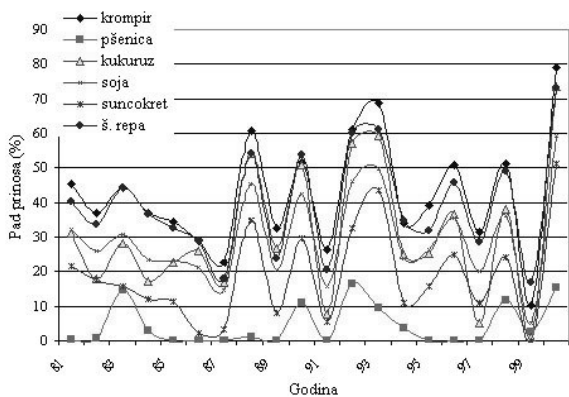
Padovi prinosa pšenice po godinama na svim područjima su zanemarljivi, naročito na težim zemljištima (slika 4), i kreću se od 0 – 9 %, dok su oni

nešto veći na aluvijalnim zemljištima 0 – 18 % (slika 3). Ovako mali padovi prinosa se poklapaju sa opštim pokazateljima prihoda, koji su veći u periodu gajenja pšenice i povećanih rashoda, koji se javljaju u periodu juli i avgust, upravo kada se požanje pšenica.

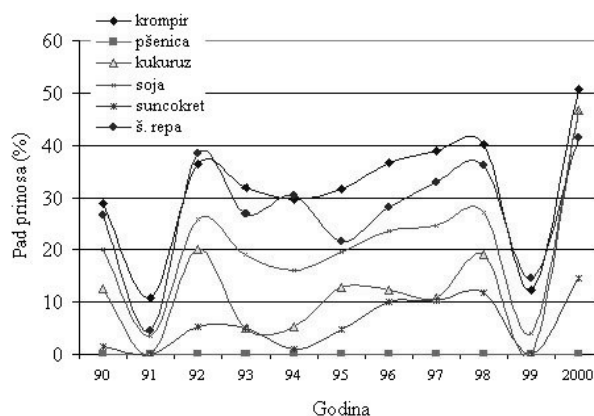
Soja i suncokret, na primer, ne povećavaju prinose tako dobro kao kukuruz primenom navodnjavanja, jer se usled nedostatka vode smanjuju prinosi od 15 – 57 % i 13 – 50 % za soju i 4.3 – 57 i 1.5 – 48 % za suncokret. Usled nedostatka vode vinske sorte vinove loze gajene na aluvijumu smanjuju prinos od 0 – 40 %, a šećerna repa, gajena na težim zemljištima u uslovima bez navodnjavanja od 21 do 60 % na svim područjima. Ovi rezultati su u saglasnosti sa eksperimentalnim podacima dobijenim na našim oglednim poljima [2], što potvrđuje primenljivost CROPWAT modela u našim klimatskim uslovima.



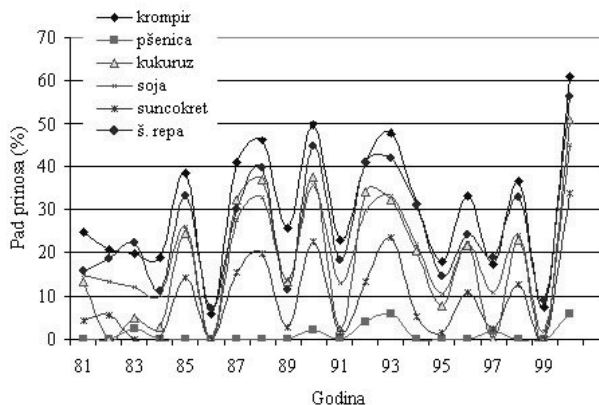
Slika 3. Pad prinosa gajenih kultura na aluvijumu u Leskovcu



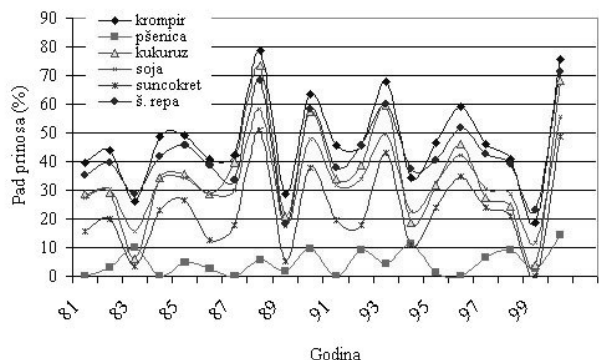
Slika 4. Pad prinosa gajenih kultura na srednje dubokim zemljištima u Surčinu



Slika 5. Pad prinosa gajenih kultura na srednje dubokim zemljištima u Mačvi



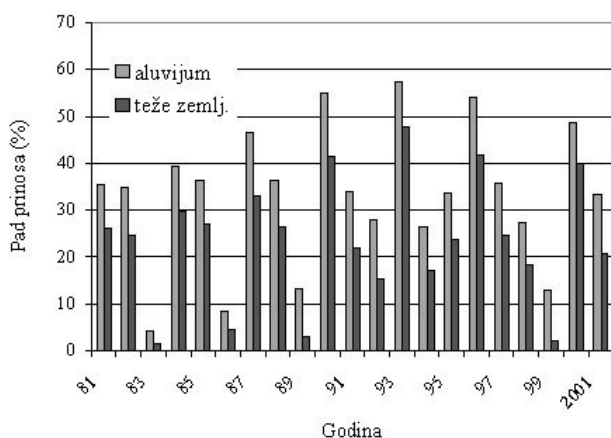
Slika 6. Pad prinosa gajenih kultura na plitkim (lakšim) zemljištima u Valjevu



Slika 7. Pad prinosa gajenih kultura na srednje dubokim zemljištima u S. Palanci

Da zemljište kao rezervoar za vodu igra bitnu ulogu, naročito u beskišnom periodu u našoj zemlji, govore eksperimentalni podaci izvedeni na soji koji pokazuju da ona može iskoristiti preko 200 mm vode iz sloja zemljišta do 2m dubine, ako je ima na raspolaganju [2]. Tome treba dodati i cikličnost pojava suše u letnjim mesecima, što se jasno vidi sa svih grafika.

Procenom pada prinosa na najčešće gajenim kulturama (pšenica, kukuruz, krompir, soja, suncokret, šećerna repa i vinova loza) jasno je pokazano da karakteristike zemljišta mogu igrati veoma značajnu ulogu pri odlučivanju kojim zemljištima dati prioritet zalivanja. Kao ilustracija značaja zemljišta za pad prinosa kao posledica suše prikazan je primer suncokreta (slika 8). Ukoliko nema dovoljno vode za navodnjavanje i mora se interventno primenjivati zalivanje, potrebno je uraditi dalju procenu pada prinosa po tipovima zemljišta za projektovani plodored u takvim uslovima.



Slika 8. Pad prinosa suncokreta, gajenog na lakšim i težim zemljištima u Leskovcu

U analizi padova prinosa gajenih kultura na području Surčina (slika 4) može se primetiti da je trend nešto drugačiji u periodu od 1981 – 1987. Naročito je to izraženo 1986. godine, gde se registruju manji padovi prinosa u odnosu na ostala područja, što se može objasniti većom količinom padavina u prolećnom periodu, u odnosu na druga područja.

Procenom pada prinosa, utvrđeno je da se osim krompira, najveći padovi prinosa javljaju na šećernoj repi i kukuruzu. Ako se uporede padovi prinosa dobijeni eksperimentalnim putem [5] i oni dobijeni modelom za isti period od 1996 - 1999 može se reći da se podaci podudaraju (od 17 – 33 %). Kada se radi o suncokretu i soji na svim područjima se uočava da ove kulture bolje podnose sušu.

Na svim proučavanim područjima se mnogo jasnije javlja ciklična pojava sušnih, odnosno, vlažnih godina, nego kada se ovaj problem posmatra samo sa meteorološkog aspekta. Ovoj pojavi doprinose karakteristike gajenih useva i zemljišta. Iako su sve više izražene globalne klimatske promene, trend smanjenja prinosa nije vidljiv na proučavanim područjima.

Za razliku od povrtarskih kultura, kod ratarskih kultura padovi prinosa nisu prosečno tako drastično izraženi i odluci o investiranju u sisteme za navodnjavanje ovih kultura treba da prethode dodatne analize (zemljište, semenska proizvodnja, zahtevi tržišta, zahtevi prehrambene industrije itd.), radi ekonomske isplativosti istog.

4. NORMA NAVODNJAVANJA

Utrošak vode na evapotranspiraciju pokriva se na tri moguća načina: padavinama, zalivanjem i dostupnom podzemnom vodom iz zemljišta (najznačajnu ulogu ima voda u aktivnom sloju).

U zavisnosti od ovoga, može se definisati norma navodnjavanja kao količina vode koja se dovodi sistemom za navodnjavanje na jedan hektar površine zasejane nekom kulturom za ceo period navodnjavanja u jednoj sezoni, da bi se dobili projektovani prinosi. Razlikuje se neto i bruto norma navodnjavanja. Neto norma navodnjavanja je količina vode koju utroše biljka i zemljište na evapotranspiraciju. Ako se neto normi navodnjavanja dodaju gubici vode na zalivanje, tj. razni površinski oticaji, podzemni oticaji van aktivnog sloja zemljišta, isparavanja i gubici u mreži i sl. dobiće se bruto norma navodnjavanja.

Neto norma navodnjavanja određuje se iz jednačine vodnog bilansa zemljišta (1):

$$\Delta V = ET - (P_e + W + W_k) \quad (3)$$

gde je:

ET - količina vode koja se troši na zemljištu u vegetacionom periodu. Uzima se da je jednaka evapotranspiraciji;

P_e - efektivne padavine;

W - zaliha vode iz aktivnog sloja zemljišta, koju biljke mogu iskoristiti;

W_k - pozemna voda, koju biljke mogu iskoristiti kapilarnim putem.

Na taj način norma navodnjavanja popunjava deficit vodnog bilansa, tj. razliku između evapotranspiracije i prirodnih rezervi vode u zemljištu.

Bruto norma navodnjavanja predstavlja količinu vode koju treba zahvatiti iz izvora za navodnjavanje i određuje se po izrazu:

$$V_b = \frac{V_n}{\eta} \quad (4)$$

gde je:

η - koeficijent korisnog dejstva sistema.

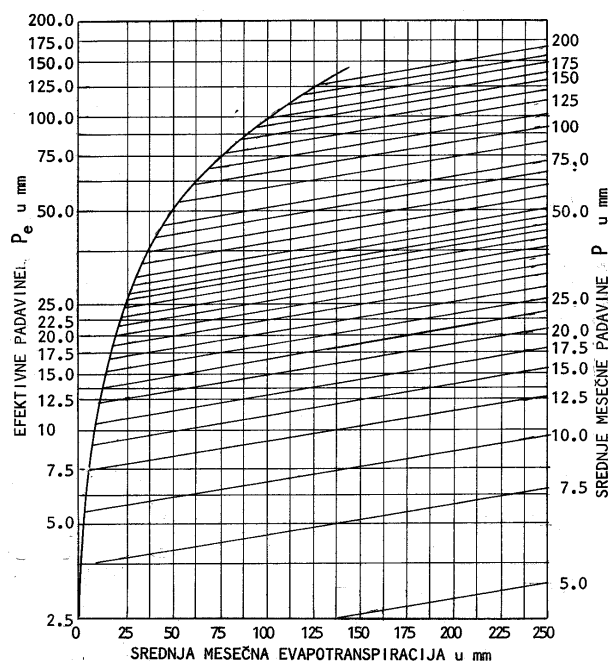
Norma navodnjavanja izražava se u mm ili m^3/ha .

U zavisnosti od klimatskih, zemljišnih uslova i gajenih kultura sve komponente norme navodnjavanja mogu imati razne numeričke vrednosti.

Efektivne padavine su funkcije mnogih parametara, pa je njihovo tačnije određivanje dosta složeno. Zbog toga su prihvatljivi praktičniji proračuni efektivnih padavina.

Proučavanjem većeg broja meteoroloških stanica i sistema za navodnjavanje U.S. Department of Agriculture daje određene preporuke za proračun efektivnih padavina [9]. Prema [4] i [9] efektivne padavine se mogu odrediti kao funkcija stvarnih padavina, evapotranspiracije i norme zalivanja. Evapotranspiracija karakteriše intenzitet trošenja vode, a ujedno i mogućnost da se padavine prihvate i iskoriste, da postanu efektivne. Norma zalivanja, zavisna od kulture i zemljišta, karakteriše dubinu aktivnog sloja i njegov kapacitet, odnosno pripremljenost za prihvatanje

padavina i njihovo korišćenje. Na slici 9 [1] i tabeli 2 [9] date su efektivne padavine kao funkcija pomenutih parametara.



Slika 9. Dijagram za određivanje efektivnih padavina u zavisnosti od srednjih mesečnih padavina i srednje mesečne evapotranspiracije za normu zalivanja $D_n=75$ mm (dijagram je dobijen na osnovu tabele 2)

Tabela 2. Određivanje srednjih mesečnih efektivnih padavina P_e u funkciji od srednjih mesečnih padavina P , srednje mesečne evapotranspiracije kulture ET i norme zalivanja D_n (prema United States Department of Agricultural Soil Conservation Service - USDA, 1969)

Srednje mesečne padavine P (mm)	12.5	25	37.5	50	62.5	75	87.5	100	112.5	125	137.5	150	162.5	175	187.5	200		
Visina srednjih mesečnih efektivnih padavina P_e (mm)																		
Srednja mesečna evapotranspiracija kultura ET (mm)	25	8	16	24	32	39	46	56	62	69	76	80	87	94	100	107	116	120
175	11	23	32	42	52	61	69	78	86	95	103	111	118	126	134	141	149	159
200	11	24	33	44	54	64	73	82	91	100	109	117	125	134	142	150	159	167
225	12	25	35	47	57	68	78	87	96	106	115	124	132	141	150	159	167	177
250	12	25	37	50	61	72	84	92	102	112	121	132	140	150	158	167	177	187

Norma zalivanja D_n (mm)	20	25	37,5	50	62,5	75	100	125	150	175	200
Faktor δ	0.73	0.77	0.86	0.93	0.97	1.00	1.02	1.04	1.06	1.07	1.08

Primer: Visina srednjih mesečnih padavina je 100 mm; ET (kulture) je 150 mm i D_n je 50 mm. Srednje mesečne efektivne padavine su: $0,93 \times 74 = 69$ mm.

Ovaj način određivanja efektivnih padavina nije uzeo u obzir ni intenzitet pojedinačnih padavina, ni intenzitet upijanja u zemljište. Ako je intenzitet upijanja nizak (teška zemljišta ili zemljište koje je jako nakvašeno), a intenzitet kiše visok, veći deo padavina može biti izgubljen oticanjem. U takvim slučajevima se efektivne padavine, određene na ovaj način, smanjuju, imajući u vidu nagnutost terena, veličinu sistema i sl.

Ako se od prosečne evapotranspiracije oduzmu prosečne efektivne padavine i rezervna voda iz aktivnog sloja zemljišta, dobiće se prosečna potrošnja vode (prosečna norma navodnjavanja), koju treba pokriti navodnjavanjem. Sistem dimenzionisan prema takvoj

potrošnji zadovoljio bi samo u 50% slučajeva. Ponekad takav nedostatak vode može izazvati ekonomski neopravdane gubitke prinosa. Zbog toga je bolje da se efektivne padavine određuju prema stepenu obezbeđenja koje se želi postići. Za ovakvo određivanje efektivnih padavina se koriste linije raspodele učestalosti padavina za vegetacioni period odnosno kulture.

Ovakvo detaljno proučavanje i crtanje linija raspodele učestalosti za svaku kulturu posebno, nije uvek opravdano po svojim rezultatima, a ponekad nedostaju podaci za takvu proceduru. Umesto opisanog načina mogu se primeniti koeficijenti redukcije dati u tabeli 3 [9]. Oni su dobijeni posle detaljnih statističkih proučavanja niza konkretnih slučajeva. Sa P su označene prosečne padavine za celu godinu.

Tabela 3. Koeficijenti redukcije padavina

P mm	% učestalosti pojave				
	50	60	70	80	90
75	0.80	0.68	0.56	0.45	0.33
100	0.84	0.72	0.61	0.50	0.38
125	0.87	0.76	0.65	0.54	0.42
150	0.88	0.78	0.68	0.57	0.45
175	0.89	0.79	0.69	0.60	0.48
200	0.90	0.81	0.71	0.62	0.51
225	0.91	0.82	0.73	0.63	0.53
250	0.92	0.83	0.75	0.65	0.55
300	0.93	0.85	0.78	0.69	0.58
350	0.94	0.86	0.79	0.71	0.61
400	0.95	0.88	0.81	0.73	0.63
450	0.95	0.89	0.82	0.74	0.65
500	0.96	0.90	0.83	0.75	0.67
550	0.96	0.90	0.84	0.77	0.69

P mm	% učestalosti pojave				
	50	60	70	80	90
600	0.97	0.91	0.84	0.78	0.70
650	0.97	0.92	0.85	0.79	0.71
700	0.97	0.92	0.86	0.80	0.72
750	0.97	0.93	0.87	0.81	0.73
900	0.98	0.93	0.88	0.82	0.75
1000	0.98	0.94	0.89	0.83	0.77
1150	0.98	0.94	0.90	0.84	0.78
1250	0.98	0.95	0.91	0.85	0.79
1400	0.99	0.95	0.91	0.86	0.80
1500	0.99	0.95	0.91	0.87	0.81
1800	0.99	0.95	0.92	0.88	0.83
2000	0.99	0.95	0.92	0.89	0.85
2300	0.99	0.96	0.93	0.90	0.86

Ovde treba napomenuti da se ukupna potrebna količina utrošene vode koristi za određivanje norme navodnjavanja (koja se često naziva i "potrebna voda") i služi za vodne bilanse, proračun troškova navodnjavanja i obezbeđenje vodom, a ne može služiti za dimenzionisanje sistema. Tabela 2. može se predstaviti (zbog lakše kompjuterske obrade) u numeričkom obliku [1]:

$$P_e = 1,2525(P^{0,82416} - 2,3435)e^{0,0022 ET} \delta(D_n) \quad (5)$$

Kod korišćenja ovog izraza (kao i kod tabele 2) je: $P_e < P$; $P_e \leq ET$; $P \geq 3$ mm, gde je:

P_e - efektivne padavine za razmatrani period u mm;
 P - stvarne prosečne mesečne padavine u mm;

e - osnova prirodnog logaritma;

ET - mesečna evapotranspiracija za razmatranu kulturu u mm;

δ - korekcionni koeficijent koji zavisi od norme zalivanja. Za normu zalivanja $D_n = 75$ mm, $\delta = 1$.

Takođe, koeficijent δ može se predstaviti u obliku pogodnom za savremena računarska sredstva [1]:

$$\delta(D_n) = 0,532 + 0,116206D_n - 0,008943D_n^2 + 0,000232D_n^3 \quad (6)$$

gde je:

D_n - norma zalivanja u cm.

Što je manja norma zalivanja, manje su i efektivne padavine, pa je potrebna veća norma navodnjavanja.

Zaliha vode u aktivnom sloju zemljišta određuje se pomoću izraza:

$$W = \frac{wh_a}{100} \quad [\text{mm}] \quad (7)$$

gde je:

h_a - dubina aktivnog sloja zemljišta za određenu biljku u mm;

w - zapreminska vlažnost zemljišta u %.

Ako je nivo podzemne vode plitak, tada se zalihe vode u aktivnom sloju zemljišta stalno popunjavaju kapilarnim podizanjem od nivoa podzemne vode do korenovog sistema biljaka. Količina podzemne vode koju biljke mogu iskoristiti kapilarnim podizanjem W_k zavisi od mnogih faktora, od kojih su najvažniji dubina nivoa podzemne vode, vodno-fizička, odnosno kapilarna svojstva zemljišta, klimatski uslovi i vrste poljoprivrednih kultura.

Da bi se odredila neto norma navodnjavanja savremenim metodama izračunata je potrošnja vode useva u plodoredu (prihodi) metodom Penman-Monteith i efektivne padavine (rashodi) pomenutom USDA metodom.

Metoda Penman -Monteith je jedina priznata metoda od FAO organizacije (Food and Agriculture Organisation) za izračunavanje vrednosti referentne evapotranspiracije (ET_o). Referentna evapotranspiracija je klimatski parametar koji izražava atmosfersku moć za isparavanjem sa referentne površine. Referentna površina je hipotetički travni usev visine 0,12 m, fiksnog površinskog otpora 70 s/m i albedom od 0.23. Referentna površina je vrlo slična ekstenzivnoj zelenoj, dobro navodnjavanoj travi, uniformne visine pri aktivnom rastu i kompletnoj pokrivenosti zemljišta. Fiksni otpor površine u suštini znači srednje suhu zemljišnu površinu nastalu usled sedmičnog turnusa zalivanja. Referentna evapotranspiracija se izračunava na osnovu izraza:

$$ET_o = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot u_2)}, \quad (8)$$

gde je:

ET_o - referentna evapotranspiracija (mm/dan)

R_n - neto radijacija sa površine useva (MJ/m²dan)

G - energija utrošena na zagrevanje zemljišta (MJ/m²dan)

$(e_s - e_a)$ - deficit napona vodene pare (kPa)

Δ - nagib krive napona vodene pare (kPa/°C)

γ - psihrometrijska konstanta (kPa/°C)

T - temperatura vazduha merena na 2 m visine (u °C)

u_2 - brzina vetra merena na 2m visine (m/s)

e_s - saturisani napon vodene pare (kPa)

e_a - stvarni napon vodene pare (kPa)

Evapotranspiracija useva (rashod) predstavlja proizvod koeficijenta kulture (k_c) u kom su sadržane karakteristike useva i referentne evapotranspiracije (ET_o) u kojoj su uzeti u obzir različiti klimatski uslovi. Evapotranspiracija useva podrazumeva da se usev gaji u standardnim uslovima, tj. da je usev adekvatne gustine setve, dobro obezbeđen vodom i hranivima, da nije pod stresom usled saliniteta, da je bez prisustva bolesti, štetočina i korova. Evapotranspiracija kulture se, dakle, dobija iz odnosa:

$$ET_c = ET_o \cdot k_c \quad (9)$$

Vrednosti koeficijenta kulture (k_c) su preuzete iz literature.

Pri projektovanju sistema za navodnjavanje određuje se norma navodnjavanja za tipičan plodored u sistemu za navodnjavanje. Najekonomičnije je da to bude ona količina vode koja će zadovoljiti potrebe useva za vodom 4 od 5 godina ili 3 od 4 godine u periodu vršne potrošnje. U klimatskim uslovima naše zemlje to su najčešće meseci juli ili avgust.

Sagledavši verovatnoću pojave suše pojedinačno po mesecima, zatim za karakteristični mesec- juli, kao i za čitavu vegetacionu sezonu, utvrđeno je, da je najmerodavnija norma navodnjavanja ona koja ima frekvenciju pojave 23 %, što znači da će pojava bilo koje suše u 100 godina u bilo kom periodu da se javi biti prevaziđena 77 puta. Merodavna norma navodnjavanja za područje Leskovca iznosi 327 mm. Za područje S. Palanke, Mačve, Valjeva može se uzeti da je merodavna sušna godina 1990. Međutim, za isti plodored deficit vode se značajno razlikuje od područja do područja. Najveće norme navodnjavanja iznose 413 mm u S. Palanci, zatim u Surčinu 407 mm i u Valjevu 291 mm. Deficit za Mačvu je nešto manji i iznosi 203 mm. S obzirom na to da je period osmatranja za koji je deficit izračunat kod Mačve kraći nego kod drugih područja (11 godina), poređenje nije moguće.

S obzirom da su padavine neravnomerne, što je naročito izraženo u brdsko-planinskim regionima, ovim istraživanjima određene su potrebe istog plodoređa za vodom na osnovu dekadnih vrednosti potreba za vodom i padavina za područje Valjeva za period od 20 godina. Cilj ove analiza je da se ispita u kojoj meri je predložena metodologija pouzdana na nivou mesečnih vrednosti. Dobijeni rezultati ukazuju na prednosti korišćenja potreba za vodom i deficita određenih na nivou dekade.

Treba istaći da je norma navodnjavanja značajno manja i iznosi 209.1 mm. U slučaju da vode za navodnjavanje nema dovoljno i ako je potrebno planirati ih da bi se

akumulirale, onda se realnije vrednosti norme navodnjavanja dobijaju detaljnijim određivanjem, dakle korišćenjem dekadnih vrednosti.

Međutim, dekadni merodavni neto deficiti su značajno veći i javljaju se u trećoj dekadi jula (4,85 mm/dan) i prvoj (4,7 mm/dan) i drugoj dekadi avgusta (5.02 mm/dan). Ove vrednosti se poklapaju sa merodavnom potrošnjom vode, upravo zbog neravnomernosti pojave padavina, njihovog izostanka u pojedinim dekadama, odnosno pojave na početku ili na kraju meseca. Proračun sistema na ovako veću vrednost neto deficita bi se u prvi mah činilo neracionalno. Međutim, ako se uzme u obzir vrednost koju treba dobiti zalivanjem ovih kultura i rizik koji treba izbeći da bi se postigao visok kvalitet poljoprivrednih proizvoda, onda o ovim detaljima treba voditi računa. To se naročito odnosi na proračune sistema kap po kap pri zalivaju povrtarskih useva i to naročito za semensku proizvodnju, ili pak voćarskih useva koji imaju plići korenov sistem (malina, kupina, jagoda), gde beskišni periodi traju po dekadu-dve, a intervali zalivanja su kraći uz primenu manjih normi zalivanja.

Dakle, u zaključku bi se moglo navesti da za potrebe racionalnog korišćenja sistema za navodnjavanje visokoprofitabilnih kultura, plitkog korenovog sistema (maline, kupine, jagode, povrtarska semenska proizvodnja) bilo bi poželjno da se koriste proračuni potreba za vodom i deficita vode na dekadnom nivou radi eliminisanja finalnog – ekonomskog rizika (koji bi mogao nastati usled nedovoljne distribucije vode).

LITERATURA

- [1] Avakumović D. Navodnjavanje, Građevinski fakultet, 1994, Beograd.
- [2] Bošnjak, Đ., Evapotranspiracija soje u uslovima sa i bez navodnjavanja i njen odnos prema prinosu. Zbornik radova, Sveska 20, p. 499 – 506, Instit. za ratarstvo i port. Novi Sad, 1992.
- [3] Doorenbos, J., and Kassam, A. H., Yield response to water. Irrigation and drainage paper, No.33. FAO Rome, 1979.
- [4] Doorenbos J., Pruitt W. D.: Les besoins en eau des cultures, Bulltin d'Irr. et de drain. No 24, OUN - FAO, Rome, 1975.
- [5] Dragović, S., Maksimović L., Đubrenje šećerne repe azotom pri različitom vodnom režimu zemljišta. Zbornik radova. Sveska 41. p. 145-154. Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, 2005.
- [6] FAO Irrigation and Drainage paper 33, Yield response to water, Rome, 1983.
- [7] Smith M., 1992 – CROPWAT Manual, Irrigation and drainage paper, No 46 FAO Rome.
- [8] Stričević R., Projektovanje u melioracijama, Praktikum,- Ed. Poljoprivredni fakultet, Beograd, 2000.
- [9] USDA Irrigation Water Requirements, Technical Release No 21 2nd Edition, Washington, 1970.
- [10] Vučić N., Jocić B., 1970. – Prilog određivanja vremena zalivanja kukuruza na osnovu svakodnevnog obračuna utroška vode evapotranspiracijom. Arhiv za poljoprivredne nauke. Beograd, 1970, sv. 80, p. 56-65.

STATE-OF-THE-ART ANALYSIS OF IRRIGATION WATER REQUIREMENT

by

Dimitrije AVAKUMOVIĆ¹, Ružica STRIČEVIĆ², Nevenka ĐUROVIĆ²,
Miloš STANIĆ¹, Tina DAŠIĆ¹, Vesna ĐUKIĆ³

1. Faculty of Civil Engineering, Belgrade, 2. Faculty of Agriculture, Belgrade, 3. Faculty of Forestry, Belgrade

Summary

Two ways of assessing irrigation water requirements are analyzed in the paper. The relationship between income and outcome water is reconstituted by the water balance equation, and the need for irrigation is determined. Besides of this equation, the needs for irrigation are determined by the CROPWAT model, on the basis of yield decrease of several crops grown on

different types of soils. The main components of the water balance equation - effective rainfall and evapotranspiration - are also analyzed, to be used in the calculation of seasonal irrigation requirements.

Key words: Water balance, irrigation, CROPWAT model, yield decrement, seasonal irrigation requirement

Redigovano 20.04.2005.