

**PROUČAVANJE VODOPROIZVODNIH FUNKCIJA U CILJU  
EKONOMSKOG VREDNOVANJA IRIGACIJSKIH SISTEMA**

**INVESTIGATED WATER PRODUCTION FUNCTIONS AS  
ECONOMICAL VALUABLE FOR IRRIGATION SYSTEMS**

**B. Matičić**

**UVOD**

Analiza svjetskih potreba u pogledu osiguravanja hrane za sve mnogobrojnije stanovništvo, sačinjena po organizaciji FAO, predočava opasnost pojave svjetske krize u bilansu prehrane čovječanstva.

Od početka 20. stoljeća do danas, broj svjetskog stanovništva povećao se za više od dva puta. Predviđa se da će do dvijetisućite godine broj stanovnika našeg planeta dostignuti 7 milijardi. Opskrbljivati takav broj ljudi hranom, unatoč minimalnim zahtjevima, predstavlja izuzetno težak problem.

Prema podacima UN, dvije i pol milijarde ljudi u svijetu je pothranjenih, 500 milijuna ljudi gladi, a 10 do 20 milijuna ljudskih života godišnje se gasi uslijed gladi, i to pretežno u potencijalnim poljoprivrednim područjima. Nevjerojatna je razlika u potrošnji hrane industrijskih zemalja, sa približno 800 milijuna stanovnika i preostalog dijela svijeta, gdje trenutno živi približno 3,7 milijuna ljudi. Zemlje u razvoju bilježe prosečno 180 kg žita godišnje potrošnje po stanovniku, dok se ta brojka u razvijenih kreće oko 1000 kg po stanovniku.

Nobelovac, H. Borlaug, ovako je usporedio svjetski problem opskrbe s hranom: »U svijetu se svake godine potroši približno 1,4 milijarde tona žitarica. Ova količina bila bi dovoljna da bismo približno 17.0 m širok kolnik prekrili sa približno 2.0 m debelim slojem žitarica u **duljini ekvatora**. Toliku količinu potrošimo dakle u svijetu tokom jedne godine, a to znači da isto toliko žitarica godišnje moramo proizvesti. Zanimljivo je i to, da je taj kolnik radi povećavanja broja stanovnika u svijetu svake godine dulji za približno 1.000 km.

Svjetska konferencija o ishrani, održana u Rimu 1974. godine utvrdila je, da je do početka 20. stoljeća neophodno udovoljiti proizvodnju hrane u svijetu, ukoliko želimo **uravnotežiti svetski prehrambeni bilans**.

Povećavanje količine poljoprivrednih proizvoda moguće je ostvariti na dva načina: ekspanzijom poljoprivrednih obradivih površina ili intenziviranjem proizvodnje na postojećim obradivim površinama. Izvjesno je da je

sveukupna površina obradiva zemljišta u svijetu 1,5 milijardi ha. Analiza FAO kazuje da su sva obradiva zemljišta u razvijenih zemalja manje-više iscrpljena.

Izvjesno je međutim i to, da mogućnosti intenziviranja biljne proizvodnje uveliko nisu iskorišćene. Ovo napose, ako pogledamo Mangelsdorf-ove (1) podatke o maksimalno ostvarenim proizvodima pojedinih poljoprivrednih kultura: kukuruz u zrnu — 19 t/ha, pšenica 14, riža 13,4, ječam 10,6, soja 6,3, krumpir 94 t/ha itd. Ocijenjujući svjetski prehrambeni bilans, prominentan američki ekspert R. Revel (2), došao je čak do zaključka, da bi za opskrbu hranom sadašnjih generacija trebalo proizvoditi hranu intenzivno samo na 158 miliona ha poljoprivrednih površina, uz obaveznu primjenu suvremenih agrotehničkih mjera. Primjeri naprednih poljoprivrednih dobara u svijetu ukazuju na to, da je proizvodnu sposobnost svakog hektara moguće barem udovoljiti. Konačno, to i jest cilj intenzifikacije proizvodnje, čije glavne komponente, po ocjeni svjetskih poljoprivrednih programera, mogu biti u genetskom potencijalu biljaka, reguliranju optimalnog režima vode u tlu i poboljšanju sveukupne agrotehnike (gnojenje, mehanizacija, zaštitna sredstva itd).

Rizičan faktor u biljnoj proizvodnji je pomanjkanje vode. Za neometan razvoj, te redovitu i visoku rodnost, biljkama je potrebna dovoljna količina vlage u tlu.

Efikasnost navodnjavanja možemo predstaviti činjenicom, da sveukupno navodnjavane površina u svijetu, koje predstavljaju 17% obradivih površina (t.j. približno 1,5 milijardi ha obradivih zemljišnih površina), proizvedu 50% sveukupne vrijednosti poljoprivrednih proizvoda. Prema podacima FAO, 20 zemalja Srednjeg istoka proizvede na navodnjavanim površinama 70% svih poljoprivrednih proizvoda, mada navodnjavane površine predstavljaju samo 36% sveukupnih obradivih površina.

#### NAVODNJAVANJE U SVIJETU

Od 1,5 milijardi ha obradivih površina, u svijetu ima 60% površina koje je neophodno navodnjavati, radi nepovoljnih klimatskih uvjeta. Treba imati na umu, da suša svake godine ošteti jedno ili više područja.

Prema procjeni organizacije FAO, sveukupna svjetska površina navodnjavanih poljoprivrednih zemljišta iznosi 270 milijuna ha, a do dvijetisućite godine povećat će se na 300 milijuna ha. Buringh (3) smatra, da bi se od 3.418 milijuna ha potencijalnih svjetskih poljoprivrednih površina moglo navodnjavati 470 milijuna ha. Prikaz navodnjavanih površina poljoprivrednih zemljišta objavio je Zonn, kojega u skraćenu obliku predstavljamo u tablici 1.

#### NAVODNJAVANJE U SR SLOVENIJI

U predstojećem periodu slovenska poljoprivreda suočit će se sa zahtjevnom zadaćom: na sve to manjim poljoprivrednim površinama, uz smanjivanje broja poljoprivrednih proizvođača, trebati će proizvoditi sve to više hrane, za sve veći broj stanovnika. Realiziranje ove zadaće ovisiti će u velikoj mjeri i o tome, kako ćemo uspjeti postojeća poljoprivredna zemljišta prirediti za intenzivniju proizvodnju, pri čemu ne ćemo smjeti više provoditi njihovo ekstenzivno korištenje.

Tab. 1

Navodnjavanje u svijetu  
*Irrigation on the world*

Kontinent ili zemlja <i>Continent or state</i>	Sveukupna površina <i>Areas-total</i>	Obradive površine <i>Arable areas</i>	Navodnjavanje površina <i>Irrigations areas</i>	
			ha (u 1000)	%
Afrika	2,964.613	214.000	8.929	4,2
Azija (bez azijskog dijela SSSR)	2,676.621	463.000	184.812	35,5
Australija i Oceanija	842.906	47.000	1.900	3,6
Evropa (bez evropskog dijela SSSR)	472.809	145.000	15.324	10,57
Sjeverna i Srednja Amerika	2,140.488	271.000	30.149	10,1
Južna Amerika	1,753.691	84.000	7.513	7,9
SSSR	2,227.200	233.000	16.692	4,9
Svijet sveukupno: <i>World — total</i>	13,078.328		264.871	
Austrija	8.385	1.618	60	3,71
Belgija	3.051	824	100	12,14
Bugarska	11.091	4.327	1.147	26,51
ČSSR	12.788	5.258	297	5,65
Danska	4.307	2.675	—	—
BDR	24.858	8.050	315	3,91
Finska	33.701	2.613	100	3,83
Francuska	54.703	18.730	1.000	5,34
BDR	10.818	4.998	660	13,21
Velika Britanija	24.482	6.975	91	1,30
Grčka	13.194	3.885	867	22,32
Mađarska	9.303	5.471	487	8,90
Italija	30.123	12.348	3.550	28,75
Nizozemska	3.695	843	125	14,83
Norveška	32.422	795	50	6,29
Poljska	31.268	15.036	627	4,17
Portugal	9.208	3.600	684	19,00
Rumunija	23.750	10.518	2.000	19,02
Španija	50.478	20.659	2.854	13,81
Švedska	44.996	3.003	100	3,33
Švicarska	4.129	396	30	7,58
Jugoslavija	25.580	8.005	150	1,87
— SR Slovenija	2.025	350	(0,317)	0,01
Sveukupno Evropa <i>Europe — total</i>			15.324	10,57

U odnosu na podneblje, navodnjavanje u Sloveniji, u prvom redu predstavlja činilac intenziviranja poljoprivredne proizvodnje.

U pogledu vremena i količinskog raspoređivanja oborina, priroda reagira na svoj način, stoga smo prema vremenskim nepogodama, a napose prema sušama, nemoćni. Na plitkom, propusnom i teksturno lakšem tlu su prinosi još uvijek niski i ovise o vremenskim prilikama, napose o suši odnosno totalnoj vlazi, koju biljke nemaju u svako doba i u željenim količinama. Budući da napomenute vrste tla zauzimaju u Sloveniji opsežne površine i da na drugom — težem zemljištu, za duljih suša biljke također stradaju radi pomanjkanja vode — suša je dakle uzročnik velikog kolebanja prinosa. Upravo radi toga je navodnjavanje i u našim prilikama *veliki izazov i velika mogućnost za intenziviranje poljoprivredne proizvodnje*. Dosadašnjim istraživanjima efikasnosti navodnjavanja povrtlarskog i ratarskog bilja u toku intenziviranja proizvodnje u Sloveniji (vidi tablicu 2), ovo je bilo i dokazano.

U razvijenim zemljama potrebno je oko deset tisuća litara vode za ispunjenje postojeće norme po osobi. Poljoprivreda potroši približno 85% te tekućine, i to veći dio pri *niskoj efikasnosti*. Vječito su prisutne utrke, u potrošnji vode urbano-industrijskih sektora i poljoprivrede, koje se sve više povećavaju, dok se problemi gomilaju zbog zagađivanja vode otpadnim vodama iz industrije i urbaniziranih površina. Samo jedan postotak svjetskih zaliha vode je na raspolaganju za direktnu potrošnju, pa čak i tako mala količina se ne koristi pravilno. Predstoji nam, da će se za slijedećih 20 godina svjetska potrošnja vode udovoljiti radi razvoja gradova i industrijskih centara te povećanja potrošnje vode za navodnjavanje zemljišta za proizvodnju hrane. Kao primjer navodimo, da je za rafiniranje jedne tone nafte, potrebno 20 tona vode, za proizvodnju jedne tone čelika 250 tona, dok je za proizvodnju jedne tone žitarica potrebno 500 tona vode.

Tab. 2:

Utjecaj navodnjavanja na vrtlarske i ratarske kulture u Vipavskoj dolini  
*Effect of irrigation on vegetable and arable crops in Vipava valley*

Kultura <i>Culture</i>	Godina <i>Year</i>	Prinos, kg/ha <i>Yield</i>		Index povećanog prinosa zbog navodnjavanja <i>Index for addition yields by reason of irrigation</i>
		nenavod. <i>no irrigat.</i>	navodnjav. <i>irrigation</i>	
Grah <i>Bean</i>	82	11,45	26,15	1 : 2,28
	83	7,442	14,473	1 : 1,94
	84	17,750	24,350	1 : 1,37
	85		16,240	
Paprika <i>Capsicum</i>	84	17,833	38,292	1 : 2,15
	85	14,771	68,068	1 : 1,64
Cikorija <i>Chicory</i>	83		14,707	
	84	10,460	22,240	1 : 2,12
	85	2,811	14,222	1 : 5,06
Kupus <i>Cabbage</i>	84	27,750	38,333	1 : 1,38
	85	23,855	95,910	1 : 4,02
Kineski kupus <i>China-cabbage</i>	83	44,000	99,000	1 : 2,25
	84	11,500	57,500	1 : 5,00
	85		95,000	
Krastavci <i>Cucumber</i>	82	2,241	10,463	1 : 4,67
	83	18,000	35,948	1 : 1,99
	84	48,300	68,640	1 : 1,42
	85	32,650	102,000	1 : 3,12
Tikve <i>Pumpkins</i>	83	11,905	92,956	1 : 7,81
	84	53,013	96,256	1 : 1,86
	85	47,900	144,300	1 : 3,01
Mrkva (1. prinos) <i>Carrot</i>	83	11,500	48,370	1 : 4,66
	84	23,000	65,000	1 : 2,84
	85	40,833	133,666	1 : 3,27

Mrkva (2. prinos)	83	11,500	31,260	1 : 2,72
<i>Carrot</i>	84	24,273	37,453	1 : 1,54
	85		63,166	
Cikla (1. prinos)	84	37,866	104,460	1 : 2,76
<i>Red beet</i>	85	19,000	105,333	1 : 5,28
Cikla (2. prinos)	84	55,493	35,406	1 : 1,39
<i>Red beet</i>			38,420	
Patliđan	84	23,430	52,240	1 : 2,23
<i>Eggplant</i>	85	18,895	56,688	1 : 3,00
Rajčica (idetermin)	83	81,000	132,895	1 : 1,65
<i>Tomato</i>	84	34,292	63,000	1 : 1,84
	85	40,000	161,023	1 : 4,02
Rajčica (determ.)	85	23,780	150,590	1 : 6,33
<i>Tomato</i>				
Cvjetača	83	9,689	25,730	1 : 2,65
<i>Cauliflower</i>	84	12,350	26,490	1 : 2,14
	85	7,43	24,350	1 : 3,28
Salata	83		22,653	
<i>Lettuce</i>				
Endivija	83		18,862	
<i>Endive</i>	84	12,300	22,240	1 : 1,81
	85	2,167	16,000	1 : 7,38
Kukuruz (silaza)	84	22,140	40,096	1 : 1,81
<i>Corn silage</i>	85	6,657	12,430	1 : 1,87
Kukuruz (zrno)	84	3,200	9,500	1 : 2,97
<i>Corn seed</i>		6,300	11,800	
Djetelinsko-travna smjesa	85	2,133	11,016	1 : 5,16
<i>Clover-grass mixture</i>				

Te utrke u potrošnji vode uskoro će još reducirati količinu postojećih kontingenata vode za potrebe poljoprivrede, što će zahtijevati efikasnije navodnjavanje i zadovoljavajuću opskrbu vodom, ako želimo u buduće udovoljiti potrebama u pogledu proizvodnje hrane i drugih poljoprivrednih proizvoda.

Odbor za melioracije pri ZVSS globalno je ocijenio, da bi u SR Sloveniji do dvijetisućite godine mogli navodnjavati 35.000 ha zemljišta, od toga na području Drave—Mure 21.000 ha ili 60%, na području Save 15% odnosno 6.000 ha i na području Soče te priobalnom području 8.000 ha ili 24%.

#### PROUČAVANJE VODOPROIZVODNIH FUNKCIJA

Za efikasnu i ekonomičnu potrošnju vode pri navodnjavanju u poljoprivredi potrebna su bazična i aplikativna istraživanja fizičkih i bioloških parametara u odnosu *zemljište — voda — biljka — atmosfera*, koji djeluju u interakciji, a bitni su za biljnu proizvodnju.

Navodnjavanje, kao dopunska mjera za količinsko i kvalitetno povećavanje biljne proizvodnje, zahtijeva detaljna ekonomska istraživanja o rentabilnosti ulaganja u sisteme navodnjavanja. Analiza vodoproduktivnih funkcija, koje predstavljaju utjecaj različitih doza vode i gnojiva na prinos, jest osnova za takva ekonomska istraživanja, čijim bi rezultatima trebalo raspolagati prije uvođenja sistema za navodnjavanje.

U 1985. godini proučavali smo vodoprivredne funkcije za povrće (kupus i ciklu), a njihov prinos u ovisnosti o količini vode i dušika. Istraživanja su obavljena u AGROHIDROLOŠKOJ STANICI katedre za melioracije i uređenje poljoprivrednog prostora Biotehničkog fakulteta u Ljubljani.

#### Ekperimentalna oprema

Tokom 1985. i 1986. godine, u Agrohidrološkoj stanici nastavili smo započeto izučavanje vodoproduktivnih funkcija, koje je prethodnih godina obavljeno za djetelinu, uzgajanu na dvije vrste tala (kambisol i podzaluvisol), a ove dvije godine, prvo za kupus a zatim za ciklu na jednoj vrsti zemljišta (kambisol). Odabrane su 24 različite kombinacije navodnjavanja i gnojenja, a zatim je svaka pojedinačna kombinacija primijenjena u tri lizimetra.

Oprema za ispitivanje sastavljena je od 72 lizimetra, koji su smješteni ispod pokretljive nadstrešnice (funkcija nadstrešnice je zaštita lizimetara od atmosferskih oborina). Po prestanku oborina nadstrešnica ponovno otkrije lizimetre, koji omogućuju potpunu kontrolu količine vode koju biljke dobijaju.

Osim ovih, postavljeno je još šest lizimetara u prirodnim uvjetima, te jedan veliki lizimetar (3.14 m<sup>2</sup>) koji sadrži travu; njezina težina neprestano se važe. Stanica je također opremljena instrumentima za mjerenje svih meteoroloških podataka, potrebitih za analitičko ocjenjivanje evapotranspiracije. Za pribavljanje i obrađivanje svih podataka kod ovog ispitivanja korišteni su *Hewett Packard 85 kompjutor i 349A Data Logger Acquisition/Control Unit*.

Manji lizimetri 450 mm promjera i 760 mm dubine, smješteni u 18 redova po 4 (Slika 1), napunjeni su sa dva sloja. Donji sloj (visine 150 mm) sastoji se od šljunka, a gornji 610 mm) od kambisol zemlje.

#### Metode pokusa

U prvom dijelu pokusa proučavana je vodoproduktivna funkcija kupusa sorte »Ditmar«, koji je bio posađen u lizimetre u maju, dva mjeseca poslije sijanja (jedna glavica po lizimetru). Prije toga dodano je svakom lizimetru 1,59 g (100 kg/ha) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 3,18 g (200 kg/ha) K<sub>2</sub>O i 58% od ukupne količine N<sub>2</sub> koja je — ovisno o kombinaciji gnojenja i navodnjavanja, bila 0,120, 240 ili 360 kg/ha. Ostatak N<sub>2</sub> dodat je lizimetrima u mjesecu junu. Tokom pokusa, dnevne doze zalijevanja, ovisno o kombinaciji, bile su slijedeće:

Razina zalijevanja	Dnevna količina zalijevanja (mm)
1	0,3 pET
2	0,5 pET
3	0,75 pET
4	1,0 pET
5	1,25 pET
6	1,5 pET

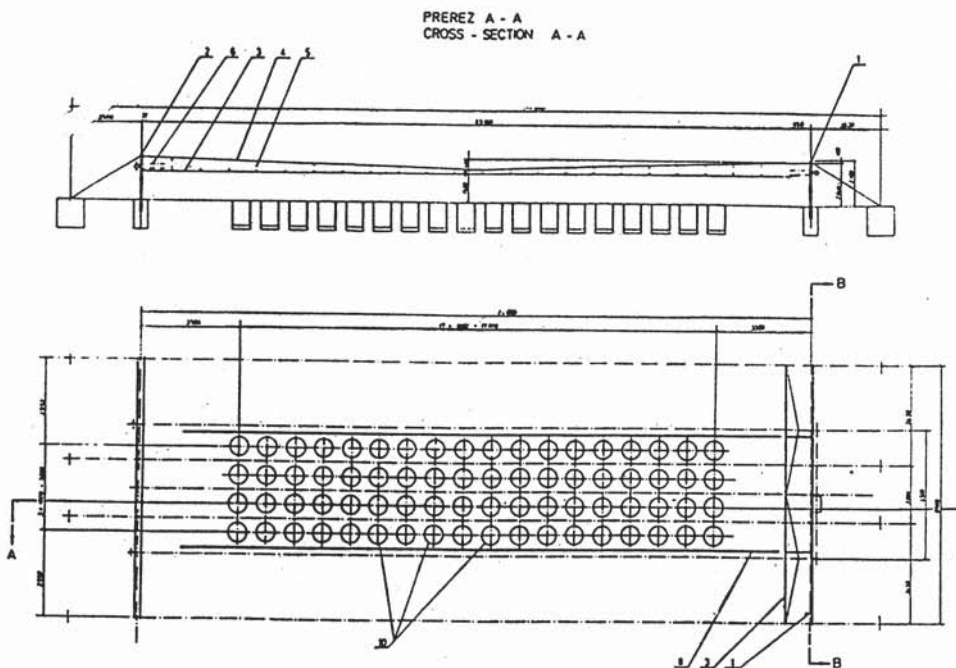
Ukupne doze gnojenja dušikom za kupus bile su:

$N_1 = 0 \text{ kg/ha}$   
 $N_2 = 170 \text{ kg/ha}$   
 $N_3 = 310 \text{ kg/ha}$   
 $N_4 = 510 \text{ kg/ha}$

Ukupne doze gnojenja dušikom za ciklu bile su:

$N_1 = 0 \text{ kg/ha}$   
 $N_2 = 120 \text{ kg/ha}$   
 $N_3 = 240 \text{ kg/ha}$   
 $N_4 = 360 \text{ kg/ha}$

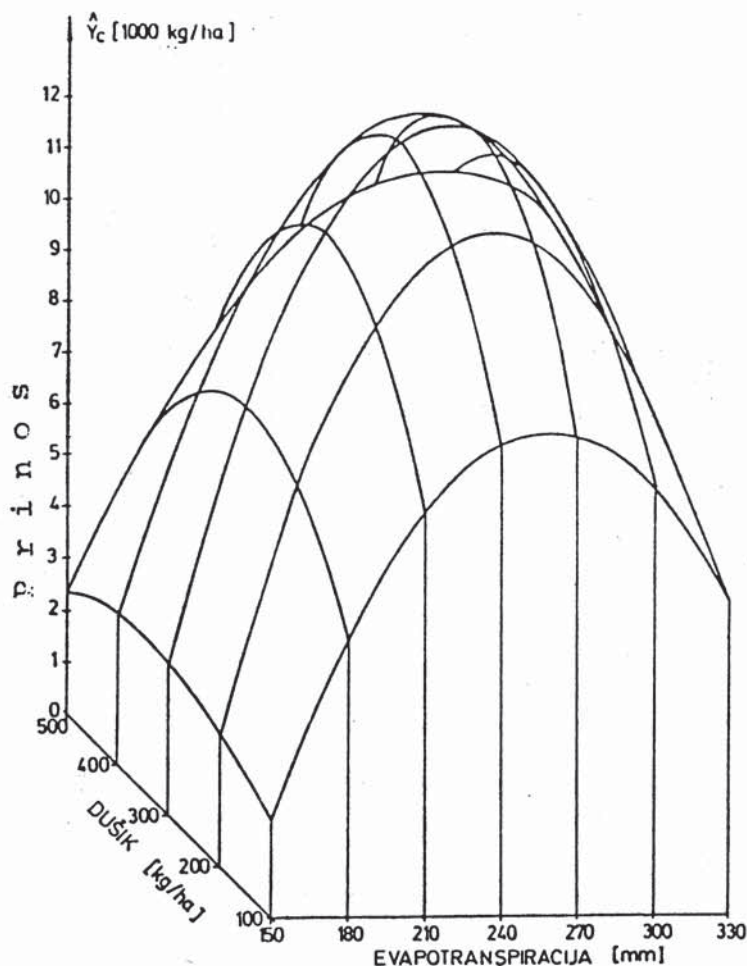
Zalijevne norme utvrđene su na osnovu mjerenja potencijalne evapotranspiracije u velikom vaganom lizimetru. Taj podatak je bio kontroliran izračunom dnevne potencijalne evapotranspiracije po *metodi Penmana*.



Sl. 1 Lizimetri postavljeni za pokus u Agrohidrološkoj stanici  
*Lysimeters in experimental station*

### REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Prikupljeni podaci o prinosu kupusa i ciklu sadrže sedamdesetdvije vrijednosti prinosa sa 24 različite kombinacije gnojenja i navodnjavanja. Rezultati su prikazani na slikama 2 i 3. Korišteni su rezultati dvogodišnjih mjerenja, koja se i dalje nastavljaju.



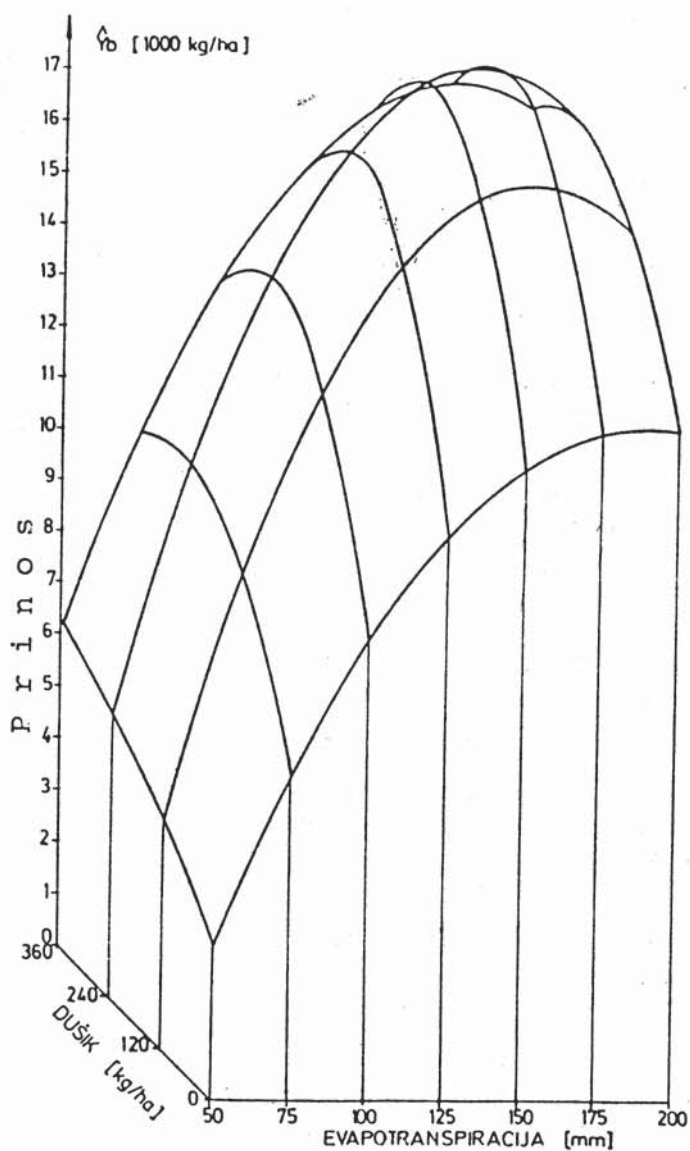
Sl. 2. Razmjer između prinosa kupusa, evapotranspiracije i aplikacije dušika  
*Proportions between yield of cabbage, evapotranspiration and nitrogen application*

Za aproksimiranje vodoproduktivne funkcije za kupus raspolagalo se sa sedamdesetdvije vrijednosti — po tri za svaku kombinaciju gnojenja (N) i navodnjavanja (W). Pri tome, promjenljiva W (W je ukupna količina vode koju su lizimetri primili tokom pokusa, umanjena za ukupnu količinu vode, koja je istekla iz lizimetra u vidu perkolata) ima različitu vrijednost za pojedini lizimetar radi nejednake količine perkolata.

Primjenom metode najmanjih kvadrata utvrđene su vrijednosti prinosa za kupus pomoću polinomske aproksimacije.

$$Y_c(ET, N) = C_0 + C_1ET + C_2N + C_3ET^2 + C_4N^2 + C_5ET \cdot N + C_6ET \cdot N^2 + C_7ET^2 \cdot N + C_8ET^2 \cdot N^2 \quad (1)$$





Sl. 3. Razmjer između prinosa cikla, evapotranspiracije i aplikacije dušika.  
*Proportions between yield of Red beet, evapotranspiration and nitrogen application.*

Koeficijenti polinoma, uzimajući u obzir njihove standardne griješke, zatim koeficijent korelacije i razine vjerojatnoće, utvrđeni su testom »t« uz pretpostavku da se članovi statistički razlikuju od nule.

U jednadžbi (1) date su vrijednosti prinosa u 1000 kg/ha, gnojenje (N) u kg/ha i evapotranspiracija (ET) u mm. Funkcija prinosa prikazana je na Sl. 2., pri čemu je maksimum:

$$Y_{c,max} = 28.370 \text{ kg/ha}$$

za

$$N = 307,9 \text{ kg/ha i } ET = 258,3 \text{ mm} = 1,73 ET_p^{cum},$$

gdje je  $ET^{cum}$  sveukupna evapotranspiracija prema Penmanu, tokom 48 dana, koliko je trajala vegetacija.

Na Sl. 2., prikazana je površina srazmjera prinos-evapotranspiracija-dušik, za kupus.

Za aproksimaciju srazmjera prinos — vlaga tla — dušik, korišten je polinom:

$$Y_c(P_w, N) = C_0 + C_1 P_w + C_2 N + C_3 P_w^2 + C_4 N^2 + C_5 P_w \times N + C_6 P_w \times N^2 + C_7 P_w^2 \times N + C_8 P_w^2 \times N^2 \quad (2)$$

s prinosom ( $Y_c$ ) u 1000 kg/ha, gnojenjem (N) u kg/ha i prosječnom vlagom tla tokom vegetacije ( $P_w$ ) u %.

Polinom ima maksimum pri

$$Y_{c,max} = 27.610 \text{ kg/ha}$$

za

$$P_w = 25,3\% \text{ i } N = 315,9 \text{ kg/ha.}$$

*Primjer:*

Za  $N = 0 \text{ kg/ha}$  i  $W = W_0$ ,

$$Y(W_0, N) = 10.200 \text{ kg kupusa/ha}$$

Uzimajući u obzir da je cijena jednog kilograma kupusa 250 din, dobijamo

$$Y^*(W_0, N) \quad N = 0 \quad 10.200 \times 250 = 2.550.000 \text{ din/ha}$$

gdje Y predstavlja prinos, izražen u din/ha umjesto u kg/ha.

Za  $N = 307,9 \text{ kg/ha}$  (optimalna količina gnojiva korištena u pokusu)

i  $W = 258,3 \text{ mm}$  (optimalna količina vode)

$$Y(W, N) \quad W = 258,3 \quad 28.370 \text{ kg kupusa/ha}$$

$$N = 307,9$$

Ako jedan kg gnojiva košta 512,— din

$$Y^*(W, N) \quad W = 258,3 \quad (28.370 \times 250) - (307,9 \times 512) + (258,3 \text{ mm} \times 1.000) =$$

$$N = 307,9 \quad = 6.677.555 \text{ din/ha}$$

$$Y^*(W_0, N)$$

$$N = 360 - Y^*(W_0, N) \quad N = 0$$

$$= 6.677.555 - 2.550.000 = 4.127.555,— \text{ din/ha}$$

što predstavlja povećavanje novčane dobiti za 161%. Valja napomenuti, da u ovom primjeru nije uračunata cijena raznašanja gnojiva i svih ostalih proizvodnih troškova.

Na sličan način, ali uz uvažavanje svih proizvodnih troškova, bilo bi moguće obaviti poredbene kalkulacije za razne kombinacije aplikacija gnojiva i navodnjavanja.

Za ciklu bismo kao primjer mogli izraditi sličnu kalkulaciju kao za kupus. Aproksimacija srazmjera prinos — evapotranspiracija — dušik za ciklu (Sl. 3) jednakog je oblika kao kod jednadžbe 1.

Prinos cikle ( $Y_b$ ) ima maksimum pri:

$$\begin{aligned} & Y_{b_{\max}} = 18.020 \text{ kg/ha} \\ \text{za} & ET = 165,1 \text{ mm} = 1,46 ET_{p_{\text{cum}}} \\ \text{i} & \end{aligned}$$

$$N = 236,2 \text{ kg/ha.}$$

Rezultati ovog istraživanja jasno ukazuju da postoji definitivna funkcionalna zavisnost između prinosa, evapotranspiracije i količine gnojiva. Na osnovu rezultata možemo utvrditi, da navodnjavanje koje ostvaruje optimalnu ukupnu evapotranspiraciju, može povećati prinos kupusa i do 280%, a u slučaju cikla, ovo povećavanje može iznositi i preko 300%, ako se ujedno primjenjuje i određena količina gnojiva. Važno je također napomenuti, da prinosi obje vrste povrća koje smo proučavali pada, ako se prekorači optimalna ukupna evapotranspiracija. Prema tome, da bi se rezultati jednog ovakvog istraživanja mogli što potpunije iskoristiti, potrebno je sa što većom preciznošću utvrditi optimalne vrijednosti  $W$  i  $N$ .

#### ZAKLJUČAK

Dosadašnja istraživanja vodoproduktivnih funkcija za kupus sorte »Ditmar« i ciklu sorte »Bicor« na zemljištu »kambisol« dala su slijedeće rezultate: — pokusne vrijednosti prinosa kupusa i cikla aproksimirali smo kvadratnim polinomom slijedećeg oblika:

$$Y_c(ET, N) = C_0 + C_1 ET + C_2 N + C_3 ET^2 + C_4 N^2 + C_5 ETN + C_6 ETN^2 + C_7 ET^2 N + C_8 ET^2 N^2$$

$$\text{i} \\ Y(P_w, N) = C_0 + C_1 P_w + C_2 N + C_3 P_w^2 + C_4 N^2 + C_5 P_w N^2 + C_6 P_w N^2 + C_7 P_w^2 N + C_8 P_w^2 N^2$$

- vodoproduktivne funkcije kupusa i cikla dale su optimalne vrijednosti ukupne evapotranspiracije za svaku od korištenih nivoa gnojenja;
- vodoproduktivne funkcije za kupus i ciklu ukazuju na postojanje optimalne vrijednosti gnojenja, iznad koje se povećavanjem gnojenja smanjuje prinos.

#### Popis korištenih simbola

$C_0, C_1, \dots, C_8$	— koeficijent polinoma
$ET_p$	— prosječna dnevna evapotranspiracija prema Penmanu, mm/dan
$ET_{p_{\text{cum}}}^b$	— potencijalna evapotranspiracija prema Penmanu, za ciklu, mm
$ET_{p_{\text{cum}}}^c$	— kumulativna potencijalna evapotranspiracija prema Penmanu, za kupus, mm
$N_1, N_2, \dots, N_6$	— količina dodanog dušika, kg/ha
$P_w$	— prosječna vlaga tla, (%)
$R^2$	— koeficijent determinacije, korelacije
$Y_{b_{\max}}$	— funkcija maksimalnog prinosa za ciklu, kg/ha
$Y_{c_{\max}}$	— funkcija maksimalnog prinosa za kupus, kg/ha
$W_0, W_1, W_2, \dots, W_6$	— razine navodnjavanja, mm
$Y$	— funkcija maksimalnog prinosa, kg/ha
$Y^*$	— novčana dobit polinomom, kg/ha aproksimiranog prinosa, din/kg

## SAŽETAK

Vodoproduktivne funkcije poljoprivrednih kultura proučavamo na »AGRO-HIDROLOŠKOJ« opitnoj stanici Biotehničkog fakulteta u Ljubljani već od 1983. godine. Stanica raspolaže sa 78 vaganih lizimetara koji omogućuju takova proučavanja; od ukupnog broja lizimetara 6 ih je smješteno u prirodnim uvjetima, a kod 72, utjecaj oborina spriječen je automatski gibljivom nadstrešnicom.

Svrha tih istraživanja uglavnom je proučavanje utjecaja vode u interakciji sa gnojivima na prinos. Prve dvije godine su funkcije za travno-djetelinsku smjesu proučavane na dva tipa zemljišta (Cambisol i Podzoluisol), a tokom treće, 1985. godine vodoprivredne funkcije bile su istraživane za kupus i ciklu, u međuovisnosti različitih doza vode i dušika.

Dobiveni rezultati vodno-proizvodnih funkcija omogućuju utvrđivanje optimalnih prinosa poljoprivrednih kultura u ovisnosti o primjeni vode i gnojiva. Rezultati su značajni kako sa ekonomskog tako i sa tehnološkog stajališta i mogli bi se izravno primjenjivati u programiranju i eksploataciji navodnjavanja.

## Summary

Water production functions have been studied at AGROHYDROLOGIC Experiment Station at Biotechnical Faculty in Ljubljana since 1983. There are 78 weighing lysimeters at the Station that enables this study, 6 of them are kept under natural conditions, while for 72 lysimeters the influence of rain is excluded by means of automatic roof.

The aim of the research is mainly to find out the influence of water application in interaction with fertilizer application on crop yield. The first two years the study had been done for clover-grass mixture on two types of soil (Cambisol and Podzoluisol) while the third year (1985) water production functions have been studied for cabbage and garden beet in interaction between different water and nitrogen application keeping other nutrients in the soil ( $P_2O_5$ ,  $K_2O$ ) constant.

The resulted water production functions enables the determination of optimal crop yield output and/or optimal use of water and nitrogen. The results are very valuable from the economical and technological viewpoint and could have direct application for irrigation planning and management.

## LITERATURA

1. **Agricultural Compendium**, Arnhem, Nizozemska, 1981.
2. **Matičič B., et al.:** Evapotranspiration Study of Different Crops and Irrigation Water Requirements, Final Technical Report 480, Grant No. FG-YU-212, Project No. E 30—SWC—15, 1977.
3. **Matičič B., et al.:** Crop-yield evapotranspiration and yield water application relationship for irrigation planning and management, Final Research Report No. 5, Dec. 1985, Project YO—SEA—50—JB—60, 1983.
4. **Matičič B.:** Studija evapotranspiracije za potrebe namakanja kmetijskih zemljišč v Vipavski dolini, Ljubljana 1984.

### Adresa autora — Author's address

Prof. dr Brane Matičič  
VTOZD za agronomijo  
Biotehniška fakulteta  
61000 Ljubljana