

# UTJECAJ NEDOSTATKA VODE U TLU NA PRINOS POLJOPRIVREDNIH KULTURA

**Prof. dr. sc. Ivan Šimunić,**  
dipl. ing. agr.

Agronomski fakultet  
Sveučilišta u Zagrebu  
Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb  
simunic@agr.hr

**Dr. sc. Velibor Spalević**

Biotehnički fakultet  
Univerziteta Crne Gore  
Mihaila Lalića 1, 81000 Podgorica, Crna  
Gora

**Prof. dr. sc. Marija Vukelić-Shutoska**

Fakultet za agronomске znanosti i  
hranu Univerziteta Sv. Ćiril  
i Metodije u Skopju  
Blvd. Aleksandar Makedonski bb, 1000  
Skopje, Makedonija

**Prof. dr. sc. Jasna Šošarić,**  
dipl. ing. polj.

Poljoprivredni fakultet Sveučilišta J. J.  
Strossmayera u Osijeku  
Kralja Petra Svačića 1d, 31000 Osijek

**Dr. sc. Monika Marković, dipl. ing. polj.**

Poljoprivredni fakultet Sveučilišta J. J.  
Strossmayera u Osijeku  
Kralja Petra Svačića 1d, 31000 Osijek

Cilj istraživanja bio je utvrditi nedostatak vode u tlu u prosječnim i sušnim godinama te izračunati moguće povećanje prinosa u prosječnim godinama pri uzgoju određenih poljoprivrednih kultura uz uvjet dovoljne opskrbljenosti tla vodom, na dvije pedo-klimatske različite lokacije, na području Koprivnice i Pazina. Nedostatak vode u tlu u godinama s prosječnim vrijednostima oborina na području Koprivnice kretao se u rasponu od 73,4 mm pri uzgoju kupusa do 147,7 mm u vegetaciji šećerne repe, dok je manjak vode u sušnim godinama utvrđen u količini od 161,8 mm u vegetaciji suncokreta do 203,0 mm pri uzgoju jabuke. Na području Pazina nedostatak vode u prosječnim godinama bio je u rasponu od 3,6 mm pri uzgoju masline do 73,6 mm u vegetacijskom razdoblju kupusa, dok je manjak vode u sušnim godinama utvrđen u vrijednostima od 49,6 mm pri uzgoju masline do 175,0 mm u vegetaciji kupusa. U prosječnim godinama na području Koprivnice moguće je povećati prinose od 2,8 % kod suncokreta do 31,9 % kod šećerne repe, dok je na području Pazina moguće povećati prinos u prosječnim godinama od 1,2 % pri uzgoju masline do 16,6 % pri uzgoju kupusa. Rezultati istraživanja pokazuju da je moguće povećati prinos poljoprivrednih kultura u prosječnim godinama na obje lokacije obuhvaćene istraživanjem.

**Ključne riječi:** referentna evapotranspiracija, nedostatak vode u tlu, prinos poljoprivrednih kultura

## 1. UVOD

Zbog posljedica klimatskih promjena i na širem području Republike Hrvatske posljednjih godina zabilježene su dugotrajne i intenzivne suše koje su zbog nestašice vode prouzročile znatne štete u poljoprivrednoj proizvodnji, tako da je na nekim područjima bilo nužno proglasiti stanje elementarne nepogode.

Pored navedenih posljedica nedostatak vode tijekom vegetacije sve više ograničava poljoprivrednu proizvodnju i umanjuje prinose tako da se sukladno Nacionalnom planu navodnjavanja učestalo izrađuju

i donose planovi, programi i projekti navodnjavanja kojima se predviđa navodnjavanje većih poljoprivrednih površina na području više regija/županija (kontinentalnih i jadranskih), od kojih su neki projekti i realizirani.

Činjenica je da su svi sudionici programa navodnjavanja svjesni značaja ove melioracijske mjere za budućnost poljoprivredne proizvodnje te da su svjesni i dalekosežnih posljedica ukoliko se pravodobno ne pripreme za nastale promjene.

Klimatske značajke i režim voda u tlu te njihov međusobni odnos, koji je vrlo promjenjiv i složen, definiraju uspješnost biljne proizvodnje, budući da je veliki dio naše poljoprivredne proizvodnje smješten u područjima sa povremenom pojavom suša. Prema Mađaru et al. (1998.) suše u Hrvatskoj pojavljuju se svake treće do pete godine, a ovisno o intenzitetu i dužini trajanja mogu smanjiti prinos biljnih kultura i do 90 %. Problem smanjenja prinosa uzgajanih biljnih kultura mogao bi se u znatnoj mjeri riješiti primjenom navodnjavanja (Tomić et al., 2007.). Navodnjavanjem bi se, kao melioracijskom mjerom, održavala optimalna vlažnost tla tijekom vegetacijskog razdoblja, a time bi se osigurali uvjeti za stabilnu, kvalitetnu i ekonomičnu poljoprivrednu proizvodnju. Prema Beltrão et al. (1996.) najviši prinosi se postižu kada je najpovoljniji odnos zraka i vode u tlu, a pogotovo u kritičnim razdobljima svake kulture. Nadalje, uspješno navodnjavanje zahtijeva poznavanje zalihe vode u tlu i kapacitet tla za vodu (Gerakis i Zalidis, 1998.; Šimunić et al., 2007.; Šimunić et al. 2009.).

Planiranje, odnosno izvođenje sustava navodnjavanja, je zahtjevna zadaća koja podrazumijeva multidisciplinarni pristup problemu. Pri planiranju navodnjavanja, osim gospodarskog značaja, važna je blizina vodotoka te dovoljna količina i kakvoća vode tijekom primjene navodnjavanja poljoprivrednih kultura (Vega et al., 1998.; Petersen et al., 2001.).

Cilj istraživanja bio je utvrditi nedostatak vode u tlu u prosječnim i sušnim godinama te izračunati moguće povećanje prinosa poljoprivrednih kultura uz uvjet dovoljne opskrbljenosti tla vodom, na dvije pedo-klimatske različite lokacije na području Koprivnice i Pazina.

## 2. PODATCI I METODE

U radu su korišteni klimatski podatci meteoroloških postaja (MP) Koprivnica i Pazin za razdoblje od 1976. do 2005., odnosno od 1981. do 2010. godine. Višegodišnji niz oborina koristio se za izračunavanje prosječne vrijednosti oborina i vjerojatnosti pojave oborina u 75 % slučajeva ( $F_a = 75 \%$ ). Izračunata prosječna vrijednost oborina i vrijednost pojave oborina u 75 % slučajeva, uz korištenje drugih prosječnih klimatskih elemenata (temperature zraka, relativne vlage zraka, srednje brzine vjetera i insolacije) korišteni su za izračunavanje referentne evapotranspiracije ( $ET_o$ ), prema Penmann-Monteith metodi, pomoću računalnog programa »Cropwat«. Efektivne oborine izračunate su prema USBR (United State Bureau Reclamation) metodi. Evapotranspiracija kulture ( $ET_c$ ) izračunata je pomoću podataka  $ET_o$  i koefijenta kulture ( $K_c$ ), i pri tom su uzimani u razmatranje različiti stadiji kulture.

Poljoprivredne kulture za koje se izračunavala potreba za vodom na području Koprivnice bile su: šećerna repa, suncokret, rajčica, kupus i jabuka, dok se na području

Pazina izračunavala potreba za vodom za poljoprivredne kulture: rajčicu, kupus, crvenu djetelinu, vinovu lozu i maslinu.

Bilanca vode u tlu za svaku kulturu izračunata je pomoću Palmerove metode (korigirane i kalibrirane prema Vidačeku, 1981.), pomoću računalnog programa »HidroKalk«. Na obje lokacije u razmatranje su uzete dvije različite dubine tla i to: 0–0,1 m i 0,1–0,5 m na području sjeverozapadne Hrvatske, odnosno 0–0,1 m i 0,1–0,6 m na području Istre.

Tlo na području Koprivnice je praškasto-glinasto-illovaste teksture;

- Poljski kapacitet tla za vodu ( $PK_v$ ) = 180 mm (0 – 0,5 m),  $PK_{v_1}$  = 36 mm (0 – 0,1 m),  $PK_{v_2}$  = 144 mm (0,1–0,5 m);
- Točka venuća ( $T_v$ ) = 80 mm (0 – 0,5 m),  $T_{v_1}$  = 16 mm (0 – 0,1 m),  $T_{v_2}$  = 64 mm (0,1 m – 0,5 m);  
Pristupačna voda ( $PV$ ) =  $PK_v - T_v$  = 180 mm – 80 mm = 100 mm,  $P_{v_1}$  = 20 mm (0 – 0, m),  $P_{v_2}$  = 80 mm (0,1 – 0,5 m);
- Zaliha vode u tlu ( $Z$ ) = 100 mm,  $Z_1$  = 20 mm,  $Z_2$  = 80 mm;

Tlo na području Pazina je praškasto-glinasto-illovaste teksture.

- $PK_v$  = 252 mm (0– 0,6 m),  $PK_{v_1}$  = 42 mm (0– 0,1 m),  $PK_{v_2}$  = 210 mm (0,1– 0,6 m)
- $T_v$  = 114 mm (0– 0,6 m);
- $P_v$  =  $PK_v - T_v$  = 252 mm – 114 = 138 mm,  $P_{v_1}$  = 23 mm,  $P_{v_2}$  = 115 mm;
- $Z$  = 138 mm,  $Z_1$  = 23 mm,  $Z_2$  = 115 mm
- Povećanje prinosa poljoprivrednih kultura izračunato je prema formuli Doorenbos, J. i Kassam, A. H., 1979.

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = k_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_c}\right) \quad (1)$$

gdje je:

$Y_a$  – stvarni prinosi ( $t \text{ ha}^{-1}$ )

$Y_m$  – maksimalno mogući prinosi ( $t \text{ ha}^{-1}$ )

$k_y$  – čimbenik reakcije prinosa

$ET_a$  – aktualna evapotranspiracija (mm)

$ET_c$  – evapotranspiracija kulture (mm)

## 3. REZULTATI I RASPRAVA

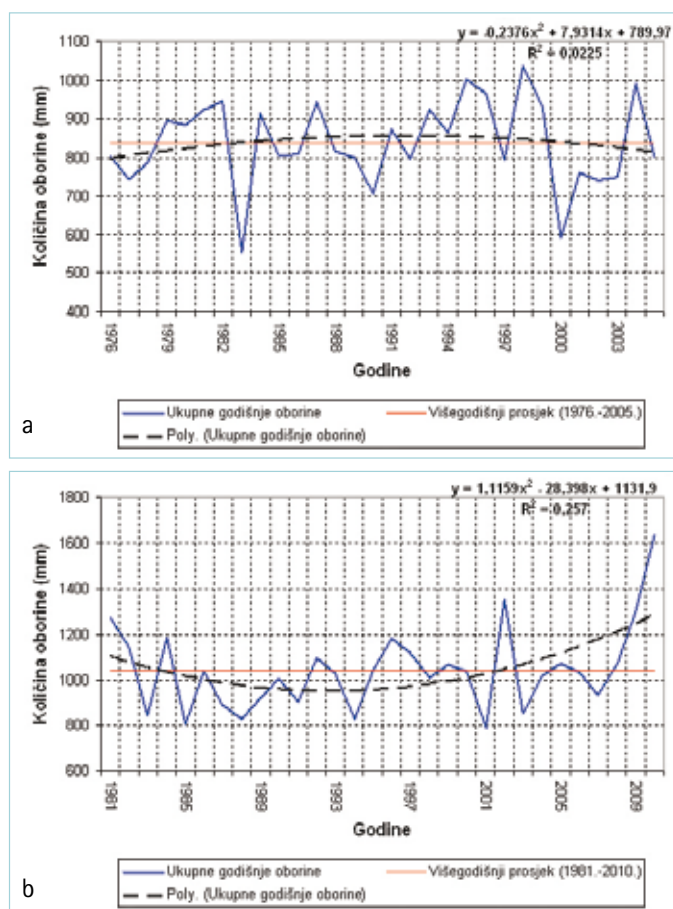
Poznato je da su klimatske promjene značajna i dugotrajna promjena u statističkoj raspodjeli klimatskih faktora (modifikatora klime – koji pojačavaju ili slabe intenzitet klimatskih elemenata) u nekom kraćem ili dužem vremenskom razdoblju. Klimatske promjene mogu se manifestirati u promjeni prosječnih klimatskih elemenata (temperatura zraka, količini oborina, relativna

vлага zraka i dr.) ili u promjeni raspodjele klimatskih događaja s obzirom na prosječne vrijednosti (pojava suša, poplava).

Svaki klimatski element sudjeluje u rastu i razvoju biljaka, međutim, voda i temperatura zraka imaju dominantnu ulogu (Romić et al., 2005.). Količina i raspored oborina te temperatura zraka najznačajnija su dva klimatska elementa koji određuju tip klime na nekom području, odnosno utječu na biljni pokrov, kako na prirodne biljne zajednice tako i na uzgajane poljoprivredne kulture.

Prosječna količina oborina na MP Koprivnica iznosila je 841,4 mm i varirala je od 554,3 mm do 1035,3 mm (slika 1a), dok je prosječna količina oborina na MP Pazin iznosila 1044 mm i varirala je od 791 mm do 1635 mm (slika 1b). Količina oborina na MP Pazin bila je veća u odnosu na MP Koprivnicu za 202,6 mm. Krivulja polinoma ukupne godišnje oborine na obje meteorološke postaje kretala se oko prosječnih vrijednosti, s time da je veće približavanje prosječnoj vrijednosti utvrđeno za MP Koprivnicu. Naime, na MP Pazin u 2010. godini zabilježena je ekstremna količina oborina (1635 mm) tako da je krivulja polinoma imala uzlazni trend, premda je u duljem vremenskom razdoblju bila ispod prosječne vrijednosti oborina.

Prosječna temperatura zraka na MP Koprivnica iznosila je 10,5° C (slika 2a), dok je na MP Pazin imala vrijednost 11,6° C (slika 2b). Na obje slike vidljiv je porast temperature zraka u odnosu na prosječnu vrijednost i krivulja polinoma ima uzlazni smjer. Na MP Koprivnica porast temperature zraka bio je za 0,5° C veći u odnosu na višegodišnji prosjek, dok je na MP Pazin povećanje temperature zraka iznosilo 0,3° C u odnosu na višegodišnji prosjek. Bez obzira na relativno malo povećanje temperature zraka i relativno kratko vrijeme opažanja moglo bi se govoriti o blagom klimatskom zatopljenju. Eksperti u praćenju klimatskih promjena izvješćuju da je «klimatsko zatopljenje već nastupilo i pitanje je hoćemo li ga moći ograničiti. Ako ništa ne učinimo štete će biti puno veće» izvijestio je



Slika 1. Dinamika godišnjih oborina, višegodišnji prosjek i polinom ukupne godišnje oborine: a) MP Koprivnica u razdoblju 1976. -2005; b) MP Pazin u razdoblju 1981.-2010.

Cramer, jedan od suautora izvješća Međuvladine skupine o promjenama klime (Giec) održane u Potsdamu 2007. Posljedice klimatskih promjena odražavaju se na promjene u kopnenim i vodnim ekosustavima određenog područja ili regije i izravno se odražavaju na biološku raznolikost (Cramer, 2008.).

Tablica 1a. Prosječna temp. zraka (Tx), relativna vlaga zraka (RHx), brzina vjetra, insolacija, solarna radijacija i referentna evapotranspiracija (ETo) po mjesecima u višegodišnjem prosjeku, MP Koprivnica u razdoblju 1976.- 2005.

Mjesec	Tx (°C)	RHx (%)	Vjetar (km dan <sup>-1</sup> )	Insolacija (h dan <sup>-1</sup> )	Solarna radijacija (MJ m <sup>2</sup> dan <sup>-1</sup> )	ETo (mm dan <sup>-1</sup> )
I	0,0	85	173	2,1	6,2	<b>0,6</b>
II	1,5	82	181	3,9	9,7	<b>0,9</b>
III	6,3	78	199	4,7	13,2	<b>1,5</b>
IV	10,8	75	199	5,8	17,0	<b>2,3</b>
V	15,9	74	199	8,0	21,5	<b>3,4</b>
VI	19,1	74	181	8,2	22,3	<b>3,9</b>
VII	20,6	73	173	9,4	23,7	<b>4,3</b>
VIII	20,0	76	156	8,8	21,6	<b>3,8</b>
IX	15,7	81	156	6,4	16,1	<b>2,6</b>
X	10,7	84	156	4,3	10,9	<b>1,6</b>
XI	4,9	86	156	2,3	6,8	<b>0,9</b>
XII	1,1	87	173	1,7	5,4	<b>0,6</b>
Godišnje	10,5	80	175	5,5	14,5	<b>807</b>

**Tablica 1b.** Prosječna temp. zraka, relativna vlaga zraka (RHx), brzina vjetra, insolacija, solarna radijacija i referentna evapotranspiracija (ETo) po mjesecima u višegodišnjem prosjeku, MP Pazin u razdoblju od 1981.-2010.

Mjesec	Tx (°C)	RHx (%)	Vjetar (km dan <sup>-1</sup> )	Insolacija (h dan <sup>-1</sup> )	Solarna radijacija (MJ m <sup>2</sup> dan <sup>-1</sup> )	ETo (mm dan <sup>-1</sup> )
I	2,8	78	181	3,0	5,0	0,6
II	3,2	73	190	4,2	7,9	1,0
III	6,6	70	225	5,1	11,9	1,6
IV	10,4	71	242	6,0	15,9	2,4
V	15,3	71	173	7,8	20,3	3,3
VI	18,9	70	190	8,4	21,9	4,0
VII	21,4	66	164	9,9	23,4	4,6
VIII	20,6	70	156	9,1	20,5	3,9
IX	16,1	76	164	6,7	14,6	2,5
X	12,1	79	181	4,9	9,4	1,5
XI	7,4	80	190	2,9	5,4	0,9
XII	4,0	78	190	2,6	4,2	0,7
Godišnje	11,6	74	187	5,9	13,4	824,2

Osim navedenog, klimatske promjene utječu na povećanu evaporaciju i transpiraciju i određuju izbor i mogućnost uzgajanja određenih biljnih vrsta u nekom području.

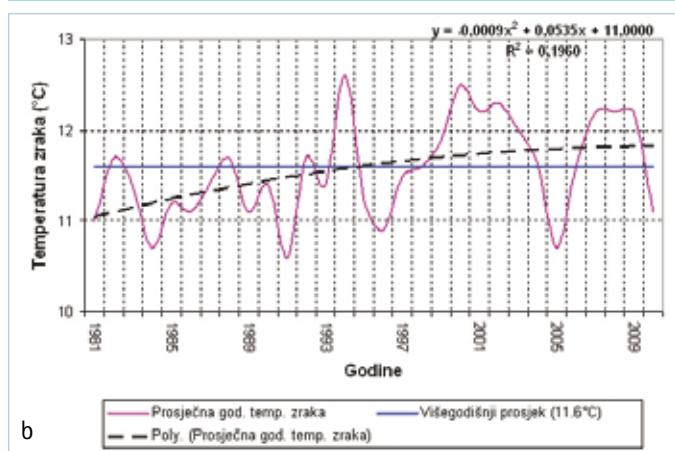
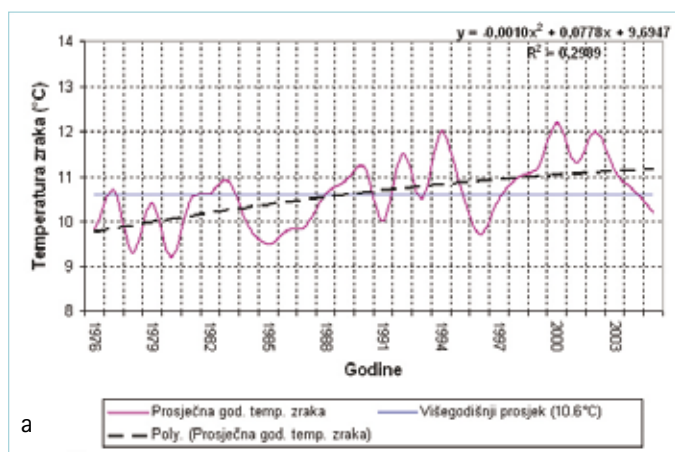
Vrijednosti evapotranspiracije ovise o vrijednosti podataka klimatskih elemenata područja za koje se izračunava evapotranspiracija. Za područje Koprivnice

prosječna vrijednost referentne evapotranspiracije iznosila je 807 mm (tablica 1a), dok je za područje Pazina iznosila 824,2 mm (tablica 1b). Najveća dnevna evapotranspiracija na obje meteorološke postaje bila je u srpnju i iznosila je 4,3 mm/dan, odnosno 4,6 mm/dan, dok je najmanja izračunata evapotranspiracija bila u siječnju i iznosila je 0,6 mm/dan. Dakle, različite mjesečne vrijednosti klimatskih elemenata na područjima istraživanja utjecale su na ukupnu i mjesečne vrijednosti referentne evapotranspiracije.

Osim što klimatske promjene utječu na povećanu evapotranspiraciju, one utječu na količinu i raspodjelu oborina, odnosno na količinu i zalihu vode u tlu. Od ukupne količine palih oborina nisu sve oborine korisne - ne infiltriraju se u tlo, nego postoje određeni gubitci, a mogu se manifestirati kroz površinsko i/ili potpovršinsko otjecanje i/ili procjeđivanje u dublje slojeve tla te se stoga izračunavaju efektivne oborine (Dastane, 1974.). Približna ocjena o potrebi navodnjavanja, odnosno nedostatku vode, može se utvrditi na temelju razlike između referentne evapotranspiracije i efektivnih oborina.

U višegodišnjem prosjeku razlika između referentne evapotranspiracije (ETo) i efektivnih oborina iznosila je 62,7 mm, s time da je razlika u vegetacijskom razdoblju bila izraženija i iznosila je 215,8 mm (tablica 2a). Za oborine vjerojatnosti prekoračenja od 75 %, dakle u sušnim godinama, razlika između ETo i efektivnih oborina još je očiglednija i iznosila je 325,8 mm, odnosno 333,0 mm (tablica 2b).

Efektivne oborine bile su više od ETo u višegodišnjem prosjeku oborina na razini godine i to za 66,7 mm, dok je u vegetacijskom razdoblju ETo bila viša za 194,7 mm (tablica 3a). U sušnim godinama na razini čitave godine razlika između ETo i efektivnih oborina iznosila je 114 mm, dok je u vrijeme vegetacije razlika bila 277,6 mm (tablica 3b).



**Slika 2.** Dinamika prosječne godišnje temperature zraka, višegodišnji prosjek i polinom prosječne godišnje temperature zraka: a) MP Koprivnica u razdoblju 1976.-2005.; b) MP Pazin u razdoblju od 1981.-2010.

Tablica 2a. Evapotranspiracija, oborine i efektivne oborine po mjesecima u višegodišnjem prosjeku, MP Koprivnica u razdoblju 1976.-2005.

Mjesec	ET <sub>o</sub> (mm)	Oborine (mm)	Efektivne oborine (mm)	ET <sub>o</sub> (mm)	Oborine (mm)	Efektivne oborine (mm)
	A	B	C	A1	B1	C1
I	18,6	46,9	43,4			
II	25,2	49,7	45,7			
III	46,5	50,1	46,1			
IV	69,0	63,2	56,8	69,0	63,2	56,8
V	105,4	67,3	60,1	105,4	67,3	60,1
VI	117,0	86,0	74,2	117,0	86,0	74,2
VII	133,3	82,7	71,8	133,3	82,7	71,8
VIII	117,8	75,8	66,6	117,8	75,8	66,6
IX	78,0	87,4	75,2	78,0	87,4	75,2
X	46,6	77,0	67,5			
XI	27,0	83,7	72,5			
XII	18,6	71,7	63,5			
Godišnje	<b>806,0</b>	<b>841,5</b>	<b>743,3</b>	<b>620,5</b>	<b>462,4</b>	<b>404,7</b>
	<b>A-C=62,7 mm</b>			<b>A1-C1=215,8 mm</b>		
	Efektivne oborine izračunate prema USBR metodi					

Tablica 2b. Evapotranspiracija, oborine i efektivne oborine po mjesecima u Fa= 75 %, MP Koprivnica u razdoblju 1976.-2005.

Mjesec	ET <sub>o</sub> (mm)	Oborine (mm)	Efektivne oborine (mm)	ET <sub>o</sub> (mm)	Oborine (mm)	Efektivne oborine (mm)
	A	B	C	A1	B1	C1
I	18,6	21,4	20,7			
II	25,2	26,8	25,7			
III	46,5	35,9	33,8			
IV	69,0	44,8	41,6	69,0	44,8	41,6
V	105,4	48,7	44,9	105,4	48,7	44,9
VI	117,0	69,9	62,1	117,0	69,9	62,1
VII	133,3	53,1	48,6	133,3	53,1	48,6
VIII	117,8	39,4	36,9	117,8	39,4	36,9
IX	78,0	58,7	53,4	78,0	58,7	53,4
X	46,6	43,7	40,6			
XI	27,0	41,1	38,4			
XII	18,6	35,5	33,5			
Godišnje	<b>806,0</b>	<b>519,0</b>	<b>480,2</b>	<b>620,5</b>	<b>314,6</b>	<b>287,5</b>
	<b>A-C=325,8 mm</b>			<b>A1-C1=333,0 mm</b>		

Na temelju prikazanih podataka razvidno je da je referentna evapotranspiracija viša od efektivnih oborina i ukazuje na nedostatak vode, s tim da će se ukupni nedostatak vode odrediti bilancom vode u tlu.

Budući da različite vrste biljaka mogu imati i različite potrebe za vodom, koje ovise i o razvojnim stadijima pojedine biljke, za nesmetan rast i razvoj biljaka potrebno je osigurati potrebnu količinu vode tijekom vegetacije (Doorenbos i Pruitt, 1998.). Nedostatak vode u tlu utječe na prinos uzgajanih kultura i kakvoću prinosa. Stoga za uspješnu poljoprivrednu proizvodnju treba osigurati vodu kojom će se nadoknaditi utvrđeni nedostatak vlage potrebne za rast biljaka, korištenjem odgovarajućeg sustava navodnjavanja (Tomić, 1988.).

Najveće štetne posljedice nedostatka vode nastaju u «kritičnom razdoblju» kada biljka ima najveću potrebu za vodom. Kritično razdoblje traje dulje ili kraće vrijeme i

vezano je za različite razvojne stadije biljaka, što ovisi o vrsti biljaka. Kod jednogodišnjih biljaka kritično razdoblje vezano je za formiranje generativnih organa, dok je kod višegodišnjih biljaka kritično razdoblje u vrijeme najvećeg stvaranja organske tvari i formiranja generativnih organa (Tomić, 1988.).

Na relaciji tlo-biljka-atmosfera, bilancom vode u tlu na području Koprivnice u godinama s prosječnom količinom oborina utvrđen je nedostatak vode u tlu koji se kretao od 73,4 mm kod uzgoja kupusa do 147,7 mm kod šećerne repe. U sušnim godinama nedostatak vode u tlu bio je izraženiji i kretao se od 161,8 mm kod uzgoja suncokreta do 203,0 mm kod uzgoja jabuka (tablica 4a). U godinama s prosječnom količinom oborina na području Koprivnice nedostaje prosječno 107,8 mm vode u tlu, dok u sušnim godinama prosječan nedostatak vode u tlu iznosi 183,8 mm. Na području Pazina nedostatak vode u



tlu u godinama s prosječnom količinom oborina kretao se od 3,6 mm kod masline do 73,6 mm kod uzgoja kupusa. U sušnim godinama najmanji nedostatak vode utvrđen je u uzgoju masline (49,6 mm), a najveći nedostatak pri uzgoju kupusa (175,0 mm) – **tablica 4b**. Na području Pazina u godinama s prosječnom količinom oborina nedostaje u tlu prosječno 38,6 mm vode, dok u sušnim godinama prosječno nedostaje 117,3 mm vode u tlu.

Osim nedostatka vode u tlu na prinos poljoprivrednih kultura utječu i mnogi drugi klimatski i zemljišni čimbenici, zatim tehnologija uzgoja, sorta i biljna vrsta, duljina vegetacije, broj biljaka po jedinici površine (sklop), uzgojni oblici i dr. Prinos kultura obuhvaćen ovim istraživanjem odnosio se na višegodišnji prosjek pri prosječnoj količini oborina, odnosno prinosi su rezultat obrade statističkih podataka. Uočavaju se velike razlike u prinosu rajčice i kupusa u uvjetima bez navodnjavanja na području Koprivnice i Pazina (**tablice 5a i 5b**). Prinos

kultura u godinama s prosječnom količinom oborina općenito je niži na obje lokacije, a izrazito je nizak na području Koprivnice. Povećanje prinosa dobiveno je matematičkim izračunom koji se temelji samo na nedostatku vode u tlu, kao ograničavajućem čimbeniku, tako da na početno niske prinose matematičkim se putem nisu mogli dobiti «očekivani» prinosi kultura koji bi se ostvarili pri odgovarajućim tehnologijama uzgoja i sortama postojećeg genetskog potencijala.

U godinama sa prosječnom količinom oborina moguće je ostvariti više prinose kod svih kultura na obje lokacije uz uvjet da biljke tijekom vegetacije imaju na raspolaganju dovoljnu količinu lako pristupačne vode u tlu. Na području Koprivnice najmanje povećanje prinosa moguće je ostvariti kod uzgoja suncokreta (2,8 %), a najveće kod uzgoja šećerne repe (31,9 %), dok je na području Pazina najmanje povećanje prinosa moguće postići kod uzgoja masline (1,2 %) a najveće kod uzgoja kupusa (16,6 %).

**Tablica 3a.** Evapotranspiracija, oborine i efektivne oborine po mjesecima u višegodišnjem prosjeku, MP Pazin u razdoblju 1981. – 2010.

Mjesec	ETo (mm)	Oborine (mm)	Efektivne oborine (mm)	ETo (mm)	Oborine (mm)	Efektivne oborine (mm)
	A	B	C	A1	B1	C1
I	18,6	66,5	59,4			
II	28,0	60,6	54,7			
III	49,6	70,0	62,2			
IV	72,0	81,2	70,7	72,0	81,2	70,7
V	102,3	80,6	70,2	102,3	80,6	70,2
VI	120,0	88,1	75,7	120,0	88,1	75,7
VII	142,6	62,1	55,9	142,6	62,1	55,9
VIII	120,9	96,7	81,7	120,9	96,7	81,7
IX	75,0	99,8	83,9	75,0	99,8	83,9
X	46,5	112,8	92,4			
XI	27,0	123,0	98,8			
XII	21,7	101,9	85,3			
Godišnje	<b>824,2</b>	<b>1043,3</b>	<b>890,9</b>	<b>632,8</b>	<b>508,5</b>	<b>438,1</b>
	<b>A - C = - 66,7 mm</b>			<b>A1 - C1 = 194,7 mm</b>		

**Tablica 3b.** Evapotranspiracija, oborine i efektivne oborine po mjesecima u Fa = 75 %, MP Pazin u razdoblju 1981. – 2010.

Mjesec	ETo (mm)	Oborine (mm)	Efektivne oborine (mm)	ETo (mm)	Oborine (mm)	Efektivne oborine (mm)
	A	B	C	A1	B1	C1
I	18,6	37,0	34,8			
II	28,0	53,0	48,5			
III	49,6	22,0	21,2			
IV	72,0	70,0	62,2	72,0	70,0	62,2
V	102,3	177,0	126,9	102,3	177,0	126,9
VI	120,0	74,0	65,2	120,0	74,0	65,2
VII	142,6	38,0	35,7	142,6	38,0	35,7
VIII	120,9	52,0	47,7	120,9	52,0	47,7
IX	75,0	18,0	17,5	75,0	18,0	17,5
X	46,5	85,0	73,4			
XI	27,0	254,0	150,4			
XII	21,7	28,0	26,7			
Godišnje	<b>824,2</b>	<b>908,0</b>	<b>710,2</b>	<b>632,8</b>	<b>429,0</b>	<b>355,2</b>
	<b>A - C = 114,0 mm</b>			<b>A1 - C1 = 277,6 mm</b>		

**Tablica 4a.** Kulture i ukupni nedostatak vode u višegodišnjem prosjeku oborina i nedostatak vode pri vjerojatnosti pojave oborina u  $F_a=75\%$ , na području Koprivnice u razdoblju 1976. – 2005.

Kultura	Nedostatak vode u višegodišnjem prosjeku oborina (mm)	Nedostatak vode pri vjerojatnosti pojave oborina kod $F_a \leq 75\%$ (mm)
	A	B
Suncokret	82,1	161,8
Šećerna repa	147,7	186,9
Kupus	73,4	174,1
Rajčica	101,8	193,2
Jabuka	133,9	203,0
Srednjak	<b>107,8</b>	<b>183,8</b>

**Tablica 4b.** Kulture i ukupni nedostatak vode pri višegodišnjem prosjeku oborina i manjak vode pri vjerojatnosti pojave oborina u  $F_a=75\%$ , na području Pazina u razdoblju 1981. – 2010.

Kultura	Nedostatak vode u višegodišnjem prosjeku oborina (mm)	Nedostatak vode pri vjerojatnosti pojave oborina u $F_a \leq 75\%$ (mm)
	A	B
Rajčica	43,6	154,9
Kupus	73,6	175,0
Lucerna	63,3	143,1
Vinova loza	8,7	63,8
Maslina	3,6	49,6
Srednjak	<b>38,6</b>	<b>117,3</b>

**Tablica 5a.** Višegodišnji prosječan prinos kultura pri prosječnoj količini oborina bez navodnjavanja, predviđeni prinos uz navodnjavanje te razlika prinosa, na području Koprivnice u razdoblju 1976. – 2005.

Kultura	*Prinos bez navodnjavanja ( $t\ ha^{-1}$ )	Predviđeno povećanje prinosa uz navodnjavanje ( $t\ ha^{-1}$ )	Razlika	
			$t\ ha^{-1}$	%
Suncokret	1,44	1,48	0,04	2,8
Šećerna repa	32,40	42,74	10,34	31,9
Kupus	12,37	14,36	2,09	16,1
Rajčica	10,40	11,39	0,99	9,5
Jabuka	15,50	19,28	3,78	24,4

\*Prosječan prinos kultura-Statistički ljetopis Hrvatske

**Tablica 5b.** Višegodišnji prosječan prinos kultura pri prosječnoj količini oborina bez navodnjavanja, predviđeni prinos uz navodnjavanje te razlika prinosa, na području Pazina u razdoblju 1981. – 2010.

Kultura	*Prins bez navodnjavanja ( $t\ ha^{-1}$ )	Predviđeno povećanje prinosa uz navodnjavanje ( $t\ ha^{-1}$ )	Razlika	
			$t\ ha^{-1}$	%
Rajčica	50	58,07	8,07	16,1
Kupus	50	58,28	8,28	16,6
Lucerna	10	11,15	1,15	11,5
Vinova loza	10	10,20	0,20	2,0
Maslina	6	6,07	0,07	1,2

\* Izvor: Hrvatska poljoprivredna komora, Javna poljoprivredna savjetodavna služba u Pazinu

Prinos poljoprivrednih kultura na području Pazina u izrazito sušnoj 2003. godini bio je znatno smanjen, a redukcija prinosa kretala se od 30 % do 80 % u odnosu na prosječan prinos pri višegodišnjem prosjeku oborina (tablica 6). Kulture s dubljim korijenjem (vinova loza i maslina) zbog određene zalihe vode u dubljim slojevima tla blaže su reagirale na nedostatak oborina, odnosno nedostatak oborina je izazvao manji stres kod biljaka, za razliku od kultura s plićim korijenjem (rajčica, kupus) kod kojih je nedostatak oborina prouzročio veći stres, a posljedica je slabiji razvoj biljaka i veća redukcija prinosa. U sušnijim godinama, ako bi biljke tijekom vegetacije imale

dovoljno vode na raspolaganju, (uz druge čimbenike koji utječu na prinos), prinos poljoprivrednih kultura trebao bi biti u skladu s genetskim potencijalom biljke. Pored toga, u sušnim godinama trebalo bi osigurati navodnjavanjem dostatne količine vode prema potrebama pojedine kulture, čime bi se izbjegao ili smanjio negativan utjecaj suše kao «elementarne nepogode».

Kad se razmatra problematika utjecaja oborina na poljoprivrednu proizvodnju nije dovoljno imati na raspolaganju samo godišnje količine oborina, već je bitna raspodjela oborina tijekom godine (Bonacci, 1993.). Nerijetko se događa da se u sušnim godinama uz

Tablica 6. Višegodišnji prosječan prinos kultura pri višegodišnjem prosjeku oborina bez navodnjavanja i prinos kultura na području Pazina u sušnoj 2003.

Kultura	* Prosječni prinos kultura pri prosječnim višegodišnjim oborinama (t ha <sup>-1</sup> )	* Prinos kultura u sušnoj 2003. godini (t ha <sup>-1</sup> )	Razlika u redukciji prinosa	
			t ha <sup>-1</sup>	%
Rajčica	50	10	40	80
Kupus	50	10	80	80
Lucerna	10	4	6	60
Vinova loza	10	7	3	30
Maslina	6	4	2	30

\* Izvor: Hrvatska poljoprivredna komora, Javna poljoprivredna savjetodavna služba u Pazinu

povoljnu raspodjelu oborina tijekom vegetacije, posebno u razvojnim stadijima biljaka kao što su: klijanje, cvjetanje i razvoj ploda, ne pojave negativne posljedice suše. S druge strane, poznati su i takvi slučajevi da se posljedice suše javljaju u meteorološki vlažnijim godinama u kojima godišnje oborine mogu biti znatno veće od prosječnih. Uzrok tome je nepravilna raspodjela oborina tijekom godine, tj. njezin izraziti manjak u kritičnim razdobljima vegetacije (Bonacci, 1993.).

Na slikama 3 i 4 prikazani su izgledi tla i biljaka kao posljedica nedostatka vode u tlu na području Koprivnice i Pazina.



Slika 3. Izgled tla i šećerne repe kao posljedica nedostatka vode u tlu na području Koprivnice (kolovoz, 2013.), www.vecernji.hr



Slika 4. Izgled tla i rajčice kao posljedica nedostatka vode u tlu na području Pazina (kolovoz, 2012.), www.ipress.hr

#### 4. ZAKLJUČCI

Na temelju rezultata istraživanja nedostatka vode u tlu u prosječnim i sušnim godinama te mogućeg povećanja prinosa poljoprivrednih kultura, uz uvjet dovoljne opskrbljenosti tla vodom, na dvije pedo-klimatske različite lokacije- na području Koprivnice i Pazina, može se zaključiti sljedeće:

1. Nedostatak vode u tlu u prosječnim godinama na području Koprivnice kretao se od 73,4 mm (kupus) do 147,7 mm (šećerna repa), dok se u sušnim godinama nedostatak vode kretao od 161,8 mm (suncokret) do 203,0 mm (jabuka).
2. Nedostatak vode u tlu u prosječnim godinama na području Pazina kretao se od 3,6 mm (maslina) do 73,6 mm (kupus), dok je u sušnim godinama nedostajalo od 49,6 mm (maslina) do 175,0 mm (kupus).
3. Na području Koprivnice moguće je u prosječnim godinama postići povećanje prinosa od 2,8 % (suncokret) do 31,9 % (šećerna repa), dok je na području Pazina moguće povećanje prinosa u prosječnim godinama od 1,2 % (maslina) do 16,6 % (kupus).
4. Klima se mijenja a klimatske promjene su pretežno uzrokovane ljudskim aktivnostima. Posljedica klimatskih promjena su pojave ekstremnih prirodnih nepogoda u koje se ubraja i suša. Zbog sve većih prirodnih ograničenja trebalo bi poljoprivrednu proizvodnju prilagoditi nastalim klimatskim promjenama, odnosno propisati odgovarajuće mjere (kao što su primjena lokaliziranog navodnjavanja- manja potrošnja vode, pokrivanje tla folijama pri uzgoju nekih povrtlarskih kultura i jagodičastog voća- čijom bi se primjenom u tehnologiji uzgoja smanjila evaporacija vode iz tla, uzgajati kulture koje bolje podnose nedostatak vlage u tlu - maslina ili kulture sa dubljim korijenjem - lucerna, prilagoditi rokove sjetve - sadnje biljnih vrsta podneblju uzgoja i sl.) koje bi se trebale provoditi te bi se na ove načine donekle ublažili utjecaji suše na prinose poljoprivrednih kultura, a ujedno bi se racionalnije koristili raspoloživi prirodni resursi. ■



## LITERATURA

- Beltrão, J., Antunes da Silva, A., Asher, J.B. (1996.): Modeling the effect of capillary water rise in corn yield in Portugal. *Irrigation and Drainage Systems*, 10:179-186.
- Bonacci, O. (1993.): Identifikacija suše i borba protiv nje. U: *Zbornik radova Okruglog stola o suši*, 1-2, Zagreb.
- Cramer, W. (2008.): Global change impacts on the biosphere. U: *Global Ecology* (ur. S. E. Jørgensen i B.D. Fath), 1736-1741, Elsevier, Oxford.
- Dastane, N. G. (1974.): Effective rainfall in irrigated agriculture. FAO Irrigation and Drainage paper, No.25, Rome.
- Doorenbos, J., Kassam, A.H. (1979.): Réponse des rendements à l'eau. FAO d'irrigation et de drainage, No. 33, Rome, 144.
- Doorenbos, J., Pruitt, N. O. (1998.): Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage paper, No. 24, Rome.
- Gerakis, A., Zalidis, G. (1998.): Estimating field-measured, plant extractable water from soil properties: beyond statistical models. *Irrigation and Drainage Systems*, 12, 311-322.
- Mađar, S., Šoštarić, J., Tomić, F., Marušić, J. (1998.): Neke klimatske promjene i njihov utjecaj na poljoprivredu istočne Hrvatske. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, *Znanstveni skup s međunarodnim sudjelovanjem: Prilagodba poljoprivrede i šumarstva klimi i njenim promjenama*, 127-135, Zagreb.
- Petersen, W., Bertino, L., Callies, U., Zorita, E. (2001.): Process identification by principal component analysis of river water-quality data. *Ecological Modelling*, 138, 193-213.
- Romić, D., Marušić, J., Tomić, F., et al. (2005.): Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u Republici Hrvatskoj. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Smith, M. (1992.): Cropwat-A computer program for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage paper, No. 46, Rome.
- Šimunić, I., Pandžić, K., Ivančan-Picek, B., Bogunović, M., Husnjak, S. (2007.): Analiza manjka vode za razne biljne vrste. *Agronomski glasnik*, 69(3), 167-177.
- Šimunić, I., Husnjak, S., Ondrašek, G., Mustać, I., Filipović, V. (2009.): Impact of Drought of Field Crops Grown under Different Agroecological Conditions in Croatia. *Bulletin UASVM Agriculture*, 66(1), 581-586.
- Širić, I., Vidaček, Ž. (1988.): *Hidrokalk – a computer program for calculated balance surface water in soil (Palmer's methods, corrected and calibrated by Vidaček)*, Faculty of Agriculture, University of Zagreb.
- Tomić, F. (1988.): *Navodnjavanje*. Savez poljoprivrednih inženjera i tehničara Hrvatske i Fakultet poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Tomić, F., Romić, D., Mađar, S. (2007.): Stanje i perspektive melioracijskih mjera u Hrvatskoj. *Zbornik radova znanstvenog skupa «Melioracijske mjere u svrhu unapređenja ruralnog prostora*, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, razred za prirodne znanosti i Razred za tehničke znanosti, 7-20, Zagreb.
- Vega, M., Pardo, R., Barrado, E., Deban, L. (1998.): Assessment of seasonal and polluting effects on the river water by exploratory data analysis. *Water Research*, 32(12), 3581-3592.

## IMPACT OF WATER SHORTAGE IN THE SOIL ON CROP YIELDS

**Abstract.** The objective of the investigation was to determine water shortage in the soil in average and dry years, and to calculate a potential yield increase in average years for cultivation of certain crops, on the condition of sufficient availability of water in the soil, in two pedo-climatic locations – in the areas of Koprivnica and Pazin.

Water shortage in the soil in a year with average precipitation values in the Koprivnica area ranged from 73.4 mm for cabbage cultivation to 147.7 mm for sugar beet cultivation, whereas water shortage in dry years ranged from 161.8 mm for sunflower cultivation to 203.0 mm for apple cultivation. In the Pazin area, water shortage in average years ranged from 3.6 mm for olive cultivation to 73.6 mm in the cabbage vegetation period, while the water shortage in dry years was determined in the values from 49.6 mm for olive cultivation to 175.0 mm in the cabbage vegetation period.

In average years in the Koprivnica area it is possible to increase yields from 2.8 % for sunflower cultivation to 31.9% for sugar beet cultivation, whereas in the Pazin area it is possible to increase yields in average years from 1.2 % for olive cultivation to 16.6 % for cabbage cultivation.

The results of the investigation show that it is possible to increase crop yields in average years in both locations included in the investigation.

**Key words:** reference evapotranspiration, water shortage in the soil, crop yields

## EINFLUSS DES BODENWASSERMANGELS AUF ERTRÄGE LANDWIRTSCHAFTLICHER KULTUREN

**Zusammenfassung.** Das Ziel dieser Untersuchung war es, auf zwei pedologisch und klimatisch verschiedenen Gebieten, nämlich auf dem Gebiet von Koprivnica und auf dem Gebiet von Pazin, den Bodenwassermangel in durchschnittlichen und trockenen Jahren festzustellen und mögliche Erhöhung der Erträge bestimmter landwirtschaftlicher Kulturarten in durchschnittlichen Jahren zu errechnen unter der Bedingung, dass im Boden genügend Wasser vorhanden ist.

Der Bodenwassermangel in den Jahren mit durchschnittlichen Niederschlagswerten auf dem Gebiet von Koprivnica lag zwischen 73,4 mm im Kohlanbau und 147,7 mm im Zuckerrübenanbau und in den trockenen Jahren zwischen 161,8 mm im Sonnenblumenanbau und 203,0 mm im Apfelanbau. Auf dem Gebiet von Pazin lag der Bodenwassermangel in den durchschnittlichen Jahren zwischen 3,6 mm im Olivenanbau und 73,6 mm im Kohlanbau im Vergleich zu den Werten zwischen 49,6 mm im Olivenanbau und 175,0 mm im Kohlanbau in den trockenen Jahren.

In den durchschnittlichen Jahren ist es möglich, auf dem Gebiet von Koprivnica die Erträge von 2,8% bei Sonnenblumen bis 31,9% bei Zuckerrübe zu erhöhen, während auf dem Gebiet von Pazin die Erträge von 1,2% im Olivenanbau bis 16,6% im Kohlanbau erhöht werden können.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Erträge von landwirtschaftlichen Kulturarten in durchschnittlichen Jahren auf beiden untersuchten Gebieten erhöht werden können.

**Schlüsselwörter:** Referenzverdunstung, Bodenwassermangel, Erträge landwirtschaftlicher Kulturen