

PEDOLOŠKI I HIDROPEDOLOŠKI UVJETI I POTREBE VODE ZA UZGOJ POLJOPRIVREDNIH KULTURA U HRVATSKOM ZAGORJU

PEDOLOGICAL AND HYDROPEDOLOGICAL CONDITIONS AND WATER REQUIREMENTS FOR CULTIVATION OF AGRICULTURAL CROPS IN HRVATSKO ZAGORJE

Ž. Vidaček, S. Husnjak, D. Rastija

SAŽETAK

Autori ponajprije upozoravaju na globalne i lokalne štete od katastrofalnih klimatskih promjena, s posebnim osvrtom na ekstremno suha razdoblja bez dovoljno oborina – sušu u Hrvatskoj. U cilju popularizacije nacionalnog projekta natapanja (NAPNAV), slijede podaci o pedološkim i hidropedološkim uvjetima i potrebama vode za uzgoj poljoprivrednih kultura u Hrvatskom zagorju. Proračuni potrebe vode za uzgoj odabranih poljoprivrednih kulture su obavljani po modelima funkcioniranja sustava biljka-klima i sustava tlo-biljka-klima. U modelu sustava biljka-klima, komponente su referentna evapotranspiracija (ET_o), evapotranspiracija kulture (ET_k) i koeficijent kultura (kc). U modelu sustava tlo-biljka-klima, komponente su referentna evapotranspiracija (ET_o), evapotranspiracija kulture (ET_k), efektivne oborine 75 %-tne vjerojatnosti pojava, dubina i vodne konstante tla. Na kraju su preporuke za identifikaciju projekata i preliminarno planiranje sustava natapanja, te opća načela gospodarenja izgrađenim sustavima za natapanje.

ABSTRACT

The authors primarily warn of global and local damages from catastrophic climate change, with special reference to extremely dry periods without sufficient precipitation - the drought in Croatia. In order to popularize the national irrigation project (NAPNAV), the following are data on pedological and hydro-pedological conditions and water requirement for growing agricultural crops in Hrvatsko zagorje. Calculations of the water requirement for the cultivation of selected agricultural crops were carried out according to the models of the functioning of the plant-climate system, and soil-plant-climate system.

In the model of plant-climate system, the components are reference evapotranspiration (ET_o), crop evapotranspiration (ET_k) and crop coefficient (kc). In the model of soil-plant-climate system the components are reference evapotranspiration (ET_o), crop evapotranspiration (ET_k), effective precipitations with a 75% probability of occurrence, depth and soil water constant. At the end, there are recommendations for project identification and preliminary planning of irrigation systems, as well as general principles of management of constructed irrigation systems.

UVOD

Ljeto je, dvije tisuće dvadeset i druga godina. Populacije na Zemlji opet trpe katastrofalne posljedice klimatskih promjena globalno, nacionalno, lokalno i pojedinačno u vidu poplava, tuče, toplinskih udara, vulkanskih erupcija, pijavica, dugotrajnijih i ekstremno suhih razdoblja bez dovoljno oborina - meteorološka, agronomska (hidropedološka), hidrološka i socio-ekonomska suša. Smanjuju se zalihe vode u tlu, jezerima i vodotocima. U opasnosti su i podzemne vode otvorenih vodonosnika.

Od svih ekstremnih vremenskih nepogoda izazvanih klimatskim promjenama suša ima najveći ekonomski utjecaj na društvo. Prema globalnim i lokalnim scenarijima klimatskih promjena, u bližoj budućnosti se očekuju sve češće suše jačeg intenziteta, koje direktno utječu na održivost proizvodnje najvažnijih poljoprivrednih kultura i u Hrvatskoj.

Početkom 2004. godine Vlada RH je pokrenula aktivnosti za izradu Projekta natapanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama Hrvatske (NAPNAV) sa ciljem boljeg korištenja tala i voda u proizvodnji hrane. Međutim, plan i strategija NAPNAV ne daju očekivane rezultate na štetu oporavka poljoprivredne proizvodnje i nacionalnog gospodarstva.

Rasprave o problematici šteta i promašenim politikama poljoprivredne proizvodnje budu aktualizirane uglavnom u sušnim godinama, uključujući i ekstremno sušnu 2022. godinu. Poljoprivrednici, struka, znanost i politika, opet očekuju uspješniju operacionalizaciju prihvaćenog plana natapanja u smislu bolje međuresorne suradnje i rješanje problema priključivanja poljoprivrednika na izgrađene sustave za natapanje.

Nakon višegodišnjih pedoloških i hidropedoloških istraživanja Hrvatskog zagorja u funkciji planiranja i projektiranja hidromelioracija, agromelioracija, komasacije, utvrđivanja utjecaja hidroelektrana na okoliš i zaštiti poljoprivrednog tla od onečišćenja, autori ovog preglednog rada suradnici su

diljem Hrvatske u izradi projektne dokumentacije za izgradnju objekata i sustava natapanja.

Proračuni potreba vode za uzgoj poljoprivrednih kultura u sustavu biljka – klima i u sustavu tlo-biljka-klima, prilog su metodama detaljnog planiranja dopunskog natapanja poljoprivrednih kultura u Hrvatskoj.

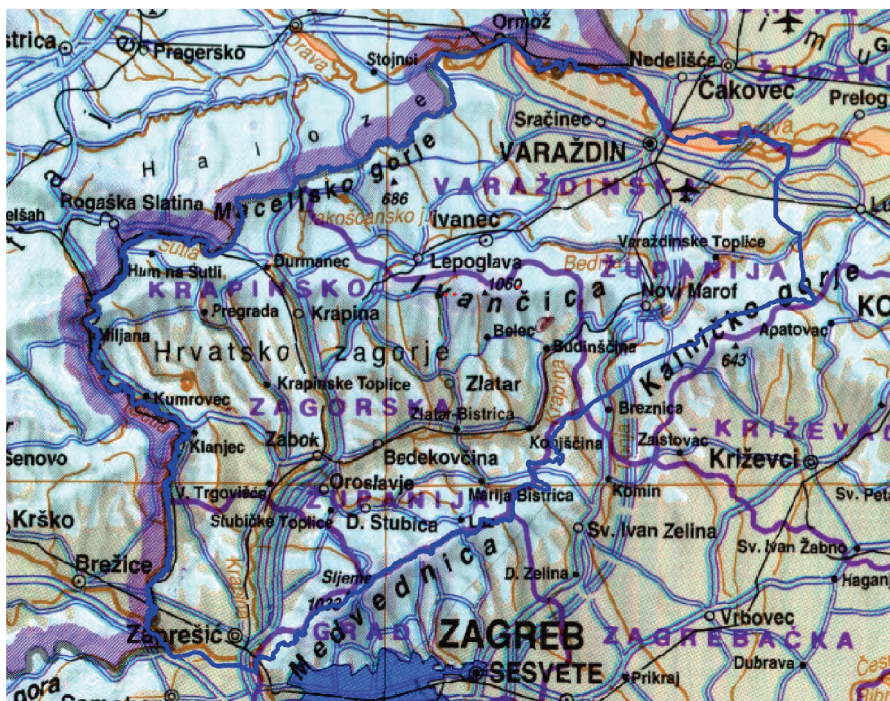
KORIŠTENI MATERIJALI I METODE

Hidropedološke jedinice načina vlaženja i režima vlažnosti obrađenih tala u priloženoj Hidropedološkoj karti Hrvatskog zagorja su iz Osnovne Hidropedološke karte Hrvatske mjerila 1:300.000, Vidaček i sur. 2002. godine. Izvorni meteorološki podaci postaje Varaždin, uključuju mjesečne i godišnje oborine (mm), temperature zraka (°C), jačinu vjetra (m/s), sume sijanja sunca (h) i srednju mjesečnu i godišnju relativnu vlagu zraka (%). Vjerojatnost pojava oborina i evapotranspiracije je prema jednadžbi Hazen-a, $Fa = (2n-1) \times 100 / 2y$, gdje su **Fa** - vjerojatnost pojava (%), **n** – broj istovrsnih opažanja i **y** – ukupan broj opažanja, FAO 1974. Izračun referentne evapotranspiracije (ET_o) i evapotranspiracije kultura u uzgoju (ET_k) je prema FAO revidirano 1977. Efektivne oborine su izračunate USBR metodom, Smith. M., 1992. Hidrokalk, korigiran, kalibriran i digitaliziran kompjuterski programski paket, korišten je za proračun bilance oborinske vode u sustavu tlo-biljka-klima, Vidaček, Ž., Tanić, S., 1989.

REZULTATI I RASPRAVA

1. Geografski položaj i smještaj

Hrvatsko zagorje je kulturno-povijesna hrvatska regija i zasebna prirodno-zemljopisna cjelina u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske, slika 1. Od Zagreba je odvojena Medvednicom. To je pretežno brežuljkast kraj između Medvednice, Kalnika, rijeke Drave, Sutle i Save čijim se središnjim dijelom, u smjeru zapad-istok, pruža gorski niz Maceljska gora - Strahinjščica - Ivanščica - Varaždinsko topličko gorje koji dijeli Zagorje na dva dijela – sjeverno i južno. Sjeverni dio Zagorja obuhvaća Varaždinsku županiju, a južni Krapinsko-zagorsku županiju i maleni dio Zagrebačke županije. Sa zapadne strane se na Zagorje preko rijeke Sutle nadovezuje Slovenska Štajerska, Wikipedija, 2022.



Slika 1. Smještaj Hrvatskog zagorja

Picture 1 Position of Hrvatsko Zagorje

2. Pedološki uvjeti

Ukupna površina Hrvatskog zagorja je 244.369 hektara. Od toga na obrađeno poljoprivredno zemljište otpada 84.597 bruto hektara. Šume i travnjaci zauzimaju 155.435 hektara, naselja 2.078 hektara i vodene površine 2.258 hektara.

U dolinama rijeka pedološki pokrov čine aluvijalna i koluvijalna oglejena i neoglejena tla livada i vlažnih oranica. U nizinskom području uz vodotoke nalazimo koluvijalno oglejeno, aluvijalno oglejeno, pseudoglej glejno, močvarno glejno hipoglejno, močvarno glejno amfoglejno tlo rasprostranjenih livada i pašnjaka, te semiglejno tlo oranica.

Na brežuljcima i gorju do 500 m.n.m. i do 16 % nagiba terena su pretežno sirozem i rendzina na vapnenoj podlozi, eutrično smeđe na laporu, kiselo smeđe na pješčenjaku, lesivirano na lesu, pseudoglej na zaravni i pseudoglej obronačno tlo oranica, vrtova, voćnjaka, vinograda i travnjaka na brežuljcima.

3. Hidropedološki uvjeti

Hidropedologija ili hidrologija tla kao znanstvena disciplina bavi se proučavanjem pojava i kretanja vode u tlu ili/i u sustavu tlo-biljka-atmosfera.

3.1. Oborine i suša

U razdoblju 2000.-2021. godišnji maksimum oborina je bio 1312 mm u 2014. godini, a minimum 481 mm u 2011. godini. **Maksimalna količina mjesečnih oborina** od svibnja do rujna je od 205 mm do 291 mm, a minimalna od 8 mm do 32 mm. Godišnja suma 75%-tne vjerojatnosti efektivnih oborina¹ je 426 mm, a u razdoblju svibanj-rujan je 235 mm oborina, tablica 1. Oborine tijekom godine, njihova razdioba po mjesecima, godišnjim dobima, intenzitetu i nesigurnosti pojava, imaju snažan utjecaj na izbor, rast, razvoj i prinose uzgajanih poljoprivrednih kultura. U novije vrijeme, sve su češća ekstremno suha razdoblja-suše zbog pomanjkanja oborina, smanjujući zalihe vode u tlu, jezerima i vodotocima, izazivajući ogromnu štetu u poljoprivredi, vodoprivredi i nacionalnom gospodarstvu. Najveće štete uzrokuju suše koje se pojavljuju u kasno proljeće i ljeto, kada su uz izostanak oborina prisutne i visoke temperature zraka. Suša se najčešće definira pomoću četiri glavna tipa: meteorološka, **agronomska (hidropedološka)**², hidrološka i socio-ekonomska suša. Kratkoročan manjak vode u površinskom sloju tla koji se javlja u kritičnom razdoblju razvoja biljaka može uzrokovati **agronomsku sušu**. Početak agronomske suše može zaostajati za meteorološkom sušom, ovisno o stanju površinskog sloja tla. Visoke temperature zraka, niska relativna vlažnost zraka i vjetar pojačavaju negativne posljedice agronomske suše, HDMZ 2022.

*Ekstremno visoka temperatura-toplinski stres*³ i suša utječu štetno na početak klijanja, fotosintezu, početak cvatnje, razvoj zrna kod žitarica, sterilnost, trajanje rasta kultura, porast korova, insekata i biljnih bolesti. Najveće štete se obično događaju u najosjetljivijim fazama razvoja usjeva.

¹ Od izmjerene količine oborina koja padne na neki usjev, jedan dio se gubi površinskim otjecanjem i procjeđivanjem u dublje slojeve, drugi dio se zadržava na biljkama (intercepcija), a ostatak su **efektivne oborine** za usjeve, koje ovise o fizikalnim i kemijskim značajkama tla, količini, rasporedu i intenzitetu oborina i geomorfologiji područja.

² **Hidropedološka suša** je stanje manjka fiziološki aktivne vode u tlu za normalan rast i razvoj biljaka, Vidaček Ž., Husnjak S. i Rastija D., 2022.

³ **Toplinski stres** i štete na biljkama se događaju kada *temperature zraka deset i više dana uzastopno prelaze 30 °C*.

Tablica 1. Oborine (O) i 75 %-tna vjerojatnost efektivnih oborina(EO), Varaždin 2000.-2021.

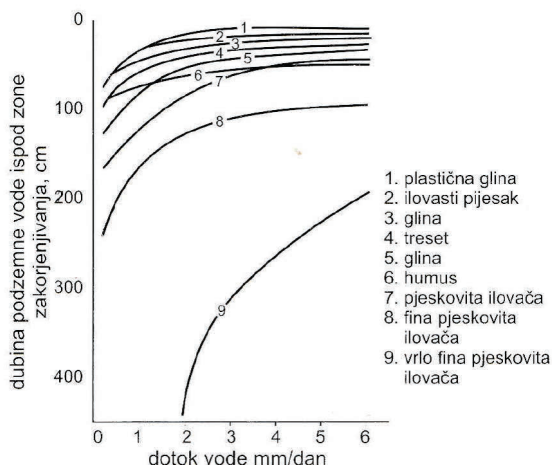
Table 1 Precipitation and 75% probability of effective precipitations (EO), Varaždin 2000-2021.

Mjeseci-Months, mm											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Maksimalne oborine-Max. precipitations											
122	139	13	121	209	176	205	212	291	188	215	120
Minimalne oborine-Min. precipitations											
6	1	1	5	24	19	32	8	26	4	1	1
Prosječne oborine-Average precipitations											
43	53	49	58	85	87	89	85	112	79	72	53
75 %-tna vjerojatnosti efektivnih oborina(EO)-Effective precipitation											
21	25	19	28	38	47	49	39	62	33	39	26

3.2. Podzemne vode

Podzemna voda ulazi u pore i pukotine u stijenama, tlu, ispod površine i iznad nepropusnog sloja. Ona se može slobodno kretati gravitacijski, bilo dolje prema nepropusnom sloju ili slijedeći nagnutu površinu. U hidropedologiji i fizici tla, podzemnu vodu dijelimo prema maksimalnoj razini na vrlo plitku 0-50 cm, plitku 50-100 cm srednje duboku 100-200 cm i duboku preko 200 cm dubine tla.

Dotok iz podzemne vode biljci je određen dubinom podzemne vode, kapilarnim svojstvima tla i sadržajem vode u zoni korijenja, slika 2.



Slika 2. Mogući dotok vode u vlažni rizosferni sloj, FAO, 1977.

Picture 2 Possible inflow of water into the moist rhizosphere layer, FAO, 1977

Na primjer u pjeskovito ilovastom tlu, u svibnju je dnevna referentna evapotranspiracija (ET₀) 3,8 mm/dan, a podzemna je voda na 90 cm dubine, onda je pregledom u slici 2 dotok vode u vlažni rizosferni sloj tla oko 1,5 mm/dan ili je to 49 % od dnevne referentne evapotranspiracije (ET₀).

3.3. Hidropedološke jedinice prema načinu vlaženja i režimu vlažnosti obradivog tla

Na području Hrvatskog zagorja nalazimo dvanaest (12) različitih hidropedoloških jedinica prema načinu vlaženja sa odgovarajućim režimima vlažnosti tla, tablica 2 i slika 3.

Tablica 2. Hidropedološke jedinice prema načinu vlaženja i režimu vlažnosti obrađenog tla

Table 2 Hydropedological units according to the mode of moistening and the moisture regime of the cultivated soil

Načini vlaženja tla Mode of moistening the soil-units	Režim vlažnosti tla do 2 m dubine Soil moisture regime up to 2 m deep
1. Ekscesivno drenirani	Vlaženje vrlo brzo procjednom oborinskom vodom *K>4,8 m/dan
2. Dobro drenirani	Vlaženje brzo procjednom oborinskom vodom K =1,4-4,8 m/dan
3. Umjereno dobro drenirani	Vlaženje umjereno brzo procjednom oborinskom vodom K = 0,5-1,4 m/dan
4. Aluvijalni neplavljeni	Vlaženje brzo procjednom oborinskom vodom K =1,4-4,8 m/dan
5. Slabo pseudoglejni	Vlaženje sporo procjednom oborinskom vodom K = 0,01-0,5 m/dan
6. Jako pseudoglejni	Vlaženje sporo procjednom oborinskom vodom K = 0,01-0,5 m/dan i stagnirajućom oborinskom vodom K < 0,01 m/dan
7. Aluvijalni plavljeni	Vlaženje brzo procjednom oborinskom i poplavnom vodom K = 0,5-4,8 m/dan + plitkom 0,5-1,0 m ili srednje dubokom 1,0-2,0 m podzemnom vodom maksimalne razine
8. Pseudoglej-glejni	Vlaženje sporo procjednom oborinskom vodom K = 0,01-0,5 m/dan i stagnirajućom oborinskom vodom K < 0,01 m/dan + srednje dubokom podzemnom vodom 1,0-2,0 m maksimalne razine
9. Srednje duboko hipoglejni	Vlaženje procjednom površinskom vodom K = 0,5-1,4 m/dan + srednje dubokom podzemnom vodom 1,0-2,0 m maksimalne razine
10. Vrlo plitko i plitko hipoglejni	Vlaženje procjednom površinskom vodom K=0,5-1,4 m/dan + vrlo plitkom ili plitkom podzemnom vodom 0-1,0 m maksimalne razine
11. Epiglejni i srednje duboko hipoglejni	Vlaženje sporo procjednom K = 0,01-0,5 m/dan i stagnirajućom K < 0,01 m/dan površinskom vodom + srednje dubokom podzemnom vodom 1,0-2,0 m maksimalne razine
12. Hidromeliorirani	Kanalima i/ili cijevnom drenažom od 7-11

*Tumač: K-koeficijent propusnosti tla za vodu-K-coefficient of soil water permeability

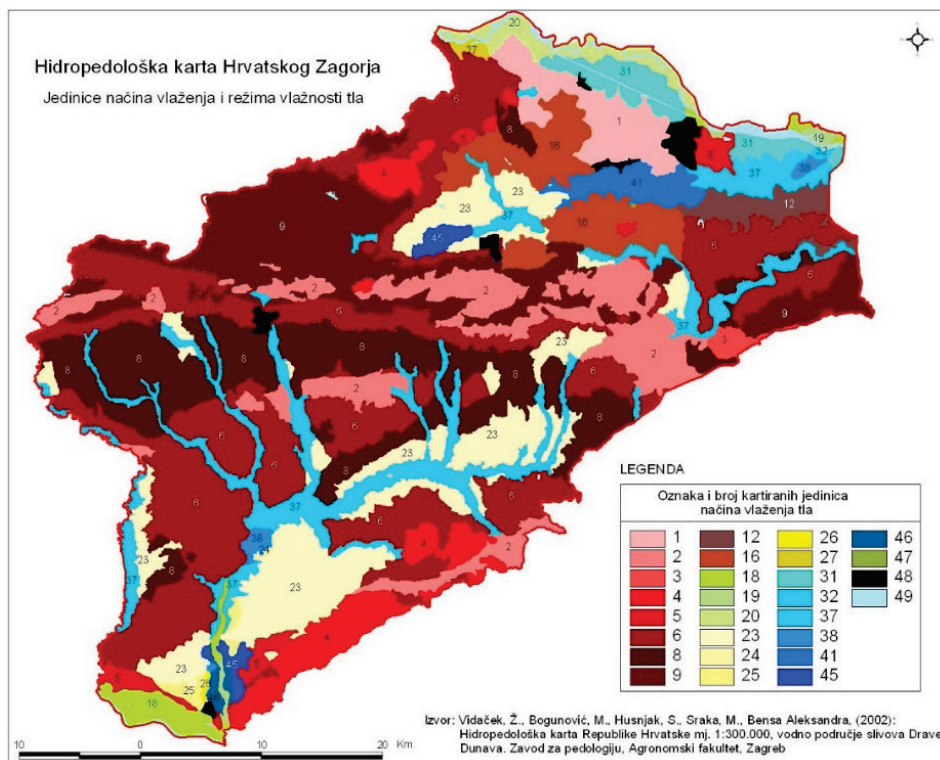


Slika 3. Načini vlaženja i režimi vlažnosti tla

Picture 3 Modes of moistening and regimes of soil moisture

3.4. Tumač hidropedološke karte jedinica načina vlaženja i režima vlažnosti tla

Hidropedološku kartu i tumač karte jedinica načina vlaženja tla s odgovarajućim režimom vlažnosti tala Hrvatskog zagorja je izradio Husnjak S., slika 4. Dvanaest (12) jedinica načina vlaženja i režima vlažnosti obrađenog tla je raspoređeno u dvadesetpet (25) heterogenih i jednu (1) homogenu kartografsku jedinicu, tablica 3 prvi i drugi dio.



Slika 4. Hidropedološka karta načina vlaženja i režima vlažnosti obradenog tla
Picture 4 Hydropedological map of modes of moistening and moisture regime of cultivated soil

Tablica 3. Tumač Hidropedološke karte načina vlaženja i režima vlažnosti obradenog tla, prvi dio
Table 3 Hydropedological map of modes of moistening and moisture regime of cultivated soil, first part

Kartografske jedinice Cartographic units		%	Ukupno Total ha	Šume i travnjaci Forest and pastures, ha	Obradeno tlo Arable land ha
No	Struktura Structures				
1	Ekscesivno drenirani	80	6.743,3	384,3	6.359,0
	Umjereni dobro drenirani	20			
2	Ekscesivno drenirani	70	19.161,9	17.275,7	1.886,2
	Dobro drenirani	30			

Ž. Vidaček: Pedološki i hidropedološki uvjeti i potrebe vode za uzgoj poljoprivrednih kultura u Hrvatskom zagorju

3	Dobro drenirani Ekscesivno drenirani	60 40	875,5	763,9	111,6
4	Dobro drenirani	100	8.997,0	8.716,7	280,3
5	Umjerenom dobro drenirani Dobro drenirani	70 30	3.674,4	1.101,2	2.573,2
6	Dobro drenirani Umjerenom dobro drenirani	50 50	61.624,5	45.774,1	15.850,4
8	Dobro drenirani Slabo pseudoglejni	90 10	30.722,6	23.145,6	7.577,
9	Dobro drenirani Slabo pseudoglejni	80 20	26.820,8	25.097,1	1.723,7
12	Dobro drenirani Umjerenom dobro drenirani Vrlo plitki i plitki hipoglejni	60 20 20	3.363,7	949,3	2.414,4
16	Umjerenom dobro drenirani Dobro drenirani Slabo pseudoglejni Vrlo plitki i plitki hipoglejni	50 20 20 10	11.271,5	6.698,7	4.572,8
18	Aluvijalni neplavljeni Srednje duboko hipoglejni Aluvijalni plavljeni	50 30 20	2.942,1	729,0	2.213,1
19	Aluvijalni neplavljeni Srednje duboko hipoglejni, hmk* Aluvijalni plavljeni	50 30 20	692,8	303,6	389,2
20	Aluvijalni, neplavljeni Vrlo plitki i plitki hipoglejni	90 10	2.911,7	1.692,6	

Tablica 3. Tumač Hidropedološke karte načina vlaženja i režima vlažnosti obradenog tla, drugi dio

Table 3 Hydropedological map of modes of moistening and moisture regime of cultivated soil, second part

Kartografske jedinice Cartographic units		%	Ukupno Total ha	Šume i travnjaci Forest and pasture, ha	Obradeno tlo Arable land ha
No	Struktura Structures				
23	Slabo pseudoglejni	80	26.112,1	15.043,3	11.068,
	Jako pseudoglejni	10			
	Automorfni, umjerenom dobro drenirani	10			
24	Slabo pseudoglejni, hmk*	80	100,4	12,3	88,1
	Jako pseudoglejni, hmk*	10			
	Automorfni, umjerenom dobro drenirani	10			
25	Jako pseudoglejni	70	911,9	227,8	684,1
	Automorfni, dobro drenirani	20			
	Slabo pseudoglejni	10			

Ž. Vidaček: Pedološki i hidropedološki uvjeti i potrebe vode za uzgoj poljoprivrednih kultura u Hrvatskom zagorju

26	Jako pseudoglejni, hmk*	70	127,9	32,5	95,3
	Automorfni, dobro drenirani	20			
	Slabo pseudoglejni, hmk*	10			
27	Jako pseudoglejni	70	363,7	113,7	250,0
	Pseudoglej-glejni	20			
	Vrlo plitki i plitki hipoglejni	10			
31	Srednje duboko hipoglejni	70	4.076,0	205,5	3.870,5
	Vrlo plitki i plitki hipoglejni	20			
	Epiglejni i srednje duboko hipoglejni	10			
32	Srednje duboko hipoglejni, hmk*	70	144,6	0,0	144,6
	Vrlo plitki i plitki hipoglejni, hmk*	20			
	Epiglejni i srednje duboko hipoglejni, hmk*	10			
37	Vrlo plitki i plitki hipoglejni	60	21.846,0	6.121,1	15.724,9
	Epiglejni i srednje duboko hipoglejni	20			
	Jako pseudoglejni	10			
	Pseudoglej-glejni	10			
38	Vrlo plitki i plitki hipoglejni, hmk*	60	933,5	127,9	805,7
	Epiglejni i srednje duboko hipoglejni, hmk*	20			
	Jako pseudoglejni, hmk*	10			
	Pseudoglej-glejni, hmk*	10			
41	Vrlo plitki i plitki hipoglejni	60	3.282,1	243,0	3.039,0
	Epiglejni i srednje duboki hipoglejni	40			
45	Epiglejni i srednje duboki hipoglejni	80	1.734,2	460,2	1.274,0
	Vrlo plitki i plitki hipoglejni	20			
46	Epiglejni i srednje duboki hipoglejni, hmk*	80	584,4	204,2	380,3
	Vrlo plitki i plitki hipoglejni, hmk*	20			
47	Hidromeliorirani cijevnom drenažom	100	14,1	11,9	2,2
48	Naselja		2.078,6		
49	Vodene površine		2.258,0		
Ukupno			244.369,0	155.435,0	84.597,4

*hmk - hidromeliorirano tlo kanalima / hydromeliorated soil with canals

4. Prioriteti za uređenje natapanog tla

Sadašnja uporabna vrijednost poljoprivrednog zemljišta za natapanje usjeva je ograničena zbog različite dubine tla, teksture, opskrbljenosti tla biljni hranjivima, zbog načina vlaženja i režima vlažnosti tla, nagiba terena, erozije, klizišta, magle, mraza i tuče.

U cilju održivosti i optimalizacije uvjeta poljoprivredne proizvodnje i funkcioniranja sustava tlo-biljka-klima, planiramo, projektiramo i izvodimo hidrotehničke i/ili agrotehničke melioracije. **Hidrotehničke melioracije** uključuju odvodnju, natapanje, zaštitu od poplava i erozije. **Agrotehničke melioracije** uključuju melioracijsku obradu (duboka obrada, podrivanje,

rahljenje, krtičenje, baulacija), melioracijsku gnojdbu, kalcizaciju, humizaciju, te agrotehničke i biološke protu erozijske mjere. Hidrotehničke i agrotehničke melioracije u funkciji temeljitog poboljšanja uvjeta poljoprivredne proizvodnje obuhvaćaju različite tehničke, pravno-imovinske, organizacijske i ekonomske mjere sanacije i eksploatacije zemljišnih resursa.

U kontekstu melioracije tla i poboljšanje plodnosti i produktivnosti tla, natapanje je kapitalna investicija, koja je opravdana samo uz plodno-produktivno tlo i uz visoko usavršenu tehnologiju poljoprivredne proizvodnje.

Od ukupno 84.597 ha obrađenog zemljišta Hrvatskog zagorja 44.060 ha je prioriteta za **agromelioracije** s natapanjem rentabilnih kultura, uključujući hidropedološke jedinice ekscesivno drenirane 6.453 hektara, dobro drenirane 20.327 ha, umjereno dobro drenirane 14.883 ha i neplavljene 2.397 ha.

Obrađenog zemljišta prioritera za **hidro i agromelioracije** sa ili bez natapanja ima ukupno 40.537 hektara, uključujući slijedeće hidropedološke jedinice: aluvijalno plavljene 521 hektara, slabo pseudoglejne 10.941 hektara, jako pseudoglejne 3.333 hektara, pseudoglej-glejne 1.623 hektara, srednje duboko hipoglejne 3.374 hektara, vrlo plitko i plitko hipoglejne 13.374 hektara, epiglejne i srednje duboko hipoglejne 5.767 hektara, srednje duboko hipoglejne hidromeliorirane kanalima 219 hektara, slabo pseudoglejne hidromeliorirane kanalima 80 hektara, jako pseudoglejne hidromeliorirane kanalima 156 hektara, vrlo plitko i plitko hipoglejne hidromeliorirane kanalima 589 hektara, pseudoglej-glejne hidromeliorirane kanalima 80 hektara, hidromeliorirane cijevnom drenažom oko 2 hektara, te epiglejne i srednje duboko hipoglejne hidromeliorirane kanalima 478 hektara, tablica 3. prvi i drugi dio, te slika 4.

5. Potrebe vode za uzgoj poljoprivrednih kultura

5.1. Proračun potreba vode za uzgoj poljoprivrednih kultura po modelu sustava biljka - klima

U sklopu projektne dokumentacije za planiranje i projektiranje sustava natapanja, određuju se potrebe vode za uzgoj i/ili dopunsko natapanje poljoprivrednih kultura u cilju otklanjanja šteta za vrijeme manjka oborinske vode i suša, zatim zbog racionalnog korištenja poljoprivrednog zemljišta, poljoprivrednih kultura i izvora vode.

5.1.1. Referentna evapotranspiracija (ET_o)

U praksi, potreba vode za optimalan rast i razvoj poljoprivrednih kultura je izražena evapotranspiracijom (ET)⁴ u mm/dan ili mm/razdoblje. Može se izraziti i kao referentna evapotranspiracija (ET_o), odnosno kao evapotranspiracija zelene trave visine 8-15 cm, aktivnog rasta, gustog sklopa i dovoljno vlage u tlu, Penman-Monteith 1965⁵, tablica 4.

Tablica 4. Referentna mjesečna evapotranspiracija (ET_o), Varaždin 2000.-2021. godine

Table 4 Reference monthly evapotranspiration (ET_o), Varaždin 2000-2021 years

Mjeseci-Months mm											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Maksimalna evapotranspiracija (ET _o)-Max. evapotranspiration											
19	34	56	90	119	147	153	136	81	46	26	18
Minimalna evapotranspiracija (ET _o)- Min. evapotranspiration											
9	15	32	57	80	105	120	94	55	32	15	9
Prosječna referentna evapotranspiracija (ET _o)-Average reference evapotranspiration											
13	21	45	74	105	125	134	114	69	39	20	13

5.1.2. Evapotranspiracija poljoprivrednih kultura (ET_k)

Referentna evapotranspiracija ET_o predviđa utjecaj klime na evapotranspiraciju usjeva bez utjecaja relevantnih značajki pojedinih usjeva. Kako bi uključili i utjecaj usjeva na izračun potreba vode, koristi se koeficijent usjeva (k_c), prema izrazu FAO 1979.:

$$ET_k = ET_o \times k_c$$

Vrijednost k_c se odnosi na evapotranspiraciju zdravog usjeva na većim poljima, sa optimalno gnojenim i vlažnim tlom i usjev s punim proizvodnim potencijalom. Na vrijednost koeficijenta usjeva (k_c) uglavnom utječu značajke usjeva, sadnja ili sjetva, razvojni stadiji usjeva (početni, razvojni, središnji i kasni) i klimatski uvjeti.

⁴ **Evapotranspiracija** (evaporacija+transpiracija) je zbirni naziv za gubitak vode iz tla i biljke.

⁵ Penman-Monteith-ova jednadžba aproksimira neto **evapotranspiraciju (ET)** iz meteoroloških podataka, kao zamjenu za izravno mjerenje evapotranspiracije. Jednadžba se široko koristi i standardna je metoda za modeliranje evapotranspiracije koju koristi FAO. Dobivena procjena je referentna evapotranspiracija, (ET_o).

Izračun prosječnih mjesečnih evapotranspiracija kultura (ETk) ili potreba vode za usjeve na području Hrvatskog zagorja, obuhvaća slijedeće poljoprivredne kulture i/ili usjeve: kukuruz silažni i merkantilni, pšenicu, ozimi i jari ječam, krumpir, šećernu repu, kupus i kelj, papriku i krastavac, luk, salate, endiviju i radič, rajčicu, djetelinsko-travne smjese i drvenaste kulture, tablice 5. - 20.

Tablica 5. Evapotranspiracija silažnog kukuruza

Table 5 Silage corn evapotranspiration

Mjeseci	V	VI	VII	VIII
ETo, mm	105	125	134	114
kc	0.4	0.75	1.1	1.1
ETk, mm	42	94	147	125

Tablica 6. Evapotranspiracija kukuruza-merkantilnog

Table 6 Corn mercantile evapotranspiration

Mjeseci	V	VI	VII	VIII	IX
ETo, mm	105	125	134	114	69
kc	0.4	0.75	1.1	1.1	0.55
ETk, mm	42	94	147	125	38

Tablica 7. Evapotranspiracija pšenice

Table 7 Wheat evapotranspiration

Mjeseci	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI
ETo, mm	39	20	13	13	21	45	74	105	125
kc	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.65	1.05	0.25
ETk, mm	14	7	5	5	7	16	48	110	31

Tablica 8. Evapotranspiracija ozimog ječma

Table 8 Winter barley evapotranspiration

Mjeseci	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI
ETo, mm	39	20	13	13	21	45	74	105	125
kc	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.65	1.05	0.25
ETk, mm	14	7	5	5	7	16	48	110	31

Tablica 9. Evapotranspiracija jarog ječma

Table 9 Spring barley evapotranspiration

Mjeseci	III	IV	V	VI
ETo, mm	45	74	105	125
kc	0.35	0.65	1.05	0.25
ETk, mm	16	48	110	31

Tablica 10. Evapotranspiracija krumpira

Table 10 Potato evapotranspiration

Mjeseci	IV	V	VI	VII	VIII	IX
ET _o , mm	74	105	125	134	114	69
kc	0.35	0.6	0.6	1.05	1.05	0.7
ET _k , mm	26	63	75	141	120	48

Tablica 11. Evapotranspiracija šećerne repe

Table 11 Sugar beet evapotranspiration

Mjeseci	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
ET _o , mm	45	74	105	125	134	114	69	39
kc	0.45	0.45	0.8	1.1	1.1	1.1	1.1	0.6
ET _k , mm	20	33	84	138	147	125	76	23

Tablica 12. Evapotranspiracija uljane repice

Table 12 Oilseed rape evapotranspiration

Mjeseci	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI
ET _o , mm	69	39	20	13	13	21	45	74	105	125
kc	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.6	1.05	1.05	0.4
ET _k , mm	24	14	7	5	5	7	27	75	110	50

Tablica 13. Evapotranspiracija kupusa i kelja

Table 13 Cabbage and Kale evapotranspiration

Mjeseci	VI	VII	VIII	IX
ET _o , mm	125	134	114	69
kc	0.4	0.9	0.95	0.8
ET _k , mm	50	121	108	55

Tablica 14. Evapotranspiracija paprike i krastavaca

Table 14 Peppers and Cucumbers evapotranspiration

Mjeseci	V	VI	VII	VIII
ET _o , mm	105	125	134	114
kc	0.4	0.95	0.95	0.8
ET _k , mm	42	119	127	91

Tablica 15. Evapotranspiracija luka

Table 15 Onion evapotranspiration

Mjeseci	IV	V	VI	VII	VIII
ET _o , mm	74	105	125	134	114
kc	0.3	0.4	0.95	0.95	0.75
ET _k , mm	22	42	119	127	86

Tablica 16. Evapotranspiracija salate, endivije i radiča

Table 16 Lettuce, Endives and Chicory evapotranspiration

Mjeseci	VII	VIII	IX
ET _o , mm	134	114	69
kc	0.8	0.95	0.9
ET _k , mm	107	108	62

Tablica 17. Evapotranspiracija rajčice

Table 17 Tomato evapotranspiration

Mjeseci	V	VI	VII	VIII	IX
ET _o , mm	105	125	134	114	69
kc	0.4	1.1	1.05	1.05	0.6
ET _k , mm	42	138	141	120	41

Tablica 18. Evapotranspiracija djetelinsko-travne smjese

table 18 Clover-grass mixtures evapotranspiration

Mjeseci	V	VI	VII	VIII	IX	X
ET _o , mm	105	125	134	114	69	39
kc	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
ET _k , mm	89	106	114	97	59	33

Tablica 19. Evapotranspiracija drvenastih kultura

Table 19 Woody crops evapotranspiration

Mjeseci	IV	V	VI	VII	VIII	IX
ET _o , mm	55	85	109	125	111	72
kc	0.5	0.75	1.1	1.1	1.1	0.85
ET _k , mm	28	64	120	138	122	61

Proračunom u sustavu biljka-klima je utvrđeno, da su ukupne vrijednosti evapotranspiracije kultura/usjeva (ETk) ili potrebe vode za uzgajane kulture kod žitarica od 205 mm do 446 mm, industrijskog bilja 324 mm i 646 mm i povrća od 277 mm do 482 mm. Za djetelinsko travne smjese treba u tijeku aktivne vegetacije 482 mm i za drvenaste kulture 533 mm vode, tablica 20.

Tablica 20. Rekapitulacija mjesečnih i ukupnih evapotranspiracija kultura/usjeva (ETk)

Table 20 Recapitulation of monthly and total evapotranspiration of crops/crops (ETk) for selected crops

*Kulture i mjeseci	Kukuruz silažni	Kukuruz merkantilni	Pšenica	Ozimi ječam	Jari ječam	Krumpir	Šećerna repa	Uljana repica	Kupus i kelj	Paprika i krastavci	Luk	Salata, endivija, radič	Rajčica	Djet. travne smjese	Drvenaste kulture
mm vode															
I			5	5				5							
II			7	7				7							
III			16	16	16		20	27							
IV			48	48	48	26	33	75			22				28
V	42	42	110	110	110	63	84	110		42	42		42	89	64
VI	94	94	31	31	31	75	138	50	50	119	119		138	106	120
VII	147	147				141	147		121	127	127	107	141	114	138
VIII	125	125				120	125		108	91	86	108	120	97	122
IX		38				48	76	24	55			62	41	59	61
X			14	14			23	14						33	
XI			7	7				7							
XII			5	5				5							
Ukupno	408	446	243	243	205	473	646	324	334	379	396	277	482	498	533

* Engleski prijevod u tablicama (5-19) / English translation in tables (5-19)

6. Proračun potreba vode za dopunsko natapanje poljoprivrednih kultura po modelu sustava tlo-biljka-klima

Vodni režim tla uključuje sveukupne pojave premještanja vode u tlu, promjene zaliha vode po dubini i razmjenu oborinske vode između tla i drugih prirodnih tijela sa ili bez utjecaja podzemne vode. Sa aspekta sustava tlo-biljka-klima to znači ulaz, zadržavanje i gubitak vode iz tla. Količinski izraz za vodni režim tla je bilanca vode u tlu.

Uzimajući u obzir međusobno djelovanje komponenata sustava tlo-voda-klima, korištene su mnoge jednostavnije i jednostrane metode i mjere kojima se izražavala suša ili vlažnost (npr. Langov kušni faktor, De Martonne-ov indeks

suše i mnogi drugi). Među prvima je počeo Thornthwaite uvoditi nove veličine viška i manjka vode u tlu, uzevši u obzir donekle i zalihe vode u tlu, pretpostavljajući da tlo može sadržavati najviše 100 mm vode u zoni rizosfere.

Međutim, još veće približavanje realnosti je postigao Palmer W.C. 1965. godine. Njegova metoda uključuje analizu sušnih i vlažnih konsektivnih vremenskih intervala, polazeći od stvarnih i za svaki slučaj određenih vodnih svojstava tla. Metoda ima dva dijela. Prvi dio kojeg mi koristimo je **hidrološki proračun ili proračun bilance vode**, a drugi dio koji nismo koristili u hidropedološkoj praksi, obuhvaća proračun odgovarajućih klimatskih veličina, te račun indeksa suše i vlažnosti.

Dvije su osnovne pretpostavke **Palmerovog hidrološkog proračuna**, koje aproksimiraju procese prostornog i dinamičkog shvaćanja sustava **tlo-biljka-klima**. Kao prvo, oborine se troše prvenstveno na evapotranspiraciju, zatim na procjeđivanje u tlu, a višak otječe. Kao drugo, sloj tla u proračunu se dijeli na površinski i podpovršinski sloj.

U hidropedologiji koristimo korigirani, kalibrirani i kompjuterski programiran hidrološki proračun Palmer-ove metode „Hidrološki“⁶ Vidaček i Tanić 1989. godine, gdje se stanje dinamičke ravnoteže komponenata bilance oborinske vode izražava općom jednadžbom:

$$O + G = AE + Pu + OT \quad \text{gdje su}$$

O - oborine, G - gubitak vode iz tla, AE - aktualna evapotranspiracija,

Pu - punjenje tla vodom, OT - otjecanje vode

Za područje Hrvatskog zagorja u korigiranom i kalibriranom postupku Palmera, izračun potreba ili manjka oborina za pojedine kulture/usjeve uključuje, prosječnu referentnu evapotranspiraciju (ET_o) ili prosječnu evapotranspiraciju kultura (ET_k), zatim 75 %-tnu vjerojatnost pojava efektivnih oborina (EO)⁷ i vodne konstante praškasto glinasto ilovastog tla 60 cm dubine ili površinskog sloja tla 0-10 cm (Z₁) i podpovršinskog sloja 10-60 cm dubine (Z₂), odnosno poljski kapacitet tla za vodu (PK_v) = 216 mm u 60 cm dubine ili PK_{v1} = 21,6 mm vode za 0-10 cm i PK_{v2} = 194,4 mm vode za 10-60 cm duboko tlo. Točka venuća Tv = 96 mm vode. Fiziološki aktivna voda (FA_v) = PK_v - Tv = 216 mm - 96 mm = 120 mm vode. Fiziološki aktivna voda (FA_v) se tretira u izračunu kao zaliha pristupačne vode u tlu = Z₁ + Z₂ = 120 mm ili Z₁ = 20 mm, a Z₂ = 100 mm vode.

⁶ Komponente kompjuterskog programa „Hidrološki“ tumač kratica je u tekstu: EO, ET_o/ET_k G₁, G₂, Pu, OT, AE, Z₁, Z₂, Z = Z₁ + Z₂, ET_o/ET_k - AE

⁷ Od izmjerene količine oborina koja padne na neki usjev, jedan dio se gubi površinskim otjecanjem i procjeđivanjem u dublje slojeve, drugi dio se zadržava na biljkama (intercepcija), a ostatak su **efektivne oborine** za usjeve, koje ovise o fizikalnim i kemijskim značajkama tla, količini, rasporedu i intenzitetu oborina i geomorfologiji područja.

Proračun potreba vode za dopunsko natapanje poljoprivrednih kultura u sustavu tlo-biljka-klima za Hrvatsko zagorje su pripremili za primjenu Rastija D. i Vidaček Ž., uključujući kukuruz silažni i merkantilni, pšenicu, ozimi i jari ječam, krumpir, šećernu repu, kupus i kelj, papriku i krastavac, luk, salate, endiviju i radič, rajčicu, djetelinsko-travne smjese i drvenaste kulture.

Kod prosječnih vrijednosti evapotranspiracije (ET_o i ET_k) i 75 %-tne vjerojatnosti pojava efektivnih oborina (EO) dobivamo, da su ukupne potrebe vode za dopunsko natapanje kod žitarica od 46 mm do 207 mm, industrijskog bilja 70 mm i 283 mm, djetelinsko travne smjese 210 mm, povrća od 149 mm do 237 mm i za drvenaste kulture treba 275 mm vode, tablica 21.

Tablica 21. Rekapitulacija izračuna potreba ili manjka vode za dopunsko natapanje kod 75 %-tne vjerojatnosti pojava efektivnih oborina

Table 21 Recapitulation of the calculation of the requirements or lack of water at a 75% probability of occurrence of effective precipitation

*Kulture i mjeseci	Kukuruz silažni	Kukuruz merkantilni	Pšenica	Ozimi ječam	Jari ječam	Krumpir	Šećerna repa	Uljana repica	Kupus i kelj	Paprika i krastavci	Luk	Salata, endivija, radič	Rajčica	Djet. travne smjese	Drvenaste kulture
mm vode															
I															
II															
III															
IV			2	2				13							
V	6	6	49	49	46	12	22	52		6			6	38	27
VI	34	34				20	63	5	54	51	41	67	63	48	66
VII	79	79				66	88		70	67	61	57	82	59	89
VIII	88	88				78	92		56	55	47	74	86	61	92
IX							18		11			4		1	1
X														3	
XI															
XII															
Ukupno	207	207	51	51	46	176	283	70	191	179	149	202	237	210	275

* Engleski prijevod u tablicama (5-19) / English translation in tables (5-19)

7. Reakcija usjeva na manjak vode

Ako opskrba vodom ne zadovoljava potrebe usjeva, aktualna evapotranspiracija (ET_a) će biti manja od maksimalno moguće evapotranspiracije ET_a<ET_k. U tim uvjetima u biljci će se pojaviti vodni stres

koji negativno utječe na rast razvoj i prinose uzgajanih kultura. Pojedini usjevi ili tijekom vegetacijskog razdoblja ili i u pojedinim fazama rasta različito reaguju na manjak vode. Međutim, ipak gotovo svi usjevi su najviše osjetljivi na manjak vode tijekom prodiranja tek iznikle biljke na površinu tla, cvatnje i u ranoj fazi formiranja prinosa.

Reakciju usjeva na manjak vode i smanjenje prinosa, kad je voda jedino ograničenje za normalan rast i razvoj, možemo neizravno-računski utvrditi prema sljedećoj jednadžbi FAO, 1979.:

$$(1 - Y_a/Y_m) = ky (1 - E_{Ta}/E_{Tm}), \text{ gdje su:}$$

Y_a =stvarni ili postignuti prinos, Y_m =maksimalno mogući prinos, E_{Ta} =aktualna ili stvarna evapotranspiracija, E_{Tm} =maksimalna, potencijalna ili evapotranspiracija usjeva(E_{Tk}), ky =koeficijent reakcije prinosa

Reakcija usjeva na manjak vode i smanjenje prinosa na području Hrvatskog zagorja je kod žitarica od 13 % do 51 %, industrijsko bilje 20 % i 40 %, djetelinsko travne smjese 21 %, povrće od 25 % do 44 % i kod drvenastih kultura to je 29 %, tablica 22.

Tablica 22. Reakcija usjeva na manjak vode

Table 22 Crop reaction to water deficit

Usjevi Crops	E _t mm	ky	E _t mm	Redukcija prinosa- Yield reduction, %
Kukuruz silažni	408	1,25	242	51
Kukuruz merkantilni	446	1,25	242	57
Pšenica	243	1,05	212	13
Ozimi ječam	243	1,05	212	13
Jari ječam	205	1,05	159	24
Šećerna repa	646	1,1	412	40
Uljana repica	324	1,0	258	20
Djetelinsko travne smjese	498	0,9	385	21
Krumpir	473	1,1	338	31
Kupus, kelj	334	1,0	251	25
Paprika, krastavci	379	1,1	237	41
Luk	396	1,1	280	32
Salata, endivija i radič	277	1,1	174	41
Rajčica	482	1,1	290	44
Drvenaste kulture	533	1,25	360	29

ZAKLJUČAK

Hrvatsko zagorje je zasebna prirodno-zemljopisna cjelina u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske. Pokriva dijelove Varaždinske i Krapinsko-zagorske županije. Ukupno ima bruto 244.369 hektara od čega je 84.597 hektara obrađeno tlo. Primjereno hrvatskoj stvarnosti, dominiraju manji posjedi i parcele od 0,15-0,40 hektara. Sadašnja uporabna vrijednost poljoprivrednog zemljišta za natapanje usjeva je ograničena zbog raznih pojedinačnih ili kombiniranih pedoloških, hidropedoloških i ekoloških značajki. U tekstu su objašnjeni razlozi za izvođenje hidro i/ili agromelioracija.

Proračunom u sustavu biljka-klima je utvrđeno, da su ukupne vrijednosti evapotranspiracije kultura/usjeva (ET_k) ili potrebe vode za uzgajane kulture kod žitarica od 205 mm do 446 mm, industrijskog bilja 324 mm i povrća od 277 mm do 482 mm. Za djetelinsko travne smjese treba u tijeku aktivne vegetacije 482 mm i za drvenaste kulture 533 mm vode.

Kod prosječnih vrijednosti evapotranspiracije (E_{T0} i ET_k) i 75 %-tne vjerojatnosti pojava efektivnih oborina (EO) dobivamo, da su ukupne potrebe vode za dopunsko natapanje kod žitarica od 46 mm do 207 mm, industrijskog bilja 70 mm i 283 mm, djetelinsko travne smjese 210 mm, povrća od 149 mm do 237 mm i za drvenaste kulture treba 275 mm vode.

Reakcija usjeva na manjak vode i smanjenje prinosa na području Hrvatskog zagorja je kod žitarica od 13 % do 51 %, industrijsko bilje 20 % i 40 %, djetelinsko travne smjese 21 %, povrće od 25 % do 44 % i kod drvenastih kultura to je 29 %.

PREPORUKE

1. Identifikacija projekata i preliminarno planiranje natapanja

U fazi identifikacije projekta i preliminarnog planiranja natapanja, potreban je sveobuhvatan popis dostupnih resursa. Od prirodnih resursa to su poljoprivredno zemljište, površinska i podzemna voda, kvaliteta i izdašnost vode, aktualno korištenje i sigurnost korištenja vode. Za predviđenu površini treba obaviti pedološka i hidropedološka istraživanja i izradi karte na topografskoj podlozi 1:10 000, u cilju detaljne identifikacije tipova tala i stupnja pogodnosti ili nepogodnosti tala za natapanje. Proizvodni potencijal u uvjetima natapanja, treba razmatrati s agronomskog, tehničkog, ekonomskog i sociološkog gledišta, odnosno treba detaljno proučiti optimalnu veličinu posjeda, izbor poljoprivrednih kultura, genetsku adaptabilnost najvažnijih postojećih i novih sorata u pogledu tolerantnosti na sušu, tehnološku

problematiku uzgoja kultura i korištenja opreme, stanje infrastrukture, dostupnost, kvalitetu i interes ljudskih resursa, posebno interes poljoprivrednika za priključivanje na izgrađene sustave za natapanje, znanje, stručnost i kvalifikaciju osoblja, socijalne pogodnosti, kreditne i poticajne mogućnosti, tržište, uvjete rada, zapošljavanje i zahtjevnu zakonsku regulativu.

2. Opća načela gospodarenja sustavima za natapanje

U dosadašnjoj vodoprivrednoj i hidrotehničkoj praksi, stručnoj literaturi i zakonima, gospodarenje melioracijskim-hidromelioracijskim sustavima je prilično neujednačeno tretirano u terminološkom, metodološkom i operativnom smislu. Zbog toga smatramo, da je na primjer od pojma postmelioracijska eksploatacija sustava, primjerenije koristiti pojam **gospodarenje**, koji obuhvaća uporabu, kontrolu i održavanje melioracijskog sustava, Vidaček Ž. 1998.

U gospodarenju sustavima natapanja nije rijedak slučaj da dominira održavanje i zaštita vodno gospodarskih i hidrotehničkih objekata i uređaja u funkciji jedinstvenoga vodnog režima. Nedostaje kontrola funkcioniranja pojedinih dionica ili cijelih sustava s hidropedološkog, agrotehničkog, agroekološkog i agroekonomskog aspekta.

Važno je naglasiti, da gospodarenje sustavom natapanja u smislu kontrole, održavanja i racionalne uporabe, treba planirati još u fazi idejnog projektiranja odnosno ono mora biti dio svih hijerarhijskih razina projektne dokumentacije, gdje su jasno utvrđeni troškovi uporabe, održavanja i kontrole zaštite tla, vode, biljne i/ili stočarske proizvodnje, objekata, opreme i uređaja.

LITERATURA

- Palmer, W.C., (1965): Meteorological Drought, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Research Paper No 45, Washington
- Smith, M., (1992.): Cropwat a computer program for irrigation planning and management, FAO Irrigation and Drainage Papers, No 46, Roma
- Vidaček, Ž., Tanić, S., (1989): Hidrokalk, kompjuterski programski paket za proračun bilance oborinske vode u tlu, Fakultet poljoprivrednih znanosti, Institut za agroekologiju, Zagreb
- Vidaček, Ž., (1998): Gospodarenje melioracijskim sustavima odvodnje i natapanja, sveučilišni udžbenik. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Hrvatsko društvo za odvodnju i navodnjavanje, Zagreb. UDK 626.8(075.8), 175 str.

- Vidaček, Ž., Bogunović, M., Husnjak, S., Sraka, M., Bensa Aleksandra, (2002): Hidropedološka karta Republike Hrvatske mj. 1:300.000, vodno područje slivova Drave i Dunava. Zavod za pedologiju, Agronomski fakultet, Zagreb
- xxx (FAO) (1974): Effective Rainfall in Irrigated agriculture, Irrigation and drainage paper, No 25, Roma
- xxx FAO (1977): Crop water requirements. Irrigation and drainage paper, No 24, Rome, revised 1977
- xxx FAO (1979): Yield response to water, Irrigation and drainage paper, No 33, Rome
- xxx Klimatski atlas Hrvatske (2020.): Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ), Zagreb
- xxx. Wikipedija (2022): https://hr.wikipedia.org/wiki/Hrvatsko_zagorje

Adrese autora - Author's address:

Prof. dr. sc. Željko Vidaček dipl.ing agr.,
pedolog, umirovljeni redoviti profesor u trajnom zvanju,
e-mail: zvidacek@gmail.com
Zagreb-Marija Bistrica,

Prof. dr. sc. Stjepan Husnjak
e-mail: shusnjak@agr.hr
Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu,
Svetošimunska 25, 10000 Zagreb

Prof. dr. sc. Domagoj Rastija
e-mail: domagoj.rastija@fazos.hr
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

