

# Primjena FAO CROPWAT modela kao GIS prostorne komponente u prikazu elemenata navodnjavanja

---

Lederer, Vedran

Master's thesis / Diplomski rad

2020

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek /  
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:200560>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-28**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical  
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of  
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Vedran Lederer

Diplomski studij Bilinogojstvo

Smjer Biljna proizvodnja

PRIMJENA FAO CROPWAT MODELA KAO GIS PROSTORNE KOMPONENTE U  
PRIKAZU ELEMENATA NAVODNJAVANJA

**Diplomski rad**

**Osijek, 2020.**

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Vedran Lederer

Diplomski studij Bilinogojstvo

Smjer Biljna proizvodnja

PRIMJENA FAO CROPWAT MODELA KAO GIS PROSTORNE KOMPONENTE U  
PRIKAZU ELEMENATA NAVODNJAVANJA

**Diplomski rad**

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak, predsjednik
2. doc. dr. sc. Monika Marković, mentor
3. Dorijan Radočaj mag. ing. geod. et geoinf., član

**Osijek, 2020.**

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. PREGLED LITERATURE .....	2
2.1. Elementi navodnjavanja .....	2
2.1.1. Norma navodnjavanja .....	2
2.1.2. Obrok navodnjavanja .....	4
2.1.3. Broj navodnjavanja .....	5
2.1.4. Turnus navodnjavanja .....	5
2.1.5. Trajanje navodnjavanja .....	5
2.1.6. Hidromodul navodnjavanja .....	6
2.2. Važnost klimatskih elemenata za planiranje i provođenje navodnjavanja .....	8
2.2.1. Sunčeva radijacija .....	8
2.2.2. Temperatura zraka .....	8
2.2.3. Vlažnost zraka .....	8
2.2.4. Brzina vjetra .....	9
2.2.5. Učinkovite oborine .....	9
2.2.6. Važnost uzgajane kulture u određivanju potrebne vode za navodnjavanje .....	10
2.3. CROPWAT 8.0 računalni program .....	11
2.3.1. Unos podataka u CROPWAT .....	12
2.3.1.1. Izračun referentne evapotranspiracije ( $ET_0$ ) .....	12
2.3.1.2. Izračun učinkovitih oborina .....	13
2.3.1.3. Unos podataka o kulturi .....	14
2.3.1.4. Unos podataka o tlu .....	15
2.3.1.5. GIS modeli koji se upotrebljavaju u melioracijama .....	16
3. MATERIJAL I METODE .....	18
4. REZULTATI .....	22
5. RASPRAVA .....	44
6. ZAKLJUČAK .....	47
7. POPIS LITERATURE .....	48
8. SAŽETAK .....	50
9. SUMMARY .....	51
POPIS SLIKA .....	52
POPIS GRAFIKONA .....	53
TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA	
BASIC DOCUMENTATION CARD	

## 1. UVOD

Navodnjavanje je agrotehnička mjera kojom se nadopunjuju prirodne oborine kada tijekom vegetacije nema dovoljno vode u tlu za normalan rast i razvoj uzgajanih kultura. Mađar i Šoštarić (2009.) navodnjavanje definiraju kao sve mjere i radove kojima se svjesno i na umjetan način povećava sadržaj vode u tlu s ciljem uzgoja poljoprivrednih kultura. U suvremenoj poljoprivrednoj proizvodnji ta je mjera od velikog značaja budući da se pravilnom primjenom navodnjavanja mogu ostvariti visoki prinosi poljoprivrednih kultura uz visoku kvalitetu istih. Isti autori navode da je navodnjavanje vrlo stara melioracijska mjera koju su primjenjivale mnoge civilizacije u prošlosti. Smatra se da su prapočeci navodnjavanja bili u Kini i Indiji. U razvijenim zemljama svijeta danas je navodnjavano 51.761 mil. ha, te 245.873 mil. ha u zemljama u razvoju (ICID, 2018.).

Prema podacima ICID-a (2018.) u Republici Hrvatskoj je 2013. godine navodnjavano 25 000 ha. Kako bi se povećale navodnjavane površine u Republici Hrvatskoj, Vlada je pokrenula Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u RH. Cilj tog projekta je da se do 2020. godine u Republici Hrvatskoj navodnjava na 6% obradivih površina (Romić i Marušić, 2006.).

Sustavi za navodnjavanje projektiraju se i izvode kako bi se nadoknadio nedostatak vode potrebne za optimalan uzgoj poljoprivrednih kultura. Upravo u svrhu projektiranja sustava za navodnjavanje osmišljen je, od strane stručnjaka FAO-a, CROPWAT program. Zadaća ovog računalnog programa je olakšati planiranje i provođenje navodnjavanja izračunima stvarne potrebne vode za navodnjavanje ( $ET_c$ ) te osnovnih elemenata navodnjavanja: obroka, norme navodnjavanja te hidromodula. U program su integrirane referentne vrijednosti za tlo i kulturu, ali radi što točnijih izračuna navedene vrijednosti je potrebno korigirati za lokalne agroekološke uvjete. Cilj ovog istraživanja bio je računalnim programom CROPWAT izračunati učinkovite oborine,  $ET_o$ ,  $ET_c$  za soju i kukuruz te količinu vode koju je potrebno navodnjavanjem osigurati spomenutim kulturama na lokaciji 21 meteorološke postaje tijekom vegetacijskog razdoblja 2018. godine.

## 2. PREGLED LITERATURE

### 2.1. Elementi navodnjavanja

Kod primjene navodnjavanja mnogo je pitanja na koja krajnji korisnik traži odgovore. Neka od njih glase:

1. Koliku ukupnu količinu vode treba dodati biljci?
2. Koliku količinu vode dodati prilikom svakog navodnjavanja?
3. Koliko puta treba navodnjavati?
4. U kojem trenutku uključiti sustav za navodnjavanje?
5. Koliko dugo treba trajati navodnjavanje?

Da bi korisnik dobio odgovore na navedena pitanja, potrebno je individualno pristupiti i odrediti karakteristike tla, klimatske uvjete i zahtjeve određene kulture za vodom. Također, potreban je stalan monitoring kako bi se u određenom trenutku moglo donijeti odluku o navodnjavanju. Planiranje i provođenje navodnjavanja u prvom redu se odnosi na pravilno određene elemente navodnjavanja od kojih su osnovni elementi izdvojeni i pojašnjeni u nastavku.

#### 2.1.1. Norma navodnjavanja

Prvi korak kod određivanja elemenata navodnjavanja jest norma navodnjavanja koja je definirana kao ukupni nedostatak vode u razdoblju vegetacije neke kulture. Drugim riječima, norma navodnjavanja je suma svih obroka navodnjavanja, odnosno razlika između ukupno potrebne i ukupno raspoložive količine vode u vegetaciji. Ova se definicija može prikazati i uz pomoć formule (Mađar i Šoštarić, 2009.):

$$N_n = \sum P_v - \sum R_v$$

gdje je:

$N_n$  = norma navodnjavanja (mm)

$\sum P_v$  = ukupno potrebna količina vode biljci u vegetaciji (mm)

$\sum R_v$  = ukupno raspoloživa količina vode u vegetaciji (mm)

Da bi se iz ovog matematičkog izraza pravilno izračunala norma navodnjavanja, potrebno je znati koja je to količina vode potrebna biljkama, odnosno koja je količina vode biljkama raspoloživa tijekom vegetacije.

**Ukupno potrebna količina vode ( $\sum P_v$ )** predstavlja vrijednost evapotranspiracije ( $ET_o$ ). To je ukupna količina vode koja se procesima evaporacije i transpiracije gubi s određene površine u određenom vremenu. Evaporacija označava gubitak vode s površine tla isparavanjem, dok je transpiracija gubitak vode iz biljke. Naime, biljka putem korijenovog sustava crpi vodu iz tla koja kola kroz nju i sudjeluje u brojnim biokemijskim procesima te naposljetku preko puči listova isparava u atmosferu. Na proces evapotranspiracije utječu brojni čimbenici kao što su temperatura zraka, relativna vlaga zraka, vjetar, nagib terena, boja tla, pokrivenost tla vegetacijom itd. Postoji direktno i indirektno određivanje evapotranspiracije. Direktno ili eksperimentalno određivanje izvodi se pomoću sofisticiranih lizimetarskih stanica. Takav način određivanja evapotranspiracije je vrlo precizan, ali dugotrajan i vrlo skup te se iz tog razloga evapotranspiracija uglavnom određuje indirektno, odnosno pomoću određenih modela koji se temelje na klimatskim i nekim drugim elementima. U nekim modelima izračun se temelji na temperaturi zraka (Thornthwait, Ivanov, Šarov), dok drugi izračunavaju deficit vlažnosti zraka (Alpatjev) ili pak koeficijente kultura (Blaney-Criddle). Za praktičnu primjenu prihvatljiv je način izračuna primjenom računalnog modela CROPWAT koji koristi Penman-Monteith (Allen i Pruitt, 1991.) metodu za izračun evapotranspiracije koja se smatra referentnom metodom izračuna.

S druge strane, **ukupno raspoloživa količina vode ( $\sum R_v$ )** predstavlja svu onu vodu koja je biljci na raspolaganju tijekom vegetacije. To su oborine, zaliha vode u tlu te kapilarno uzdizanje podzemne vode. Kada je riječ o oborinama, treba istaknuti da ukupna oborina predstavlja sumu oborina koje su pale na tlo. Sve oborine nisu iskoristive za biljku radi gubitaka u vidu površinskog otjecanja, isparavanja s površine tla i biljke, otjecanja u dublje slojeve tla, zadržavanja vode na biljnim dijelovima, zanošenja uslijed vjetra itd. One količine oborine koje su biljkama pristupačne nazivaju se efektivne ili učinkovite i čine oko 80% ukupne oborine (Brouwer i Heibloem, 1986.). Vrijednost učinkovite oborine ovisi o intenzitetu oborine, infiltraciji, površinskom otjecanju, nagibu terena, svojstvima tla, pokrivenosti tla vegetacijom i sl. Najčešće metode kojima se računa učinkovita oborina su: USBR metoda (United State Bureau of Reclamation), empirijski izračun te SCS metoda (Soil Conservation Service) (Dastane, 1978.).

Navodnjavanje zahtijeva poznavanje zalihe vode u tlu (Šimunić i sur., 2007., Šimunić i sur., 2009.), a čini je voda koja se tijekom zimskog razdoblja nakuplja u tlu, a koja je na raspolaganju jarim kulturama u proljeće, početkom vegetacije.

Kapilarna voda također predstavlja vodu koja je biljkama raspoloživa tijekom vegetacije. Naime, voda se u tlu kreće od mjesta veće prema mjestu manje vlažnosti. Upravo iz tog razloga podzemna se voda ascendentnim putem kreće iz nižih slojeva prema korijenovom sustavu kultura i površini tla koja je manje vlažna zbog utjecaja vjetra, niske relativne vlage zraka, temperature te usvajanja vode od strane biljke.

Izračunata norma navodnjavanja predstavlja količinu vode koja se tijekom vegetacije treba osigurati biljci, ali zbog određenih gubitaka, kao što su površinsko otjecanje vode, isparavanje prilikom navodnjavanja zbog visokih temperatura te gubici do kojih dolazi uslijed tehničkih performansi sustava za navodnjavanje, normu navodnjavanja treba povećati. To se povećanje vrši pomoću koeficijenta iskorištenja vode te se na kraju dobije bruto norma navodnjavanja.

### 2.1.2. Obrok navodnjavanja

Obrok navodnjavanja je količina vode koja se dodaje jednim navodnjavanjem, a izražava se u mm ( $l/m^2$ ). Obrokom navodnjavanja tlo se želi navlažiti do vrijednosti poljskog vodnog kapaciteta, tj. do optimalnog stanja vlažnosti tla za kulturu koja se navodnjava. Obrok navodnjavanja ovisi o trenutnoj vlažnosti tla, dubini vlaženja te gustoći tla pa se može izračunati izrazom (Mađar i Šoštarić, 2009.):

$$O = 100 * vt * h * (PVK - T)$$

gdje je:

$O$  = obrok navodnjavanja (mm,  $l/m^2$ )

$vt$  = gustoća tla ( $g/cm^3$ )

$h$  = dubina do koje se vlaži tlo (m)

$PVK$  = poljski vodni kapacitet (mas. %)

$T$  = trenutna vlažnost tla (mas. %)

Obroci navodnjavanja nisu jednaki tijekom cijele vegetacije. Primjerice, u početnim fazama razvoja kultura, dodaju se manje količine vode kako bi se stvorili povoljni uvjeti za klijanje i nicanje sjemena. Rastom i razvojem biljaka, korijen prodire u dublje slojeve tla pa se samim time povećava i potreba biljaka za vodom, odnosno povećava se obrok navodnjavanja (Brouwer i Heibloem, 1986.). Također, treba naglasiti da se teksturno teža (glinovita) tla



trebaju navodnjavati rjeđe uz veće obroke, dok teksturno lakša (pjeskovita) tla zahtijevaju učestalije navodnjavanje uz manje obroke navodnjavanja.

### **2.1.3. Broj navodnjavanja**

Broj navodnjavanja je orijentacijska vrijednost koja se dobije dijeljenjem norme i obroka navodnjavanja. Može se prikazati formulom (Tomić, 1988.):

$$n = \frac{N_n}{O}$$

gdje je:

n = broj navodnjavanja

$N_n$  = norma navodnjavanja

O = obrok navodnjavanja

### **2.1.4. Turnus navodnjavanja**

Turnus navodnjavanja označava vrijeme u danima koje prođe između dva navodnjavanja, a računa se prema izrazu (Tomić, 1988.):

$$T = \frac{O}{U_d}$$

gdje je

T = turnus navodnjavanja (dani)

O = obrok navodnjavanja (mm)

$U_d$  = dnevni utrošak vode (mm/dan)

### **2.1.5. Trajanje navodnjavanja**

Trajanje jednog navodnjavanja ovisi prvenstveno o količini vode koja se treba dodati navodnjavanjem, tj. obrokom i intenzitetu navodnjavanja. Ako se trajanje navodnjavanja želi odrediti kod primjene sustava navodnjavanja kišenjem, tada se obrok navodnjavanja podijeli s intenzitetom navodnjavanja, odnosno količinom vode (mm) koja u jedinici vremena (minuti) padne na navodnjavanu površinu.

### 2.1.6. Hidromodul navodnjavanja

Hidromodul navodnjavanja je količina vode koju kontinuirano treba osigurati u polju, u nasadu za navodnjavanje poljoprivrednih kultura, a izražava se u l/s/ha. Značajan je element u projektiranju sustava navodnjavanja, osobito pri dimenzioniranju sustava. Može se odrediti na više načina, a najčešće se računa neto, radni te stvarni radni hidromodul.

Neto hidromodul je količina vode koju treba neprekidno dovoditi do navodnjavane površine (l/s/ha), a računa se prema izrazu (Tomić, 1988.):

$$H_n = \frac{N}{D * 86\ 400}$$

gdje je

$H_n$  = neto hidromodul (l/s/ha);

$N$  = norma navodnjavanja (l);

$D$  = broj dana s deficitom vode (navodnjavano razdoblje po 24 sata);

86 400 = sekunde u danu.

Radni hidromodul je količina vode koja se treba dovesti na površinu tijekom radnog vremena (l/s/ha). Radni hidromodul za prosječnu godinu može se izračunati pomoću sljedeće formule (Tomić, 1988.):

$$H_r = \frac{N}{153 * 16 * 3\ 600}$$

gdje je

$H_r$  = radni hidromodul (l/s/ha);

$N$  = norma navodnjavanja (l);

153 = broj dana od travnja do kolovoza;

16 = radni sati;

3 600 = sekunde u satu.

Stvarni radni hidromodul uzima u obzir obrok navodnjavanja, turnus navodnjavanja te radno vrijeme navodnjavanja, a računa se pomoću izraza (Tomić, 1988.):

$$H_{sr} = \frac{O}{T * 57\ 600}$$

gdje je

$H_{sr}$  = stvarni radni hidromodul (l/s/ha);

$O$  = obrok navodnjavanja (l/ha);

$T$  = turnus navodnjavanja;

57 600 = sekunde u 16 sati.

Pri proračunu, projektanti mogu uvećati stvarni radni hidromodul za planirane gubitke, a oni od zahvata vode do biljke ovise o brojnim čimbenicima. Ukoliko se voda doprema zatvorenim cjevovodom i navodnjava sustavom kap po kap, gubici su između 10 i 20 %.

## **2.2. Važnost klimatskih elemenata za planiranje i provođenje navodnjavanja**

Glavni klimatski elementi koji utječu na potrebu biljaka za vodom ( $ET_o$ ) su sunčeva radijacija, temperatura zraka, vlažnost zraka te brzina vjetra. Navedeni elementi su osnova kod izračuna potrebne vode za navodnjavanje, odnosno količine vode koju treba nadoknaditi ( $ET_c$ ). Raspoloživu vodu čine u prvom redu oborine, zatim zaliha vode u tlu te kapilarno uzdizanje. Obzirom da je posljednja dva čimbenika u praksi teško odrediti, njih se najčešće izostavlja iz obračuna potrebne vode. Prema tome u izračunima potrebne vode za navodnjavanje su uzete u obzir učinkovite oborine.

### **2.2.1. Sunčeva radijacija**

Proces evapotranspiracije ovisi o količini energije koja je dostupna za isparavanje vode, a najveći izvor energije je sunčevo zračenje. Zbog razlika u položaju Sunca, potencijalna količina sunčevog zračenja koja može doprijeti do površine s koje voda isparava ovisi o geografskom položaju i godišnjem dobu. S druge strane, stvarna količina sunčevog zračenja koja dopire do površine s koje voda isparava ovisi o atmosferi, tj. o prisutnosti oblaka koji apsorbiraju i reflektiraju glavne dijelove sunčevog zračenja. Također, kod procjene utjecaja sunčevog zračenja na evapotranspiraciju, treba imati na umu da sva dostupna energija nije korištena samo za isparavanje vode, već se dio sunčeve energije troši na zagrijavanje atmosfere i tla. Sunčevo zračenje koje je apsorbirano u atmosferu povećava temperaturu zraka što opet utječe na proces  $ET_o$ . Llasat i Snyder (1998.) navode kako i najmanja promjena u sunčevom zračenju može imati značajne posljedice na  $ET_o$ .

### **2.2.2. Temperatura zraka**

Sunčevo zračenje koje apsorbira atmosfera i toplina koju emitira Zemlja povećavaju temperaturu zraka. Toplina okolnog zraka prenosi energiju te tako utječe na brzinu evapotranspiracije. Dakle, za vrijeme sunčanih, toplih dana gubitak vode s površine tla i biljaka procesom evapotranspiracije je veći u odnosu na isparavanje vode s istih tijekom hladnog i oblačnog vremena. Iz toga se može zaključiti da što su veće temperature zraka to će i veća količina vode ispariti u atmosferu s površine tla i biljaka. Posljedica toga je veća potreba usjeva za vodom koja se u slučaju nedostatka oborina mora nadoknaditi navodnjavanjem kako bi usjev mogao normalno rasti i razvijati se.

### **2.2.3. Vlažnost zraka**

Relativna vlažnost zraka je stupanj zasićenosti zraka vodenom parom. Ona pokazuje koliko se vodene pare nalazi u zraku prema maksimalnoj količini vodene pare koju bi zrak mogao

sadržavati pri jednakoj temperaturi. Promjenom temperature zraka mijenja se i relativna vlažnost zraka. Ako količina vodene pare u zraku ostane nepromijenjena, a temperatura zraka poraste, relativna vlaga zraka se smanjuje budući da topao zrak može sadržavati veću količinu vodene pare u odnosu na hladni zrak. U sušnim područjima relativna vlaga zraka je niska, a evapotranspiracija intenzivnija pa usjevi u takvim uvjetima imaju veću potrebu za vodom. S druge strane, u kišnim, tropskim uvjetima visoka relativna vlaga zraka smanjuje gubitak vode s površine tla i biljaka procesom evapotranspiracije.

#### **2.2.4. Brzina vjetra**

Proces uklanjanja vodene pare iz zraka u velikoj mjeri ovisi o vjetru i turbulencijama zraka iznad površine s koje voda isparava. Pri isparavanju vode s biljaka i tla, zrak iznad površine s koje voda isparava postaje zasićen vodenom parom. Ukoliko se takav zrak konstantno ne zamjenjuje suhim zrakom, proces evapotranspiracije slabi. Drugim riječima, kontinuirano strujanje zraka doprinosi povećanju evapotranspiracije. Dakle, što je veća brzina vjetra u vrućim i suhim uvjetima, to će se i veća količina vode oslobađati u atmosferu s površine biljaka i tla.

Spomenuti klimatski parametri utječu na vrijednost referentne evapotranspiracije ( $ET_0$ ) koja predstavlja zbroj vode koja se procesima transpiracije i evaporacije gubi s određene površine u određenom vremenu. Prema FAO-u referentna evapotranspiracija može se definirati i kao vrijednost evapotranspiracije zelenog travnatog pokrivača (visokog 8 do 15 cm) koji potpuno zasjenjuje površinu te ne oskudijeva u vodi (Josipović i sur., 2013.).

#### **2.2.5. Učinkovite oborine**

Učinkovite oborine (Peff) predstavljaju dio ukupnih oborina na nekom području koje biljke mogu iskoristiti. Naime, kada kiša pada na površinu tla, dio se vode infiltrira u tlo, dio se zadržava na površini tla, dio se zadrži na biljkama, dok dio otječe s površine. Kada kiša prestane padati, dio vode zadržane na površini tla isparava u atmosferu, dok se dio polako upija u tlo. Od ukupne količine vode koja se infiltrira u tlo, dio se vode procjeđuje ispod zone korijena, dok dio vode ostaje pohranjen u zoni korijena. Drugim riječima, učinkovite oborine su dio ukupnih oborina na nekom području koje su umanjene za vrijednosti površinskog otjecanja, isparavanja s površine tla ili biljaka te otjecanja u dublje slojeve tla. Samo dio oborine koji se pohranjuje u zoni korijena je dostupan biljkama za rast i razvoj te se iz tog razloga smatra učinkovitim ili efektivnim dijelom ukupne količine oborine. Čimbenici koji utječu na učinkovitost oborine su: svojstva oborine (intenzitet, raspored i

količina), karakteristike tla (infiltracijska sposobnost tla, retencija vode, struktura, tekstura tla), klimatski elementi (temperatura, evapotranspiracija, brzina vjetra, insolacija, relativna vlaga zraka), dubina zakorjenjivanja usjeva te metoda navodnjavanja (Brouwer i sur., 1985.)

#### **2.2.6. Važnost uzgajane kulture u određivanju potrebne vode za navodnjavanje**

Svaka pojedina kultura ima i svoju vrijednost evapotranspiracije kulture ( $ET_c$ ). Evapotranspiracija kulture u standardnim uvjetima može se definirati kao evapotranspiracija zdrave, dobro pognojene kulture koja se uzgaja na velikim poljima u optimalnim uvjetima vlažnosti tla koja ostvaruje maksimalan prinos u danim klimatskim uvjetima.  $ET_c$  određuje se iz umnoška referentne evapotranspiracije ( $ET_o$ ) i koeficijenta kulture ( $K_c$ ) (Brouwer i Heibloem, 1986.):

$$ET_c = ET_o * K_c$$

Koeficijent kulture ovisi o vrsti usjeva, fazi razvoja te vremenskim uvjetima. Razvijena biljka ima znatno veću lisnu površinu te će imati i veći  $K_c$  u odnosu na biljku koja je na početku vegetacije. Primjerice, usjev kao što je kukuruz imat će veći  $K_c$  u odnosu na rajčicu. Vrijednosti  $K_c$  indirektno ovisi o vremenskim uvjetima jer i razdoblje vegetacije pojedine kulture te faze razvoja ovise o temperaturi zraka, količini oborine, insolaciji i dr. Prema tome vrijednost  $K_c$  je potrebno korigirati za područje istraživanja odnosno uzgajane kulture.

### 2.3. CROPWAT 8.0 računalni program

Sustavi za navodnjavanje projektiraju se i izvode kako bi se nadoknadio nedostatak vode potrebne za optimalan uzgoj poljoprivrednih kultura, do kojeg dolazi uslijed deficita oborine i/ili nedovoljne zalihe vode u tlu. Upravo u svrhu projektiranja sustava za navodnjavanje osmišljen je, od strane stručnjaka FAO-a, CROPWAT program za planiranje odnosno određivanje elemenata navodnjavanja. Pomoću CROPWAT programa ubrzava se postupak izračunavanja evapotranspiracije, potreba biljaka za vodom i modeliranja u natapanju. CROPWAT model omogućuje proračun referentne evapotranspiracije ( $ET_0$ ), učinkovite oborine, potrebe pojedine kulture za vodom (CWR – Crop Water Requirement) i potrebe pojedine kulture za navodnjavanjem (IWR – Irrigation Water Requirement) te iz toga proračun mjesečnih količina vode koje treba osigurati za navodnjavanje kultura. Mađar i Šošarić (2009.) navode kako je CROPWAT zamišljen kao jednostavan alat koji je od koristi agronomima, meteorolozima te inženjerima kako bi računali standardne izračune za evapotranspiraciju i proučavali potrebne količine vode i shemu navodnjavanja. Izračun potrebe biljaka za vodom i potrebe za navodnjavanjem temelji se na unesenim podacima o klimi i kulturi. Standardni podaci o kulturi su uneseni u program, dok se podaci o klimi unose posebno jer ovise o području za koje se određuju elementi navodnjavanja. Do podataka o klimi moguće je doći pomoću klimatske baze podataka CLIMWAT koja se koristi u kombinaciji s računalnim programom CROPWAT. CLIMWAT pruža meteorološke podatke s više od 5 000 klimatskih postaja diljem svijeta koji omogućuju CROPWAT-u izračunavanje potreba usjeva za vodom te rasporeda navodnjavanja za različite usjeve. CLIMWAT osigurava dugoročne mjesečne srednje vrijednosti sljedećih 7 klimatskih parametara potrebnih za izračun potencijalne evapotranspiracije prema Penman-Monteith metodi:

1. prosječne dnevne maksimalne temperature zraka u °C;
2. prosječne dnevne minimalne temperature zraka u °C;
3. prosječnu relativnu vlažnost zraka u %;
4. prosječnu brzinu vjetra u km/h;
5. prosječne sunčane sate;
6. prosječne sate sunčane radijacije u MJ/m<sup>2</sup>/dan;

7. mjesečne ukupne i učinkovite oborine u mm.

Podaci se mogu izdvojiti za jednu ili više postaja u formatu prikladnom za njihovu uporabu u CROPWAT-u.

### 2.3.1. Unos podataka u CROPWAT

#### 2.3.1.1. Izračun referentne evapotranspiracije ( $ET_o$ )

Za izračunavanje referentne evapotranspiracije ( $ET_o$ ) Penman-Monteith metodom u CROPWAT se unose mjesečne vrijednosti četiriju klimatskih parametara:

1. Temperatura zraka: podaci se unose kao prosječne mjesečne vrijednosti ili kao maksimalne i minimalne mjesečne vrijednosti ( $^{\circ}C$ );
2. Vlaga zraka: vrijednosti za vlagu zraka mogu biti prikazane u postocima (10 do 100) ili kao pritisak pare u kPa (1 do 9). Program automatski razlikuje jesu li vrijednosti izražene kao relativna vlaga zraka (10 do 100%) ili kao pritisak pare (do 10 kPa);
3. Brzine vjetra: podaci o brzini vjetra mogu biti u km/dan (vrijednosti veće od 10) ili u m/s (vrijednosti manje od 10);
4. Dnevno osunčanje: može biti prikazano kao postotak (20 do 100 %), kao odnos sijanja sunca/dužina dana ili kao frakcija (0 do 1) sijanja sunca/dužina dana ili kao sati sijanja sunca (1 do 20);

Pored navedenih podataka u CROPWAT se za izračun  $ET_o$  također unose i podaci o meteorološkoj postaji, odnosno nadmorska visina te geografska dužina i širina lokacije.

CROPWAT model koristi Penman-Monteith (1992.) formulu za izračun referentne evapotranspiracije koja je kompleksna, a može se prikazati na sljedeći način:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

gdje je

$ET_o$  = referentna evapotranspiracija (mm/dan);

$\Delta$  = pad napona zasićene vodene pare (kPa/ $^{\circ}C$ );



$R_n$  = neto radijacija (MJ/m<sup>2</sup>/dan);

$G$  = zemljišni fluks topline (MJ/m<sup>2</sup>/dan);

$\gamma$  = psihrometrijska konstanta;

$T$  = srednja temperatura zraka na 2 m visine (°C);

$U_2$  = brzina vjetra na 2 m visine (m/s);

$(e_s - e_a)$  = deficit napona vodene pare na 2 m visine (kPa).

### 2.3.1.2. Izračun učinkovitih oborina

Nakon što je izračunata referentna evapotranspiracija ( $ET_o$ ) pristupa se izračunu učinkovitih oborina. Važnost učinkovitih oborina za biljnu proizvodnju te razlika od ukupne oborine koja je pala na nekom području je prethodno pojašnjena. U CROPWAT model su integrirane različite metode izračuna:

1. Fiksni postotak oborine;
2. FAO/AGWL formula (Wane i Nagdeve, 2014.)

$$UO = 0,6 \times O - 10 \text{ (za oborine } < 70 \text{ mm)}$$

$$UO = 0,8 \times O - 24 \text{ (za oborine } > 70 \text{ mm)}$$

gdje je:

UO = učinkovite oborine,

O = mjesečna količina oborina (mm).

3. Empirijske formule (Wane i Nagdeve, 2014.):

$$UO = 0,5 \times O - 5 \text{ (za oborine } < 50 \text{ mm)}$$

$$UO = 0,7 \times O + 20 \text{ (za oborine } > 50 \text{ mm)}$$

gdje je:

UO = učinkovite oborine,

O = oborine u vegetaciji,

0,5 i 0,7 = korekcijski faktori

4. Metoda USDA Soil Conservation Service (Wane i Nagdeve, 2014.):

$$UO = O \times (125 - 0,2 \times 3 \times P) / 125 \text{ (za oborine } < 250 \text{ mm)}$$

$$UO = 125 + 0,1 \times P \text{ (za oborine } > 250 \text{ mm) ;}$$

5. Model nudi opciju gdje učinkovite oborine nisu uzete u obzir pa je prema tome učinkovita oborina = 0.

Od ukupne količine vode koja padne na površinu zemlje, samo je dio dostupan biljkama. Dio vode isparava, dio se zadržava na površini biljke, dio površinski otječe, a ostatak infiltrira u tlo. Upravo iz tog razloga učinkovite oborine čine otprilike 80 % od ukupne količine oborine.

### **2.3.1.3. Unos podataka o kulturi**

Sljedeći korak pri radu u CROPWAT-u jest unos podataka o kulturi za koju se proračun provodi kako bi u sljedećem koraku bila izračunata  $ET_c$ . Ti podaci uključuju:

1. Stadije razvoja kultura u danima – ukupno trajanje vegetacije svakog usjeva obično se dijeli u 4 karakteristične razvojne faze. To su početna faza koja uključuje nicanje i rani porast dok je površina tla još gola pa sve do pokrivanja od 10%; razvojna faza koja se nastavlja na početnu fazu pa sve do efektivnog punog pokrova tla što je 70-80%; središnja faza koja traje od punog pokrivača tla do početka sazrijevanja; kasna faza koja traje od kraja središnje faze pa sve do završetka sazrijevanja, odnosno žetve ili berbe. Osim navedenih faza, unosi se i izračunata ukupna dužina trajanja vegetacije. Dužine pojedinih faza za svaku se kulturu su preporučene od FAO-a, premda je za točan izračun potrebna kalibracija u odnosu na lokalne hibride (sorte) te klimatske prilike.
2. Koeficijent kulture ( $K_c$ ) – da bi se referentna evapotranspiracija ( $ET_o$ ) dovela u vezu s evapotranspiracijom uzgajane kulture ( $ET_c$ ), u proračun se uvodi koeficijent kulture ( $K_c$ ). Prema tome, evapotranspiracija kulture izračunava se prema izrazu:

$$ET_c = ET_o * K_c$$

FAO baza nudi standarde  $K_c$  za veliki broj kultura premda je za točan izračun potrebna korekcija za lokalne uvjete kako bi izračun bio što točniji.

3. Dubinu zakorjenjivanja – o dubini zakorjenjivanja kulture izravno ovisi količina raspoložive vode u tlu koju kultura može efektivno iskoristiti. U program se unose dvije vrijednosti: dubine korijena u početnoj fazi i dubine korijena u punoj razvojnoj fazi sredinom vegetacije. Dubine zakorjenjivanja za razvojnu i kasnu fazu program sam interpolira pa ih ne treba unositi. Dubina zakorjenjivanja za početnu fazu obično

iznosi 0,25-0,30 m, a najčešće dubine zakorjenjivanja za središnju fazu, kad je riječ o povrću su od 0,5-1,0 m, dok se za ratarske kulture kreće od 1,0-1,5 m.

4. Dopušteno sniženje vlažnosti do kritične razine – predstavlja donju granicu količine vode u tlu nakon čega nastaju šteta na usjevima uslijed suše. Vrijednosti se izražavaju kao kvocijenti ukupno raspoložive vode u tlu i obično iznose od 0,4-0,6. Niže vrijednosti odnose se na osjetljivo bilje s plitkim zakorjenjivanjem i jakim transpiracijom, a veće su vrijednosti za duboko i zbijeno korijenje pri smanjenoj evapotranspiraciji.
5. Čimbenike utjecaja na prinos – predstavljaju postotak smanjenja prinosa uslijed stresa izazvanog nedostatkom vlage. Ti se čimbenici daju za svaku razvojnu fazu.
6. Datume sjetve/sadnje – podaci se unose tako da se unese planirani datum sjetve, dok program automatski izračunava datum žetve.

#### **2.3.1.4. Unos podataka o tlu**

Parametri tla važni za planiranje navodnjavanja pomoću CROPWAT modela su: ukupno raspoloživa voda, maksimalna količina oborine koja se može infiltrirati u tlo, maksimalna dubina zakorjenjivanja te lentokapilarna vlažnost.

Ukupno raspoloživa količina vode predstavlja razliku između poljskog vodnog kapaciteta i točke venuća. Ta količina ovisi prvenstveno o teksturi, strukturi tla te sadržaju organske tvari. Vrijednosti sadržaja pristupačne vode u tlu izražavaju se i u program unose u mm/m. Za različite teksture tla postoje orijentacijske vrijednosti ukupno raspoložive vode.

Količina vode koju tlo može upiti se naziva infiltracija, a značajna je kod određivanja obroka navodnjavanja i izražava se u mm/dan. U funkciji je intenziteta oborine, tipa tla te nagiba terena. Granična (donja) vrijednost u programu je određena na 30 mm/dan.

Maksimalna dubina zakorjenjivanja predodređena je genetskim karakteristikama pojedinih kultura. U nekim slučajevima i određeni raspored slojeva tla može utjecati na smanjenje dubine korijena.

Početni sadržaj (odnosno početno sniženje) vode u tlu predstavlja postotak količine vode u tlu na početku vegetacijske sezone kao smanjenje od vrijednosti poljskog vodnog kapaciteta. Prema tome, vrijednost od 0 % znači da je tlo potpuno zasićeno vodom, a 100 % da je stanje vlažnosti na točki venuća. Tu je vrijednost teško odrediti pa se najčešće procjenjuje.

### **2.3.1.5. GIS modeli koji se upotrebljavaju u melioracijama**

Geoinformacijski sustav ili GIS je informatički i računalni sustav za prikupljanje, pohranu, pretraživanje, analiziranje i prikazivanje podataka koji se odnose na određeno geografsko područje. Jurišić i Plaščak (2009.) navode da GIS predstavlja skup povezanih objekata i aktivnosti koji svojim međuosobnostima služe za donošenje odluka pri upravljanju nekim prostornim aktivnostima. Kumar i sur. (2014.) definiraju GIS kao skup povezanih baza podataka, aplikacija, hardware-a, software-a i kompetentnih stručnjaka koji prikupljaju, upravljaju, organiziraju i analiziraju prostorne baze podataka s ciljem prikazivanja istih u vidu tablica i karata. GIS najčešće služi u djelatnostima koje se bave istraživanjem prostora ili njegovim upravljanjem, npr. u poljoprivredi, geodeziji, kartografiji, ekologiji, prostornom planiranju, urbanizmu, statistici, navigaciji, državnoj i lokalnoj upravi itd. U području poljoprivrede i upravljanja vodnim resursima GIS tehnologija se može primijeniti:

- u istraživanjima utjecaja agroklimatskih čimbenika na rast i razvoj usjeva
- pri izradi baze podataka o tlu radi pravilnog gospodarenja istim
- za modeliranje prinosa
- u preciznoj poljoprivredi
- u izobrazbi poljoprivrednika
- pri izradi prostornih karata za hidraulička svojstva tala
- pri izradi karata koje prikazuju dubinu podzemnih voda
- za planiranje navodnjavanja

Primjena GIS-a u navodnjavanju prvenstveno ima za cilj pravilno gospodarenje vodama te ostvarivanje što većih prinosa kultura uz što manji utrošak vode. GIS u navodnjavanju omogućuje modeliranje potreba za vodom u ovisnosti o tlu, usjevu te klimatskim čimbenicima, pomaže pri donošenju zakonika o korištenju voda u poljoprivredi, podupire dobivanje dozvola za bušenje bunara koji se koriste u svrhu navodnjavanja, koristi se za procjenu gubitaka vode radi ispiranja iz tla (drenaža), pomaže pri određivanju potrebe i učinkovitosti navodnjavanja u pojedinim područjima te nudi prostornu predodžbu sustava za navodnjavanje. Za planiranje navodnjavanja i izradu rasporeda navodnjavanja koristi se velik broj alata, modela i sustava koji su integrirani u GIS. Iako modeli pomažu u poboljšanju upravljanja navodnjavanjem, sumnja se u ispravnost i preciznost pojedinih modela. Mnogi

od modela su ograničeni na izračun potreba pojedinih kultura za vodom, na simulaciju ravnoteže tla i vode te procjenu postojećeg plana navodnjavanja na terenu.

Acharya i sur. (2014.) navode da je ArcGIS najčešće korištena GIS aplikacija primjerena korisnicima u navodnjavanju i projektima upravljanja vodnim resursima. Isti tvrde da ArcGIS aplikacija omogućuje korisnicima analizu i vizualizaciju prostornih i neprostornih podataka u obliku mapa.

Teixeira i Perereira (1992.) navode da ISAREG model služi za planiranje navodnjavanja s ciljem ostvarivanja maksimalnog prinosa te simuliranje plana navodnjavanja u ovisnosti o potrebama pojedinih usjeva. Također, služi za izračunavanje elemenata navodnjavanja u uvjetima dovoljne opskrbljenosti vodom i za izračunavanje ukupne projektne količine vode. Primjenjiv je na poljima, a nikako ne na većim područjima.

Fortes i sur. (2005.) su u svom istraživanju koristili model GISAREG čiji je cilj simuliranje navodnjavanja i provedbe navodnjavanja u različitim regijama. Omogućuje vizualizaciju prostorne raspodjele potreba usjeva za vodom.

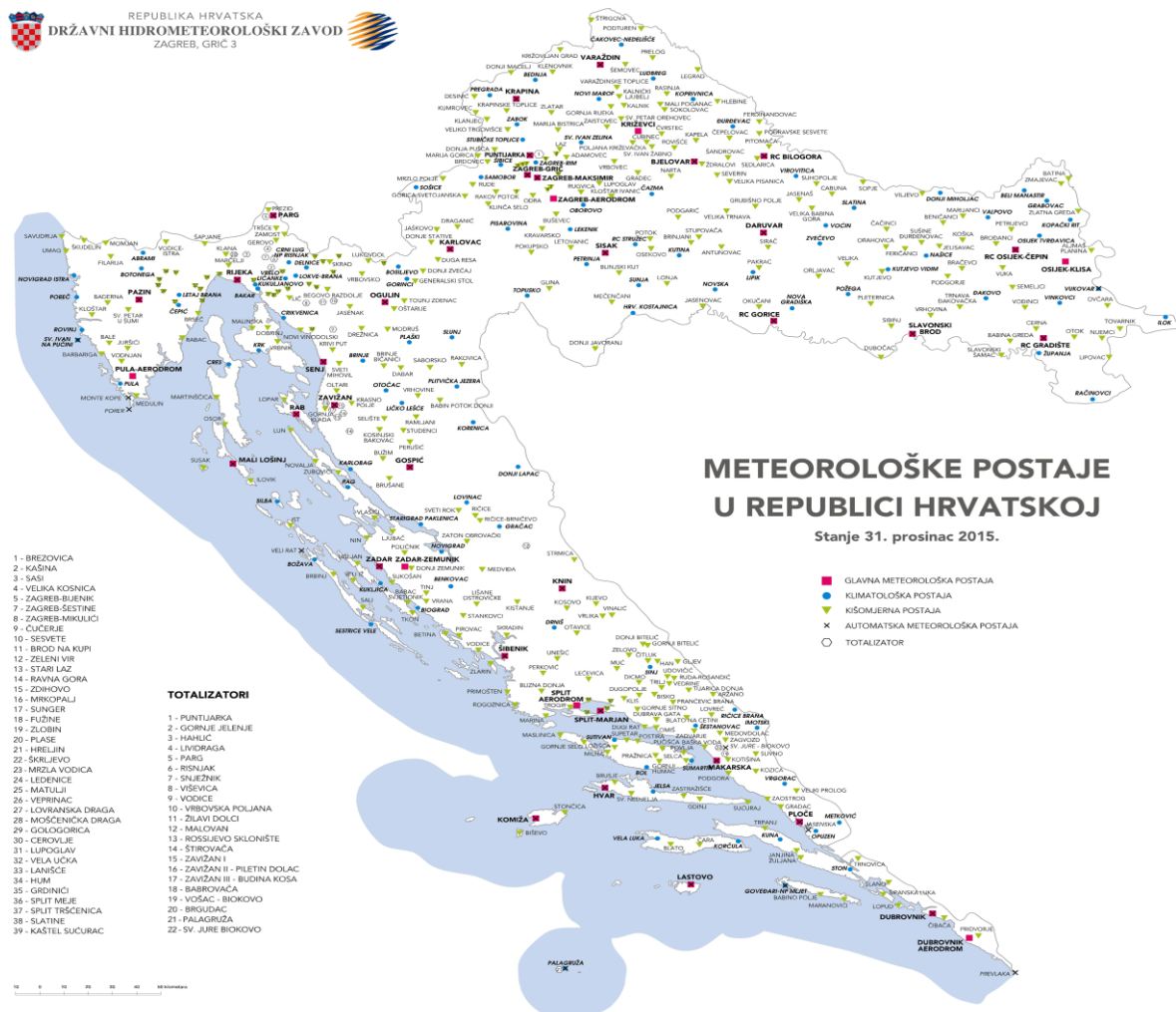
Mateos i sur. (2002.) su u svom istraživanju upotrijebili model SIMIS. Cilj tog modela je analiza i prikaz dnevne vodne bilance i elemenata navodnjavanja te je pomoć u integriranim projektima navodnjavanja. Simulira različite scenarije u odnosu na elemente navodnjavanja i očekivani prinos. Pomoću ovog modela moguće je analizirati i vizualno prikazati postojeću situaciju kako bi se povećala učinkovitost navodnjavanja.

Amor i sur. (2002.) kombinirali su GIS s modelom rasta usjeva kako bi procijenili produktivnost vode u vremenu i prostoru na Filipinima. Svoje istraživanje proveli su na riži, kukuruzu i kikirikiju. Analizirali su ograničenje vode za svaki usjev u različitim godišnjim dobima i odredili potencijalnu produktivnost u toj regiji.

Svoju primjenu u Iranu GIS je pronašao još 1990.-ih godina, a koristi se u različitim područjima kao što su hidrologija, kontrola poplava, vodene erozije i podzemne vode. Daneshkar i sur. (2000.) koristili su GIS i Modflow za simulaciju podzemnih voda Ab-Barik-a. Kartiranje poplavnih ravnica proučavali su Barkhordar i Chavoshian (2000.). Alvankar i sur. (2000.) primijenili su GIS u karakterizaciji sliva rijeke Latian.

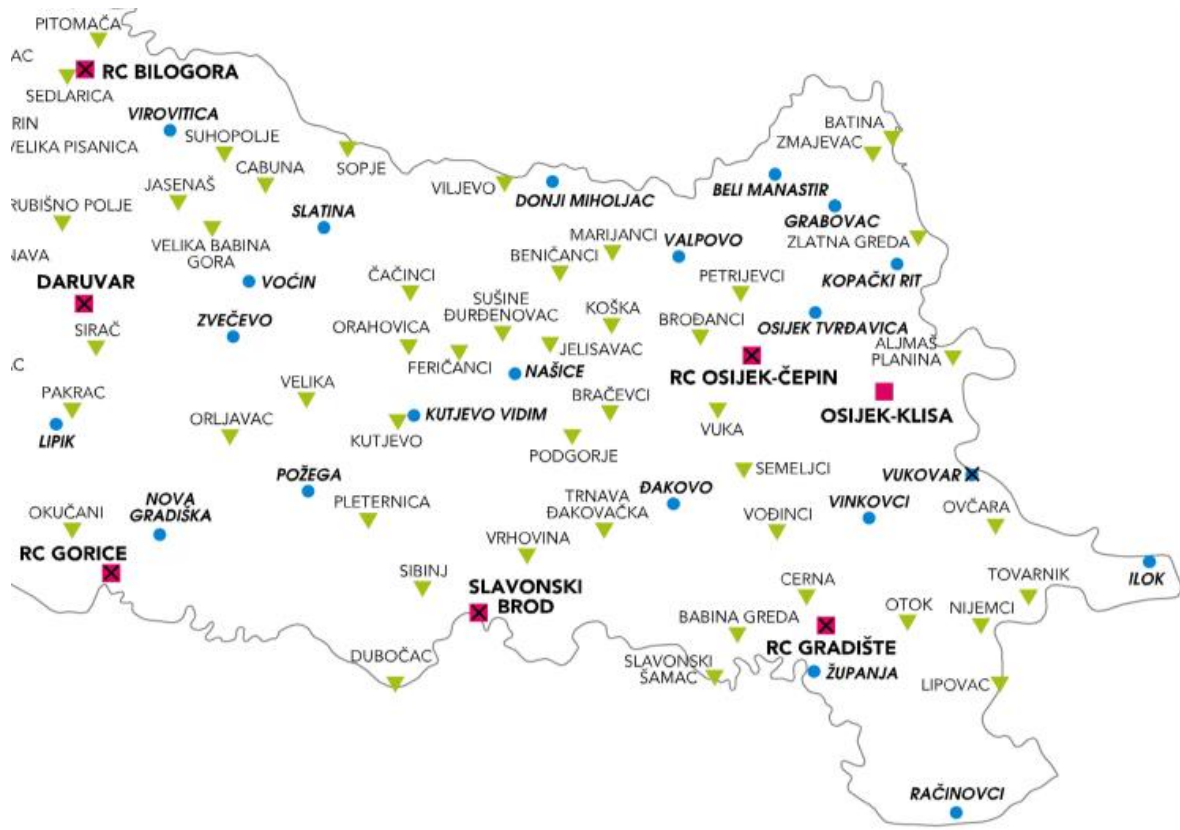
### 3. MATERIJAL I METODE

Za izradu diplomskog rada prikupljeni su meteorološki podaci od Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) za 5 glavnih meteoroloških postaja (Osijek-Klisa, RC Gorice, RC Gradište, RC Osijek-Čepin, Slavonski Brod) te 16 klimatoloških postaja (Beli Manastir, Donji Miholjac, Grabovac, Ilok, Kopački rit, Kutjevo, Našice, Nova Gradiška, Požega, Račinovci, Slatina, Valpovo, Vinkovci, Vukovar, Županja, Zvečevo) smještenih u istočnom i zapadnom dijelu Slavonije te u Baranji. Na slici 1. prikazana je karta Republike Hrvatske s naznačenim meteorološkim postajama, dok je slika 2. uvećani prikaz meteoroloških postaja s kojih su prikupljeni podaci za istraživanje.



Slika 1. Meteorološke postaje u Republici Hrvatskoj

(Izvor: [https://meteo.hr/infrastruktura.php?section=mreze\\_postaja&param=pmm](https://meteo.hr/infrastruktura.php?section=mreze_postaja&param=pmm))



Slika 2. Prikaz meteoroloških i klimatoloških postaja na području istraživanja

(Izvor: [https://meteo.hr/infrastruktura.php?section=mreze\\_postaja&param=pmm](https://meteo.hr/infrastruktura.php?section=mreze_postaja&param=pmm))

Osnovni elementi navodnjavanja te vodna bilanca za kukuruz (*Zea mays* L.) i soju (*Glycine max.* (L.) Merr) su izračunati za 2018. godinu. Za izračun referentne  $ET_0$  korišteni su sljedeći meteorološki podaci: srednje dnevne temperature zraka u  $^{\circ}C$ , maksimalne temperature zraka u  $^{\circ}C$ , minimalne temperature zraka u  $^{\circ}C$ , insolacija u satima (h), jačina vjetra u km/h, relativna vlaga zraka u % te oborine u mm. Na slici 3. prikazane su unesene vrijednosti klimatskih parametara te izračunate vrijednosti referentne evapotranspiracije u programu CROPWAT 8.0. za područje Osijeka 2018. godine.  $ET_0$  je izračunata prema Penman-Monteith formuli koja je integrirana u program.

Month	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidity %	Wind km/day	Sun hours	Rad MJ/m2/day	ETo mm/day
January	1.2	8.7	83	2	3.2	5.1	0.26
February	-1.7	4.0	87	2	2.0	6.0	0.49
March	0.5	8.7	80	3	2.7	9.1	0.77
April	9.5	23.3	64	2	8.3	18.6	2.42
May	13.3	26.3	64	2	9.7	22.7	3.66
June	15.7	27.0	74	2	7.6	20.7	3.71
July	16.7	27.7	72	2	8.1	20.9	3.74
August	17.3	30.5	69	2	9.9	21.4	3.85
September	11.7	25.2	71	2	8.2	16.1	2.46
October	8.1	21.0	67	2	6.0	10.3	1.23
November	3.5	12.0	82	2	3.4	5.7	0.55
December	-2.0	5.0	87	2	1.5	3.5	0.22
<b>Average</b>	<b>7.8</b>	<b>18.3</b>	<b>75</b>	<b>2</b>	<b>5.9</b>	<b>13.3</b>	<b>1.95</b>

Slika 3. Unos klimatskih podataka u CROPWAT model

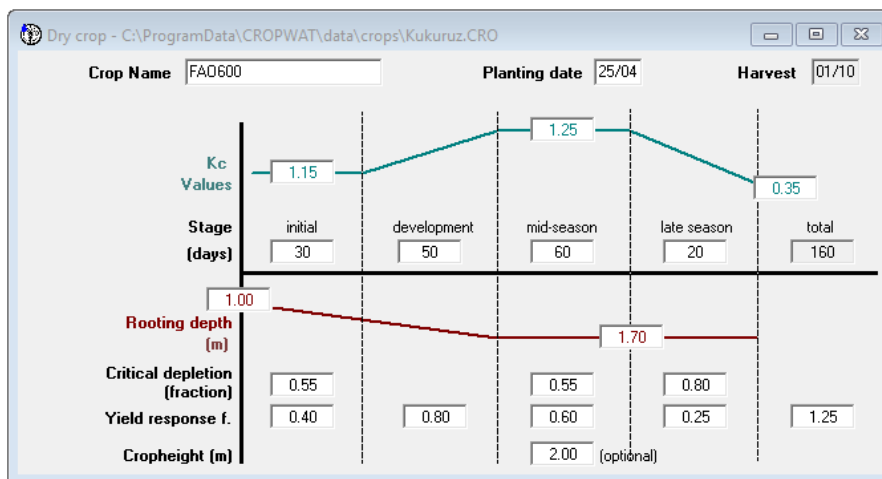
Za izračun učinkovitih oborina unesene su vrijednosti o mjesečnoj količini oborine za svaku postaju, a učinkovita oborina je izračunata prema USDA metodi. Na slici 4. prikazane su vrijednosti oborine i vrijednosti izračunatih efektivnih oborina pomoću USDA metode za područje Osijeka 2018. godine.

	Rain mm	Eff rain mm
January	61.7	55.6
February	70.2	62.3
March	83.4	72.3
April	21.0	20.3
May	27.4	26.2
June	126.8	101.1
July	131.6	103.9
August	36.3	34.2
September	27.1	25.9
October	12.2	12.0
November	25.2	24.2
December	26.7	25.6
<b>Total</b>	<b>649.6</b>	<b>563.5</b>

Slika 4. Izračun učinkovitih oborina USDA metodom

Za unos varijabli o usjevu korištene su predložene vrijednosti FAO publikacija, odnosno standardne vrijednosti za kukuruz i soju. Slika 5. prikazuje izbornik programa CROPWAT za unošenje podataka o kulturi, tj. parametre unesene za kukuruz skupine FAO 600.





Slika 5. Podaci o usjevu

Korišteni su podaci o glinasto ilovastom tlu, a na slici 6. prikazan je izbornik programa CROPWAT za unošenje podataka o tlu.

Parameter	Value	Unit
Total available soil moisture (FC - WP)	140.0	mm/meter
Maximum rain infiltration rate	30	mm/day
Maximum rooting depth	300	centimeters
Initial soil moisture depletion (as % TAM)	60	%
Initial available soil moisture	56.0	mm/meter

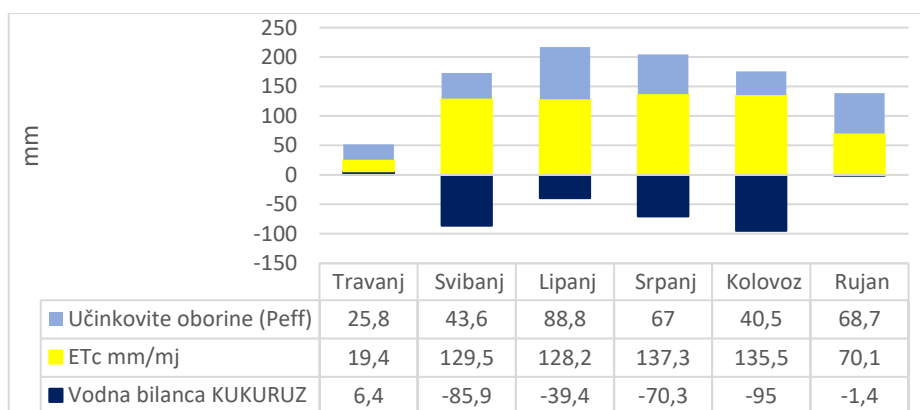
Slika 6. Podaci o tlu

Jačina veze između učinkovite oborine te potrebne vode (mm) za uzgoj kukuruza i soje je određena korelacijom, odnosno Pearsonovim koeficijentom korelacije. Prostorni prikaz raspodjele promatranih varijabli je izrađen pomoću QGIS računalne aplikacije. Aplikacija koristi logaritmirane vrijednosti klimatskih pokazatelja koji su prikupljeni od Državnog hidrometeorološkog zavoda.

#### 4. REZULTATI

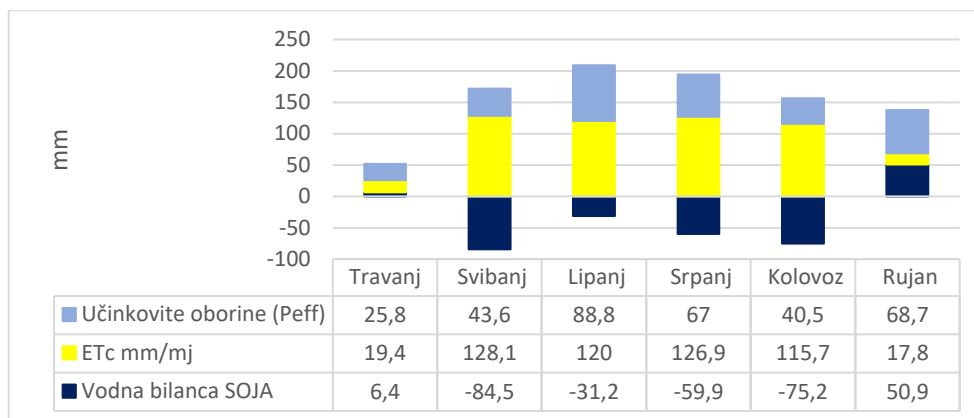
Na temelju rezultata izračuna u računalnom programu CROPWAT 8.0 izrađeni su složeni stupčasti grafikoni za lokaciju svake meteorološke postaje u 2018. godini. Grafikoni prikazuju po mjesecima kretanje vrijednosti učinkovitih oborina (Peff), vrijednosti evapotranspiracije kultura (ET<sub>c</sub>) te vrijednosti vodnih bilanci za vegetacijsko razdoblje (travanj-rujan) 2018. godine. Za lokaciju svake meteorološke postaje izrađena su dva grafikona, jedan za kukuruz te jedan za soju. Iz grafikona se može uočiti koju je količinu vode bilo potrebno navodnjavanjem nadoknaditi spomenutim kulturama.

Vodna bilanca za kukuruz za područje Kutjeva je prikazana grafikonom 1. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 285,6 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj kukuruza je nedostajalo 118,9 mm vode. U ljetnom razdoblju potrebe za vodom bile su najveće. Tako je u srpnju nedostajalo 70,3 mm vode, dok je u kolovozu deficit vode bio 95 mm. Početkom jeseni smanjile su se potrebe kukuruza za vodom te je u rujnu manjak vode iznosio 1,4 mm.



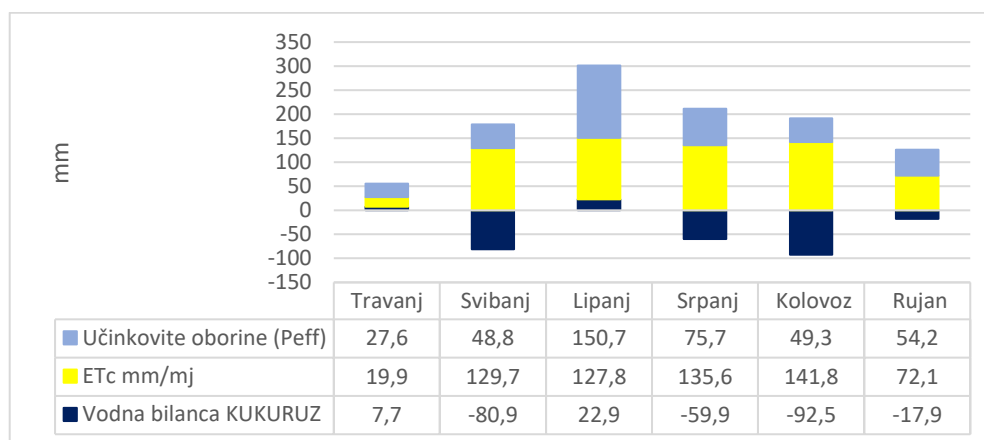
Grafikon 1. Vodna bilanca za kukuruz za područje Kutjeva 2018. godine

S druge strane, vodna bilanca za soju za područje Kutjeva je prikazana grafikonom 2. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 193,5 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj soje je nedostajalo 109,3 mm vode. Za vrijeme ljetnog razdoblja najveću potrebu za vodom soja je imala u kolovozu kada je deficit vode iznosio 75,2 mm. Dolaskom jeseni smanjila se evapotranspiracija soje te je soja na raspolaganju imala dovoljno vode u obliku učinkovite oborine. Dakle, u rujnu je zabilježen višak vode od 50,9 mm te iz tog razloga nije postojala potreba za navodnjavanjem.



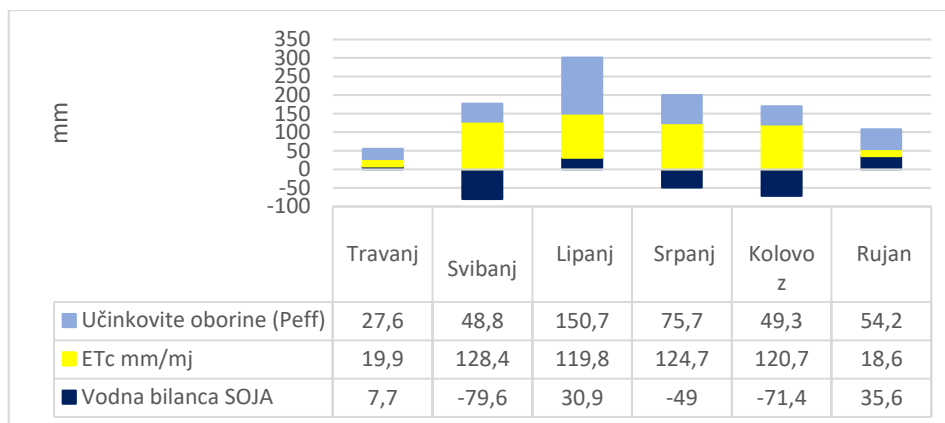
Grafikon 2. Vodna bilanca za soju za područje Kutjeva 2018. godine

Vodna bilanca za kukuruz za područje Gradišta je prikazana grafikonom 3. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 220,6 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj kukuruza je nedostajalo 50,3 mm vode. U ljetnom razdoblju potrebe za vodom bile su najveće. Tako je u srpnju nedostajalo 59,9 mm vode, dok je u kolovozu deficit vode bio 92,5 mm. Početkom jeseni smanjile su se potrebe kukuruza za vodom te je u rujnu manjak vode iznosio 17,9 mm.



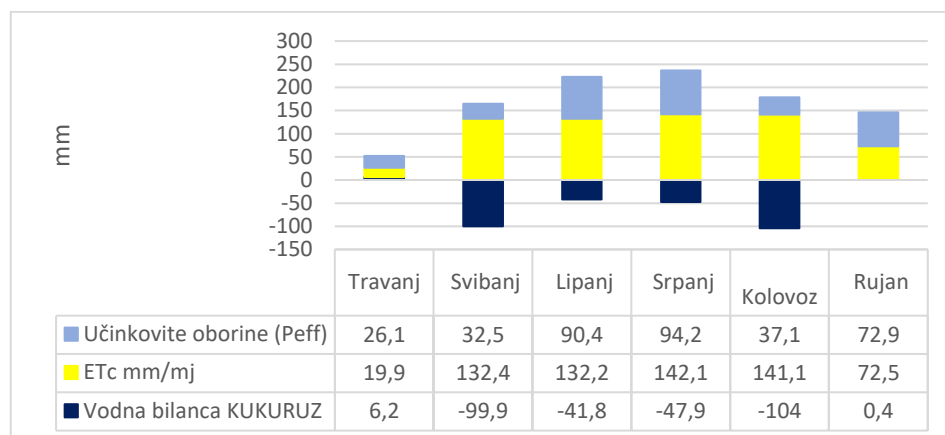
Grafikon 3. Vodna bilanca za kukuruz za područje Gradišta 2018.

Grafikon 4. prikazuje vodnu bilancu za soju za područje Gradišta. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 125,8 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj soje je nedostajalo 41 mm vode. Za vrijeme ljetnog razdoblja najveću potrebu za vodom soja je imala u kolovozu kada je deficit vode iznosio 71,4 mm. Dolaskom jeseni smanjila se evapotranspiracija soje te je soja na raspolaganju imala dovoljno vode u obliku učinkovite oborine. Dakle, u rujnu je zabilježen višak vode od 35,6 mm te iz tog razloga nije postojala potreba za navodnjavanjem.



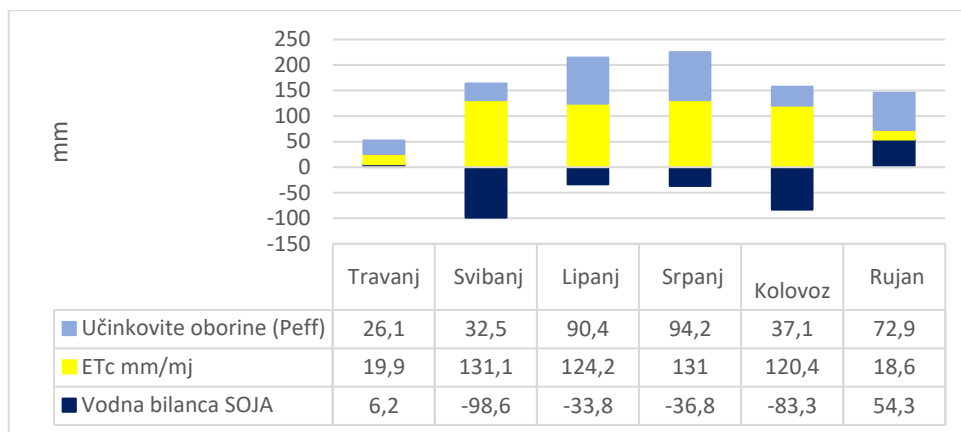
Grafikon 4. Vodna bilanca za soju za područje Gradišća 2018.

Vodna bilanca za kukuruz za područje Belja je prikazana grafikonom 5. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 287 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj kukuruza je nedostajalo 135,5 mm vode. U ljetnom razdoblju potrebe za vodom bile su najveće. Tako je u srpnju nedostajalo 47,9 mm vode, dok je u kolovozu deficit vode bio 104 mm. Početkom jeseni kukuruzu je nedostajalo tek 0,4 mm vode.



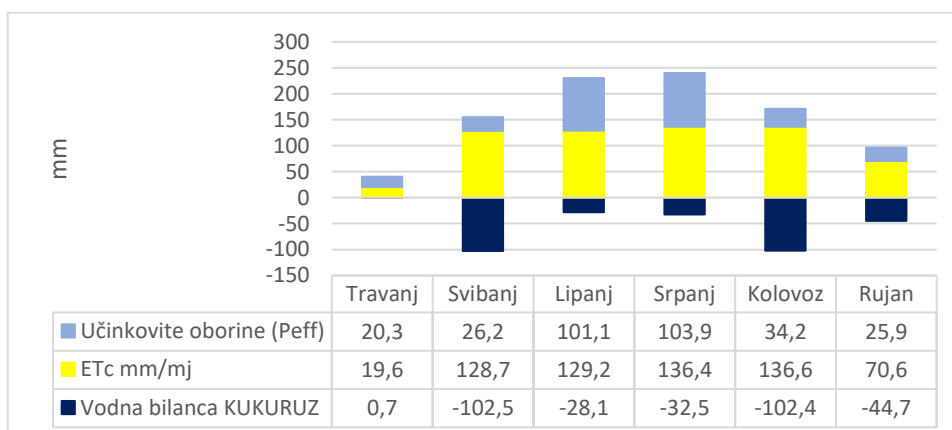
Grafikon 5. Vodna bilanca za kukuruz za područje Belja 2018.

Grafikon 6. prikazuje vodnu bilancu za soju za područje Belja. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 192 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj soje je nedostajalo 126,2 mm vode. U srpnju je nedostatak vode iznosio 36,8 mm, dok je u kolovozu soji manjkalo 83,3 mm vode. Dolaskom jeseni smanjila se evapotranspiracija soje te je soja na raspolaganju imala dovoljno vode u obliku učinkovite oborine. Dakle, u rujnu je zabilježen višak vode od 54,3 mm te iz tog razloga nije postojala potreba za navodnjavanjem.



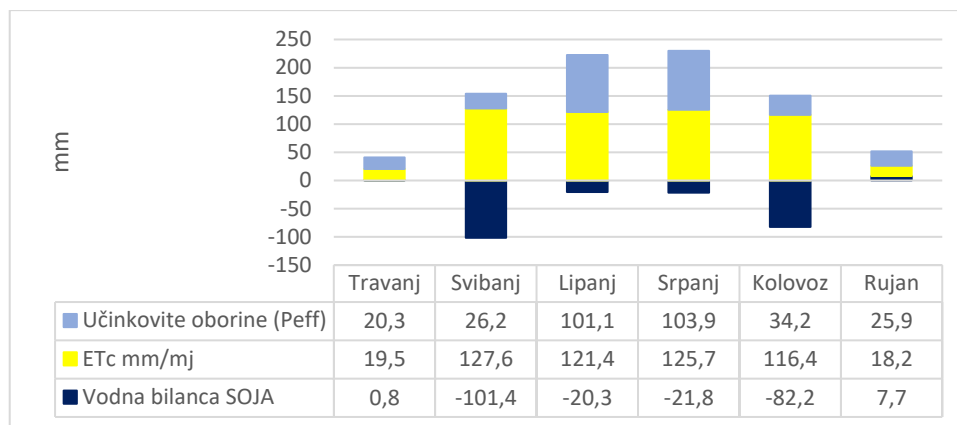
Grafikon 6. Vodna bilanca za soju za područje Belja 2018.

Vodna bilanca za kukuruz za područje Osijeka je prikazana grafikonom 7. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 309,5 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj kukuruza je nedostajalo 129,9 mm vode. Za vrijeme ljetnog razdoblja najveću potrebu za vodom soja je imala u kolovozu kada je deficit vode iznosio 102,4 mm. Početkom jeseni kukuruzu je nedostajalo 44,7 mm vode.



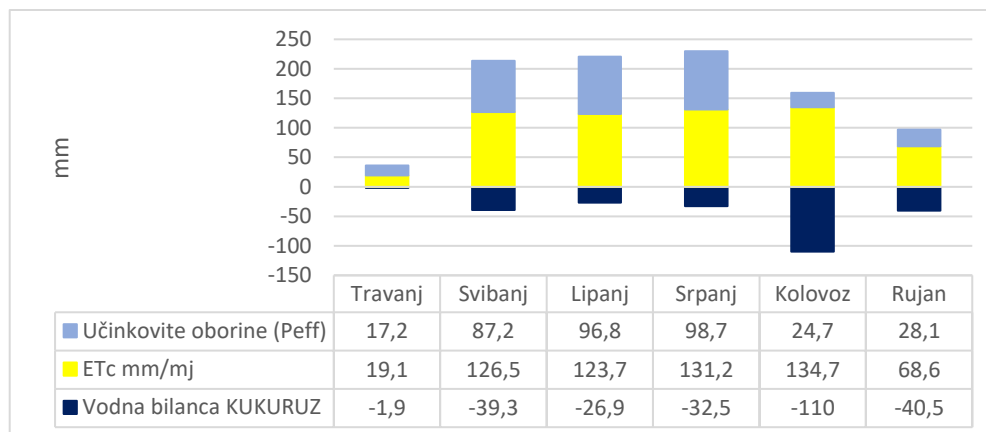
Grafikon 7. Vodna bilanca za kukuruz za područje Osijeka 2018. godine

S druge strane, vodna bilanca za soju za područje Osijeka je prikazana grafikonom 8. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 217,2 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj soje je nedostajalo 120,9 mm vode. Za vrijeme ljetnog razdoblja najveću potrebu za vodom soja je imala u kolovozu kada je deficit vode iznosio 82,2 mm. Dolaskom jeseni smanjila se evapotranspiracija soje te je soja na raspolaganju imala dovoljno vode u obliku učinkovite oborine. Dakle, u rujnu je zabilježen višak vode od 7,7 mm te iz tog razloga nije postojala potreba za navodnjavanjem.



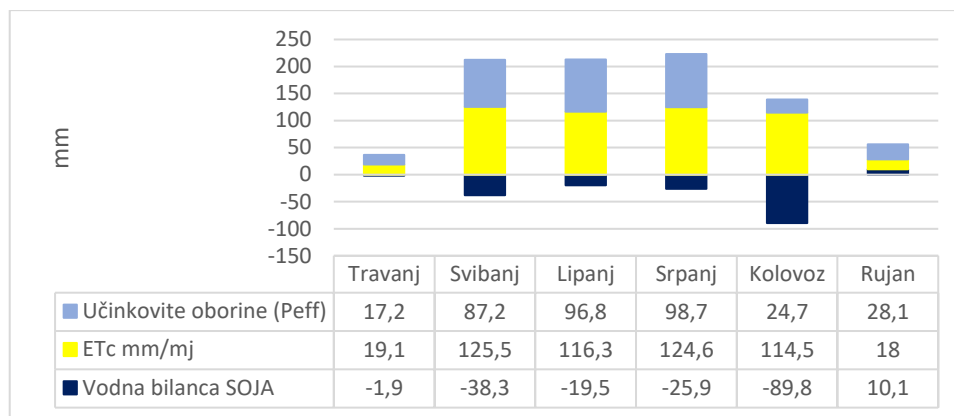
Grafikon 8. Vodna bilanca za soju za područje Osijeka 2018. godine

Vodna bilanca za kukuruz za područje Slavenskog Broda je prikazana grafikonom 9. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 251,1 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj kukuruza je nedostajalo 68,1 mm vode. U ljetnom razdoblju potrebe za vodom bile su najveće. Tako je u srpnju nedostajalo 32,5 mm vode, dok je u kolovozu deficit vode bio 110 mm. Početkom jeseni kukuruza je nedostajalo 40,5 mm vode. Tijekom cijelog vegetacijskog razdoblja 2018. godine zabilježen je nedostatak vode.



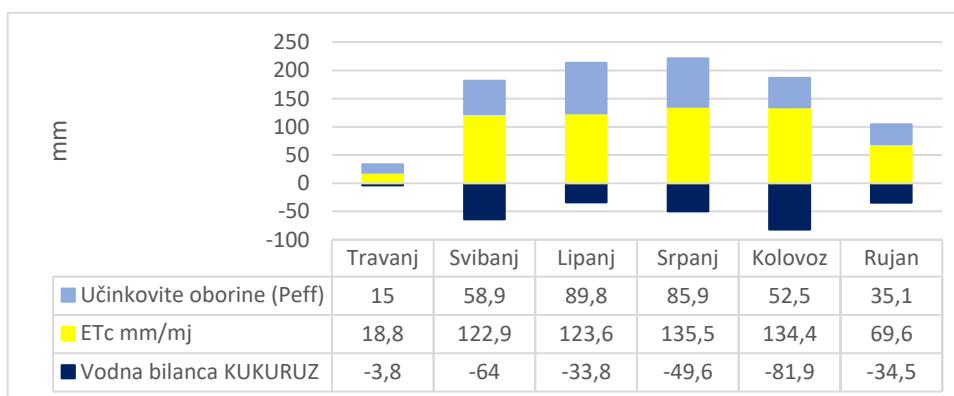
Grafikon 9. Vodna bilanca za kukuruz za područje Slavenskog Broda 2018. godine

Grafikon 10. prikazuje vodnu bilancu za soju za područje Slavenskog Broda. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 165,3 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj soje je nedostajalo 59,7 mm vode. U srpnju je nedostatak vode iznosio 25,9 mm, dok je u kolovozu soji manjkalo 89,8 mm vode. Dolaskom jeseni smanjila se evapotranspiracija soje te je soja na raspolaganju imala dovoljno vode u obliku učinkovite oborine. Dakle, u rujnu je zabilježen višak vode od 10,1 mm te iz tog razloga nije postojala potreba za navodnjavanjem.



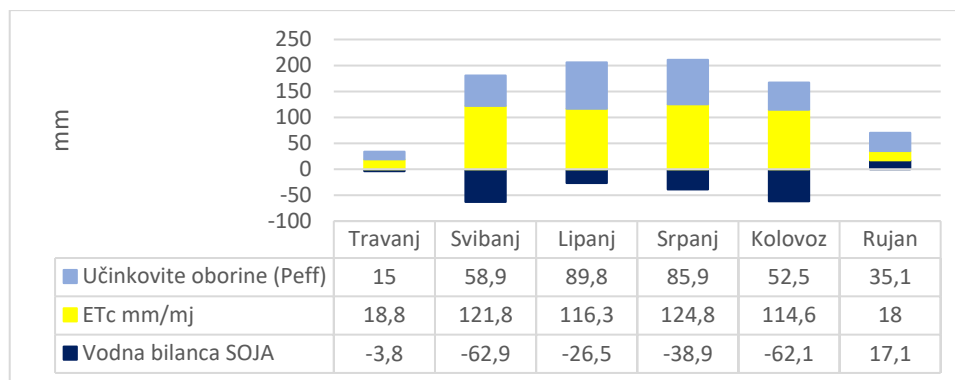
Grafikon 10. Vodna bilanca za područje Slavenskog Broda 2018. godine

Vodna bilanca za kukuruz za područje Gorica je prikazana grafikonom 11. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 267,6 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj kukuruza je nedostajalo 101,6 mm vode. U ljetnom razdoblju potrebe za vodom bile su najveće. Tako je u srpnju nedostajalo 49,6 mm vode, dok je u kolovozu deficit vode bio 81,9 mm. Početkom jeseni kukuruzu je nedostajalo 34,5 mm vode. Tijekom cijelog vegetacijskog razdoblja 2018. godine zabilježen je nedostatak vode.



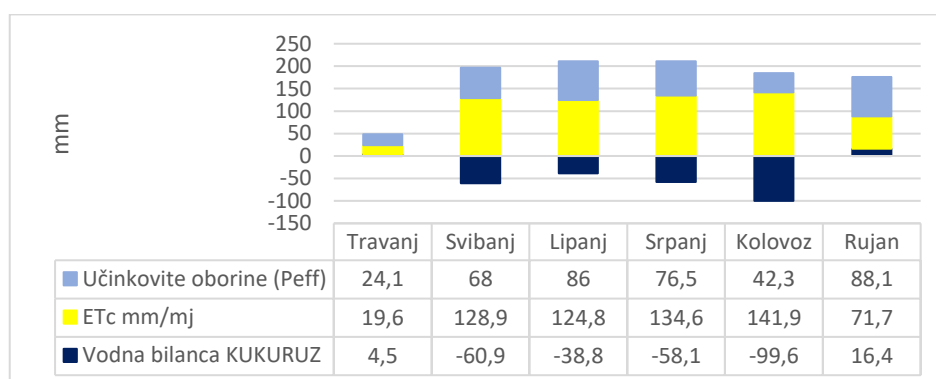
Grafikon 11. Vodna bilanca za kukuruz za područje Gorica 2018. godine

S druge strane, vodna bilanca za soju za područje Osijeka je prikazana grafikonom 12. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 177,1 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj soje je nedostajalo 93,2 mm vode. Za vrijeme ljetnog razdoblja najveću potrebu za vodom soja je imala u kolovozu kada je deficit vode iznosio 62,1 mm. Dolaskom jeseni smanjila se evapotranspiracija soje te je soja na raspolaganju imala dovoljno vode u obliku učinkovite oborine. Dakle, u rujnu je zabilježen višak vode od 17,1 mm te iz tog razloga nije postojala potreba za navodnjavanjem.



Grafikon 12. Vodna bilanca za soju za područje Gorica 2018. godine

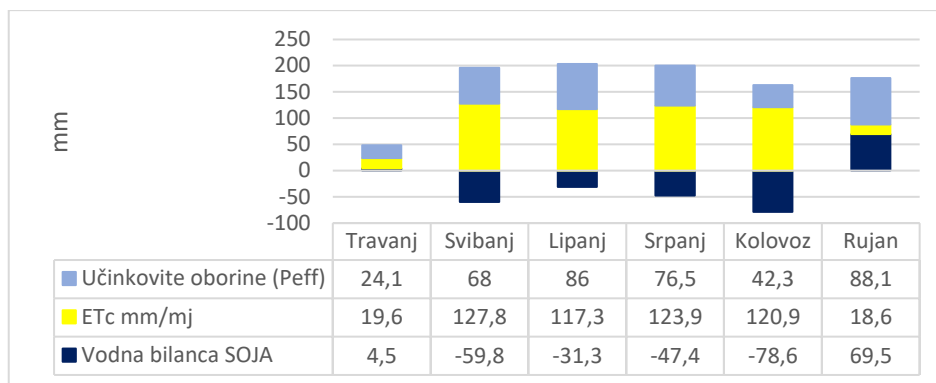
Vodna bilanca za kukuruz za područje Klise je prikazana grafikonom 13. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 236,5 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj kukuruza je nedostajalo 95,2 mm vode. U ljetnom razdoblju potrebe za vodom bile su najveće. Tako je u srpnju nedostajalo 58,1 mm vode, dok je u kolovozu deficit vode bio 99,6 mm. U rujnu je zabilježen višak vode od 16,4 mm te iz tog razloga nije postojala potreba za navodnjavanjem.



Grafikon 13. Vodna bilanca za kukuruz za područje Klise 2018. godine

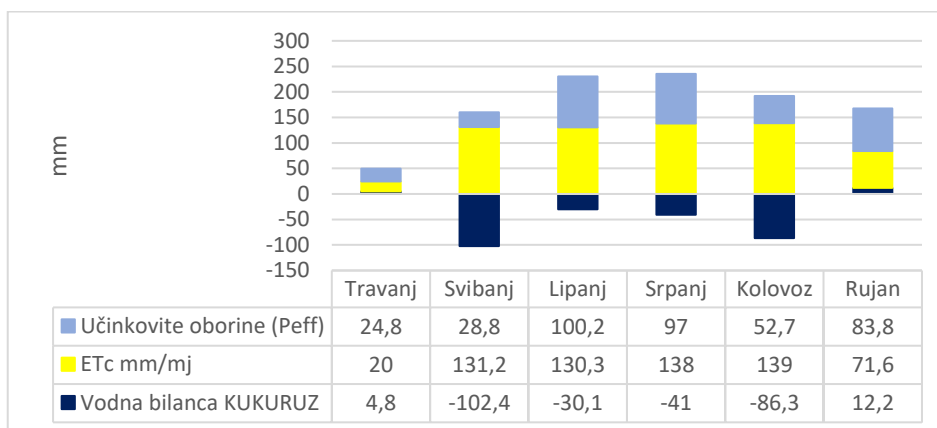
Grafikon 14. prikazuje vodnu bilancu za soju za područje Klise. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 143,1 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj soje je nedostajalo 86,6 mm vode. U srpnju je nedostatak vode iznosio 47,4 mm, dok je u kolovozu soji manjkalo 78,6 mm vode. Dolaskom jeseni smanjila se evapotranspiracija soje te je soja na raspolaganju imala dovoljno vode u obliku učinkovite oborine. Dakle, u rujnu je zabilježen višak vode od 69,5 mm te iz tog razloga nije postojala potreba za navodnjavanjem.





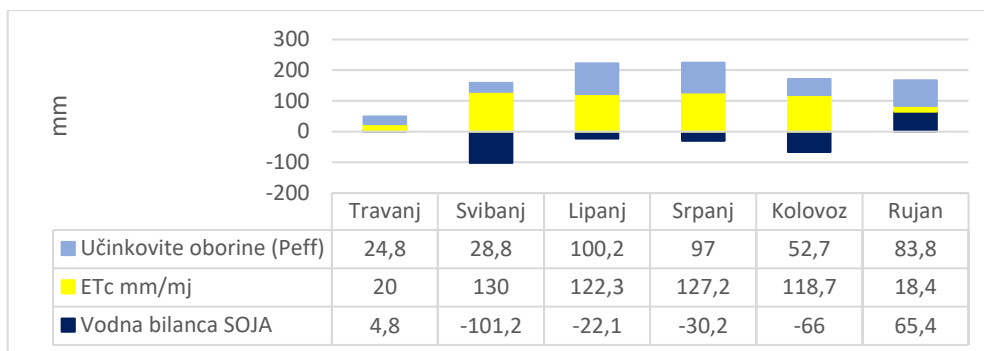
Grafikon 14. Vodna bilanca za soju za područje Klise 2018. godine

Vodna bilanca za kukuruz za područje Kopačkog rita je prikazana grafikonom 15. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 242,8 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj kukuruza je nedostajalo 127,7 mm vode. U srpnju je nedostajalo 41 mm vode, dok je u kolovozu deficit vode bio 86,3 mm. U rujnu je zabilježen višak vode od 12,2 mm te iz tog razloga nije postojala potreba za navodnjavanjem.



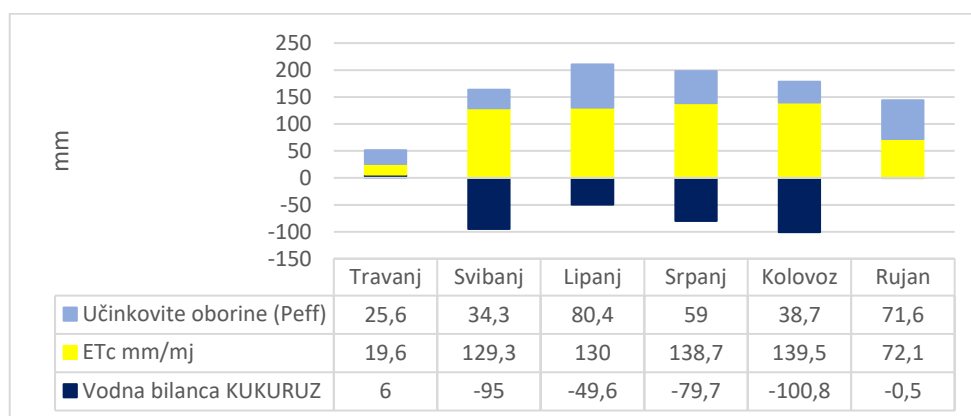
Grafikon 15. Vodna bilanca za kukuruz za područje Kopačkog rita 2018. godine

S druge strane, vodna bilanca za soju za područje Kopačkog rita je prikazana grafikonom 16. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 149,3 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj soje je nedostajalo 118,5 mm vode. Za vrijeme ljetnog razdoblja najveću potrebu za vodom soja je imala u kolovozu kada je deficit vode iznosio 66 mm. Dolaskom jeseni smanjila se evapotranspiracija soje te je soja na raspolaganju imala dovoljno vode u obliku učinkovite oborine. Dakle, u rujnu je zabilježen višak vode od 65,4 mm te iz tog razloga nije postojala potreba za navodnjavanjem.



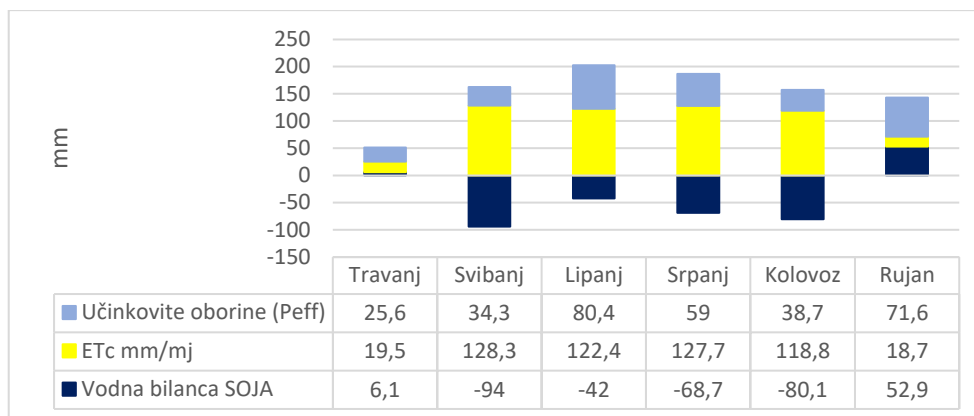
Grafikon 16. Vodna bilanca za soju za područje Kopačkog rita 2018. godine

Vodna bilanca za kukuruz za područje Belog Manastira je prikazana grafikonom 17. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 319,6 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj kukuruza je nedostajalo 138,6 mm vode. U ljetnom razdoblju potrebe za vodom bile su najveće. Tako je u srpnju nedostajalo 79,7 mm vode, dok je u kolovozu deficit vode bio 100,8 mm. U rujnu je zabilježen višak vode od 0,5 mm te iz tog razloga nije postojala potreba za navodnjavanjem.



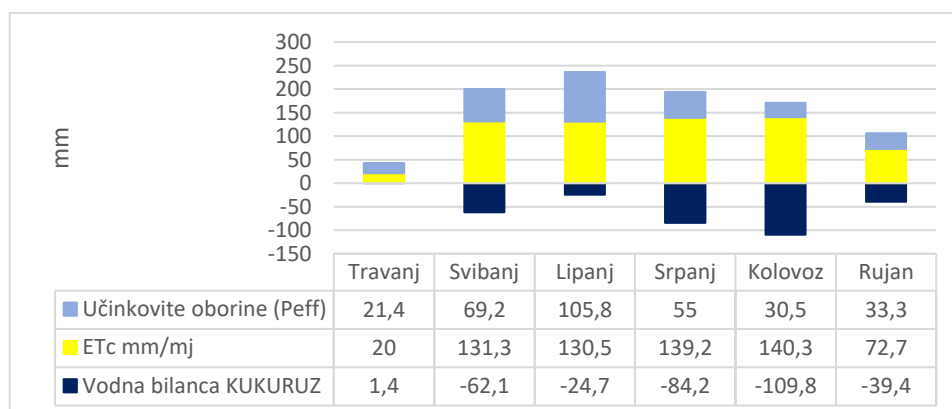
Grafikon 17. Vodna bilanca za kukuruz za područje Belog Manastira 2018. godine

Grafikonom 18. prikazana je vodna bilanca za soju za područje Belog Manastira. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 225,8 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj soje je nedostajalo 129,9 mm vode. U srpnju je nedostatak vode iznosio 68,7 mm, dok je u kolovozu soji manjkalo 80,1 mm vode. Dolaskom jeseni smanjila se evapotranspiracija soje te je soja na raspolaganju imala dovoljno vode u obliku učinkovite oborine. Dakle, u rujnu je zabilježen višak vode od 52,9 mm te iz tog razloga nije postojala potreba za navodnjavanjem.



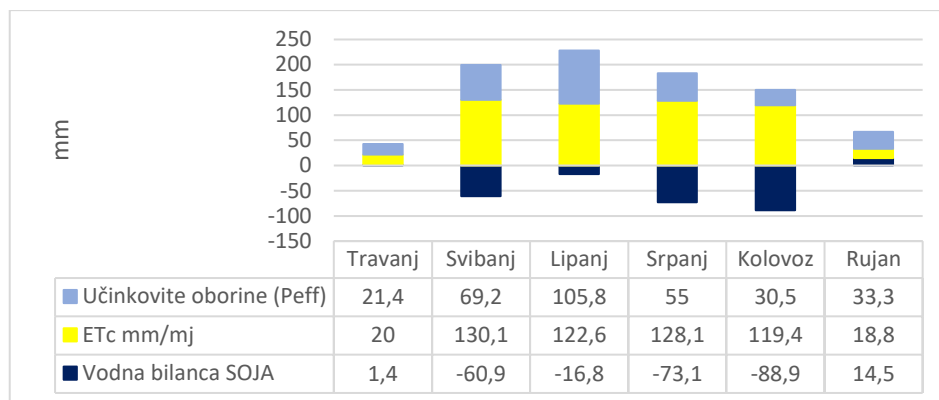
Grafikon 18. Vodna bilanca za soju za područje Belog Manastira 2018. godine

Vodna bilanca za kukuruz za područje Donjeg Miholjca je prikazana grafikonom 19. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 318,8 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj kukuruza je nedostajalo 85,4 mm vode. U ljetnom razdoblju potrebe za vodom bile su najveće. Tako je u srpnju nedostajalo 84,2 mm vode, dok je u kolovozu deficit vode bio 109,8 mm. U rujnu su se smanjile potrebe kukuruza za vodom te mu je manjkalo 39,4 mm vode.



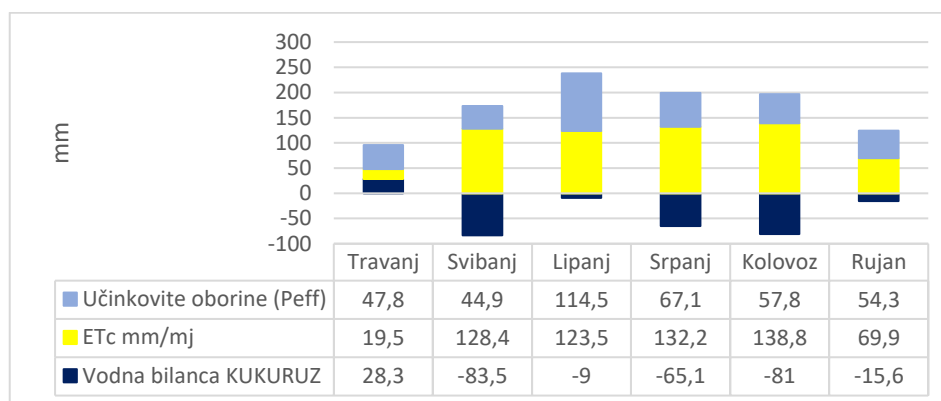
Grafikon 19. Vodna bilanca za kukuruz za područje Donjeg Miholjca 2018. godine

Grafikon 20. prikazuje vodnu bilancu za soju za područje Donjeg Miholjca. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 223,8 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj soje je nedostajalo 76,3 mm vode. U srpnju je nedostatak vode iznosio 73,1 mm, dok je u kolovozu soji manjkalo 88,9 mm vode. Dolaskom jeseni smanjila se evapotranspiracija soje te je soja na raspolaganju imala dovoljno vode u obliku učinkovite oborine. Dakle, u rujnu je zabilježen višak vode od 14,5 mm te iz tog razloga nije postojala potreba za navodnjavanjem.



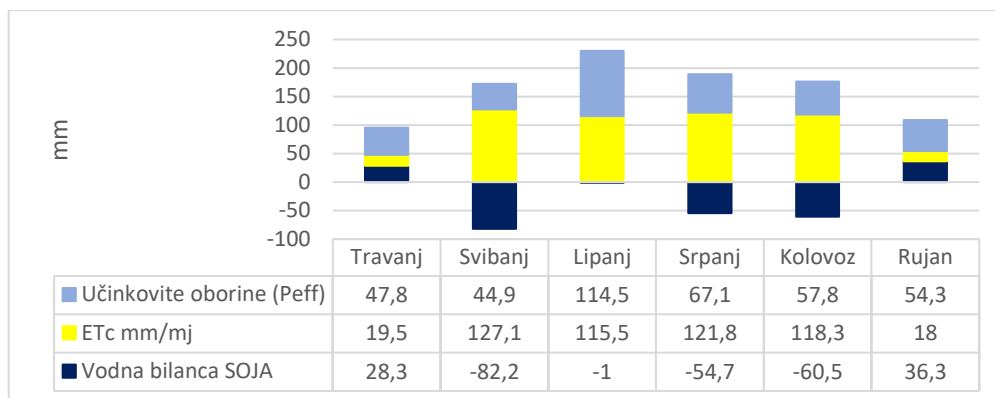
Grafikon 20. Vodna bilanca za soju za područje Donjeg Miholjca 2018. godine

Vodna bilanca za kukuruz za područje Iloka je prikazana grafikonom 21. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 225,9 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj kukuruza je nedostajalo 64,2 mm vode. U ljetnom razdoblju potrebe za vodom bile su najveće. Tako je u srpnju nedostajalo 65,1 mm vode, dok je u kolovozu deficit vode bio 81 mm. U rujnu su se smanjile potrebe kukuruza za vodom te mu je manjkalo 15,6 mm vode.



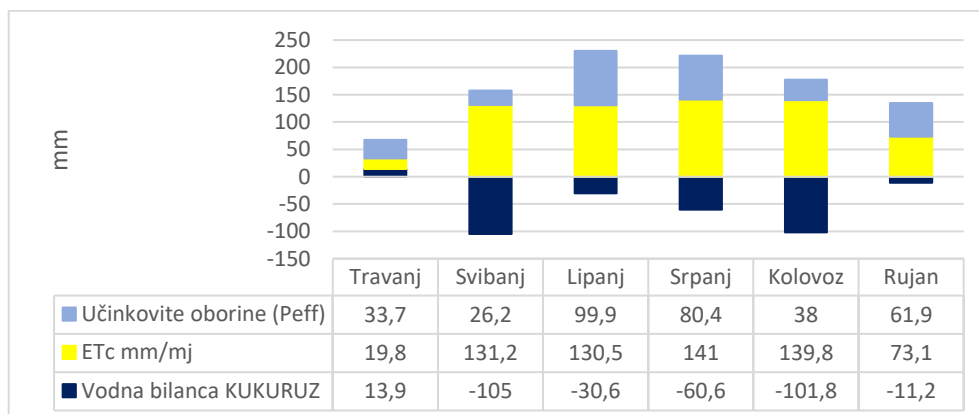
Grafikon 21. Vodna bilanca za kukuruz za područje Iloka 2018. godine

S druge strane, vodna bilanca za soju za područje Iloka je prikazana grafikonom 22. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 133,8 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj soje je nedostajalo 54,9 mm vode. Za vrijeme ljetnog razdoblja najveću potrebu za vodom soja je imala u kolovozu kada je deficit vode iznosio 60,5 mm. Dolaskom jeseni smanjila se evapotranspiracija soje te je soja na raspolaganju imala dovoljno vode u obliku učinkovite oborine. Dakle, u rujnu je zabilježen višak vode od 36,3 mm te iz tog razloga nije postojala potreba za navodnjavanjem.



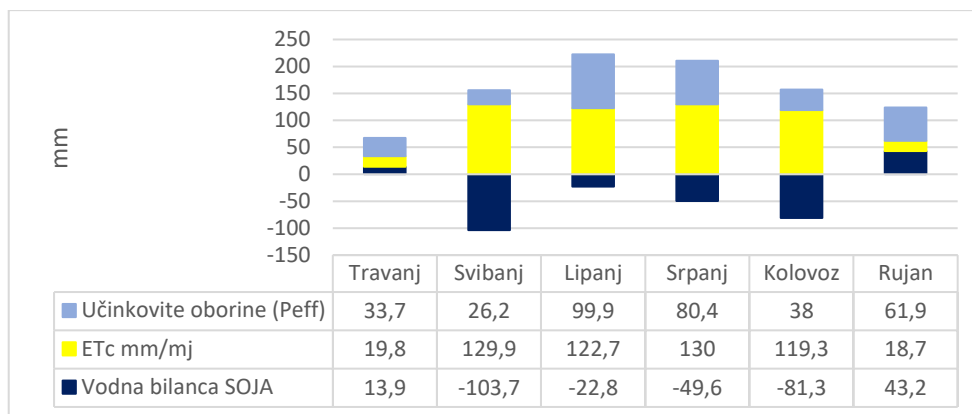
Grafikon 22. Vodna bilanca za soju za područje Iloka 2018. godine

Vodna bilanca za kukuruz za područje Našica je prikazana grafikonom 23. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 295,3 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj kukuruza je nedostajalo 121,7 mm vode. U ljetnom razdoblju potrebe za vodom bile su najveće. Tako je u srpnju nedostajalo 60,6 mm vode, dok je u kolovozu deficit vode bio 101,8 mm. Početkom jeseni smanjile su se potrebe kukuruza za vodom te je u rujnu manjak vode iznosio 11,2 mm.



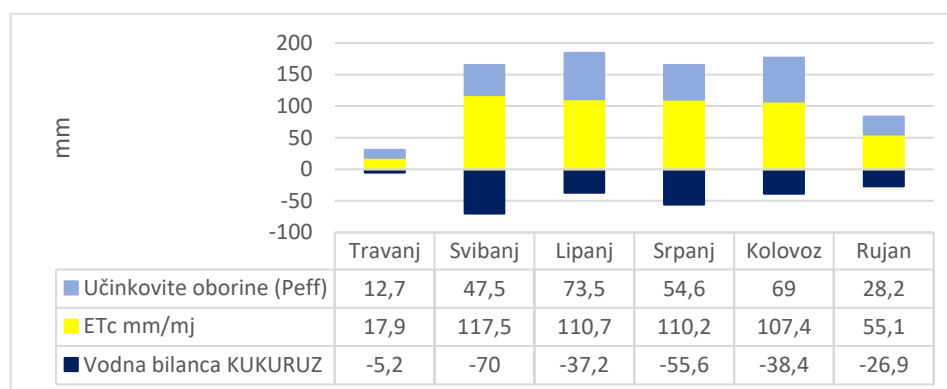
Grafikon 23. Vodna bilanca za kukuruz za područje Našica 2018. godine

Grafikon 24. prikazuje vodnu bilancu za soju za područje Našica. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 200,3 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj soje je nedostajalo 112,6 mm vode. U srpnju je nedostatak vode iznosio 49,6 mm, dok je u kolovozu soji manjkalo 81,3 mm vode. Dolaskom jeseni smanjila se evapotranspiracija soje te je soja na raspolaganju imala dovoljno vode u obliku učinkovite oborine. Dakle, u rujnu je zabilježen višak vode od 43,2 mm te iz tog razloga nije postojala potreba za navodnjavanjem.



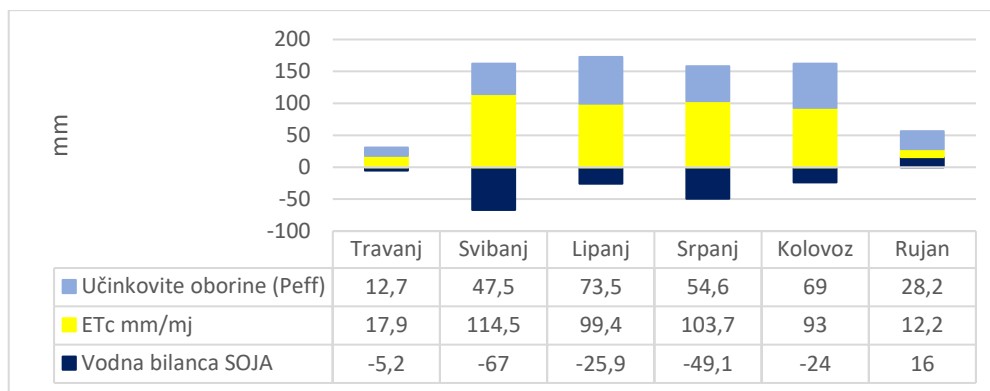
Grafikon 24. Vodna bilanca za soju za područje Našica 2018. godine

Vodna bilanca za kukuruz za područje Nove Gradiške je prikazana grafikonom 25. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 233,3 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj kukuruza je nedostajalo 112,4 mm vode. U srpnju je kukuruzu nedostajalo 55,6 mm vode, dok je u kolovozu deficit vode bio 38,4 mm. Početkom jeseni smanjile su se potrebe kukuruza za vodom te je u rujnu manjak vode iznosio 26,9 mm.



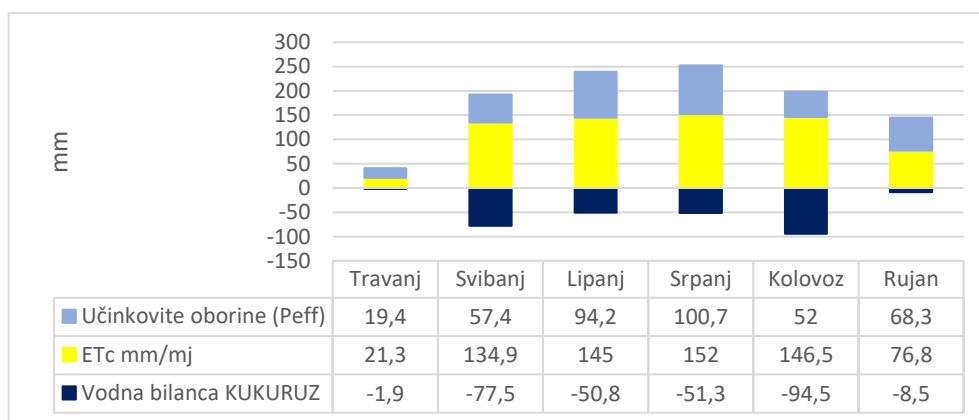
Grafikon 25. Vodna bilanca za kukuruz za područje Nove Gradiške 2018. godine

Grafikon 26. prikazuje vodnu bilancu za soju za područje Nove Gradiške. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 187,2 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj soje je nedostajalo 98,1 mm vode. U srpnju je nedostatak vode iznosio 49,1 mm, dok je u kolovozu soji manjkalo 24 mm vode. Dolaskom jeseni smanjila se evapotranspiracija soje te je soja na raspolaganju imala dovoljno vode u obliku učinkovite oborine. Dakle, u rujnu je zabilježen višak vode od 16 mm te iz tog razloga nije postojala potreba za navodnjavanjem.



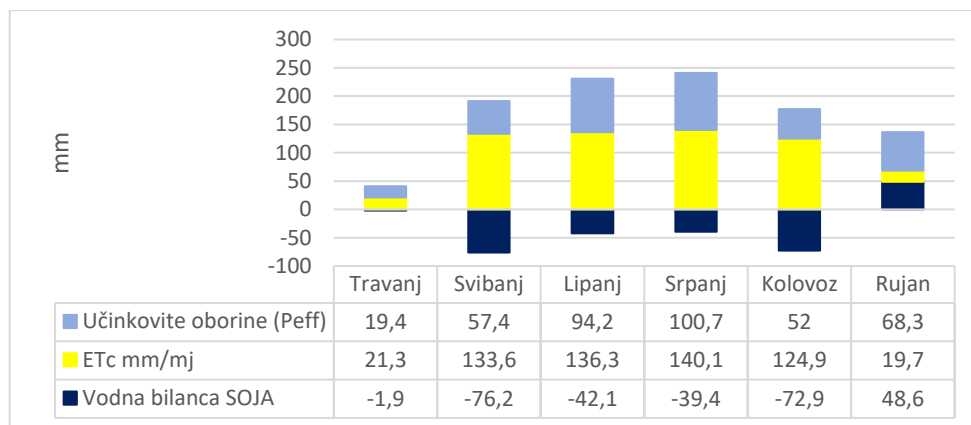
Grafikon 26. Vodna bilanca za soju za područje Nove Gradiške 2018. godine

Vodna bilanca za kukuruz za područje Požege je prikazana grafikonom 27. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 284,5 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj kukuruza je nedostajalo 130,2 mm vode. U ljetnom razdoblju potrebe za vodom bile su najveće. Tako je u srpnju nedostajalo 51,3 mm vode, dok je u kolovozu deficit vode bio 94,5 mm. Početkom jeseni smanjile su se potrebe kukuruza za vodom te je u rujnu manjak vode iznosio 8,5 mm. Tijekom cijelog vegetacijskog razdoblja 2018. godine zabilježen je nedostatak vode.



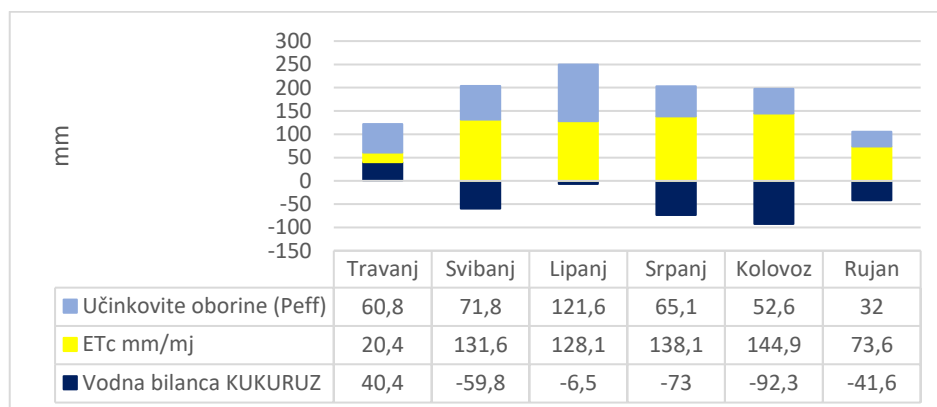
Grafikon 27. Vodna bilanca za kukuruz za područje Požege 2018. godine

S druge strane, vodna bilanca za soju za područje Požege je prikazana grafikonom 28. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 183,9 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj soje je nedostajalo 120,2 mm vode. Za vrijeme ljetnog razdoblja najveću potrebu za vodom soja je imala u kolovozu kada je deficit vode iznosio 72,9 mm. Dolaskom jeseni smanjila se evapotranspiracija soje te je soja na raspolaganju imala dovoljno vode u obliku učinkovite oborine. Dakle, u rujnu je zabilježen višak vode od 48,6 mm te iz tog razloga nije postojala potreba za navodnjavanjem.



Grafikon 28. Vodna bilanca za soju za područje Požege 2018. godine

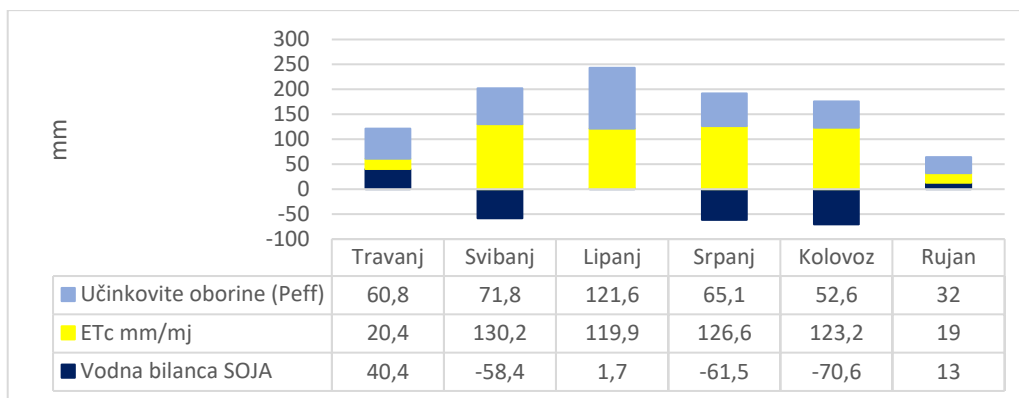
Vodna bilanca za kukuruz za područje Račinovaca je prikazana grafikonom 29. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 232,8 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj kukuruza je nedostajalo 25,9 mm vode. U ljetnom razdoblju potrebe za vodom bile su najveće. Tako je u srpnju nedostajalo 73 mm vode, dok je u kolovozu deficit vode bio 92,3 mm. Početkom jeseni smanjile su se potrebe kukuruza za vodom te je u rujnu manjak vode iznosio 41,6 mm.



Grafikon 29. Vodna bilanca za kukuruz za područje Račinovaca 2018. godine

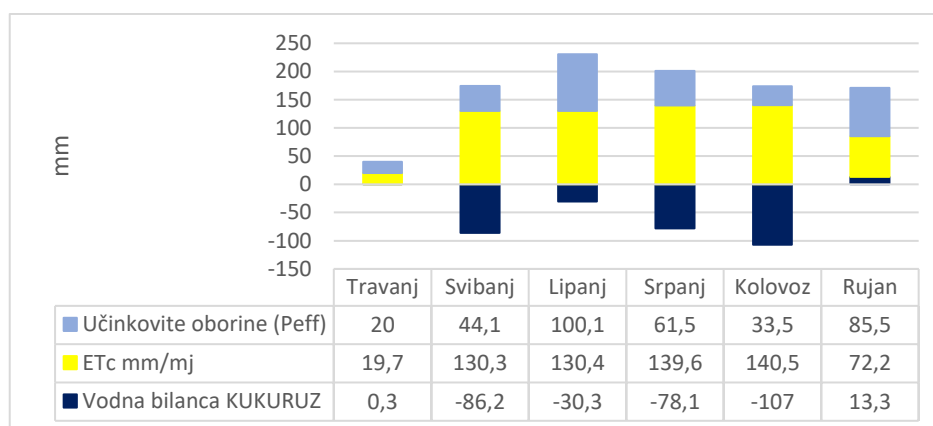
Grafikon 30. prikazuje vodnu bilancu za soju za područje Račinovaca. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 135,4 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj soje je nedostajalo 16,7 mm vode. U srpnju je nedostatak vode iznosio 61,5 mm, dok je u kolovozu soji manjkalo 70,6 mm vode. Dolaskom jeseni smanjila se evapotranspiracija soje te je soja na raspolaganju imala dovoljno vode u obliku učinkovite oborine. Dakle, u rujnu je zabilježen višak vode od 13 mm te iz tog razloga nije postojala potreba za navodnjavanjem.





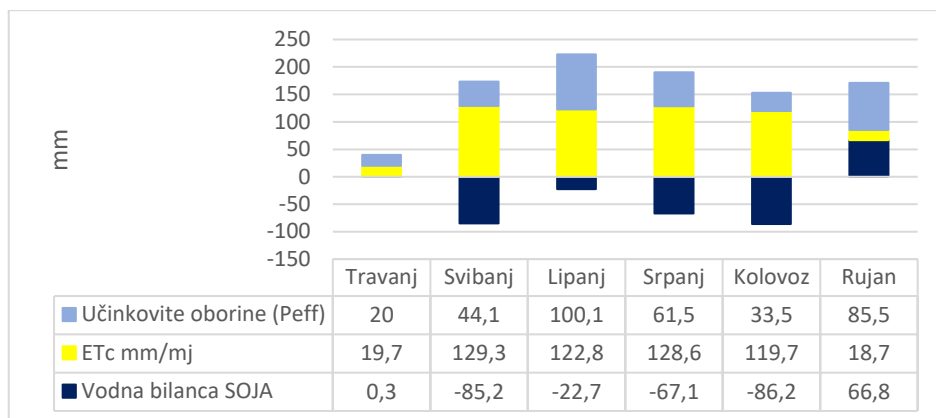
Grafikon 30. Vodna bilanca za soju za područje Račinovaca 2018. godine

Vodna bilanca za kukuruz za područje Požege je prikazana grafikonom 31. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 288 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj kukuruza je nedostajalo 116,2 mm vode. U ljetnom razdoblju potrebe za vodom bile su najveće. Tako je u srpnju nedostajalo 78,1 mm vode, dok je u kolovozu deficit vode bio 107 mm. Dolaskom jeseni smanjila se evapotranspiracija soje te je soja na raspolaganju imala dovoljno vode u obliku učinkovite oborine. Dakle, u rujnu je zabilježen višak vode od 13,3 mm te iz tog razloga nije postojala potreba za navodnjavanjem.



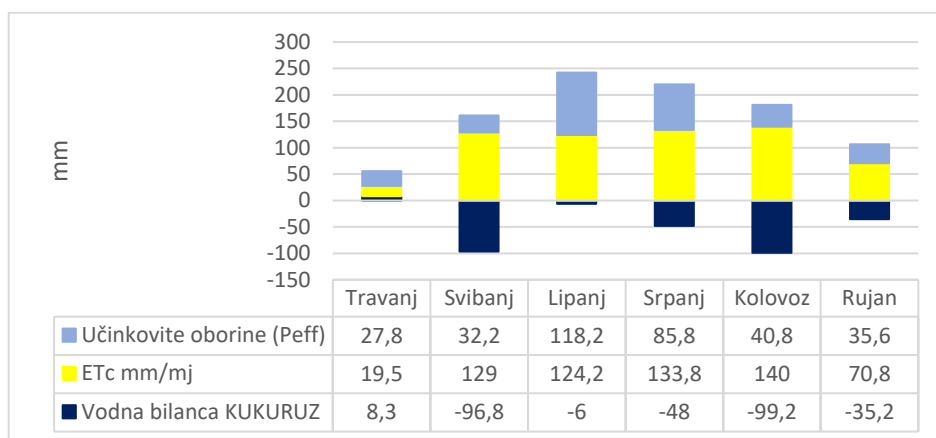
Grafikon 31. Vodna bilanca za kukuruz za područje Valpova 2018. godine

Grafikon 32. prikazuje vodnu bilancu za soju za područje Račinovaca. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 194,1 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj soje je nedostajalo 107,6 mm vode. U srpnju je nedostatak vode iznosio 67,1 mm, dok je u kolovozu soji manjkalo 86,2 mm vode. Dolaskom jeseni smanjila se evapotranspiracija soje te je soja na raspolaganju imala dovoljno vode u obliku učinkovite oborine. Dakle, u rujnu je zabilježen višak vode od 66,8 mm te iz tog razloga nije postojala potreba za navodnjavanjem.



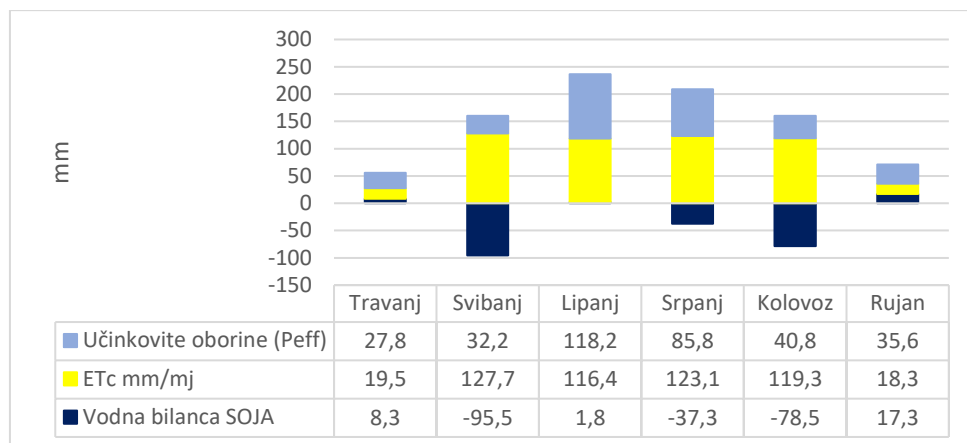
Grafikon 32. Vodna bilanca za soju za područje Valpova 2018. godine

Vodna bilanca za kukuruz za područje Vinkovaca je prikazana grafikonom 33. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 276,9 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj kukuruza je nedostajalo 94,5 mm vode. U ljetnom razdoblju potrebe za vodom bile su najveće. Tako je u srpnju nedostajalo 48 mm vode, dok je u kolovozu deficit vode bio 99,2 mm. Početkom jeseni smanjile su se potrebe kukuruza za vodom te je u rujnu manjak vode iznosio 35,2 mm.



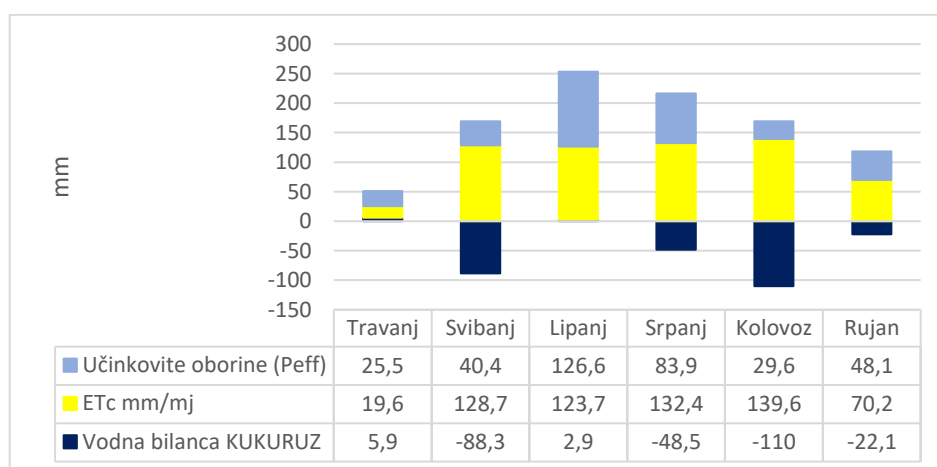
Grafikon 33. Vodna bilanca za kukuruz za područje Vinkovaca 2018. godine

Grafikon 34. prikazuje vodnu bilancu za soju za područje Vinkovaca. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 183,9 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj soje je nedostajalo 85,4 mm vode. U srpnju je nedostatak vode iznosio 37,3 mm, dok je u kolovozu soji manjkalo 78,5 mm vode. Dolaskom jeseni smanjila se evapotranspiracija soje te je soja na raspolaganju imala dovoljno vode u obliku učinkovite oborine. Dakle, u rujnu je zabilježen višak vode od 17,3 mm te iz tog razloga nije postojala potreba za navodnjavanjem.



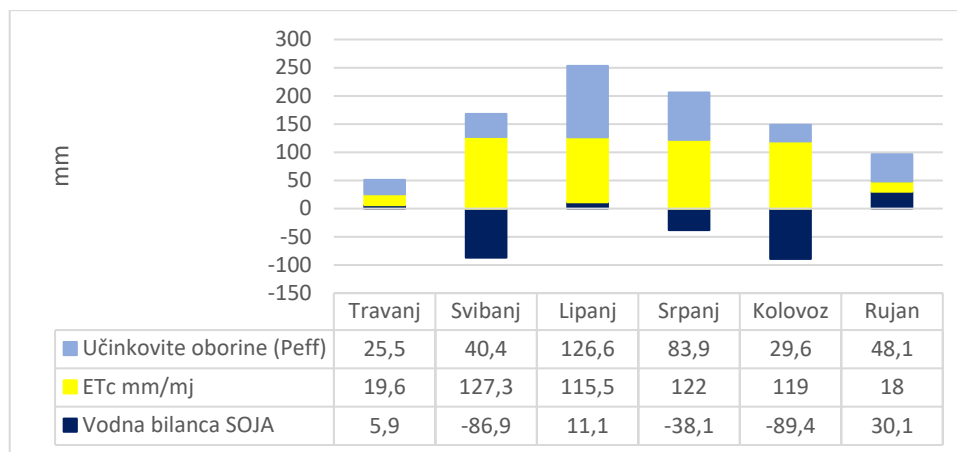
Grafikon 34. Vodna bilanca za soju za područje Vinkovaca 2018. godine

Vodna bilanca za kukuruz za područje Vukovara je prikazana grafikonom 35. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 260,1 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj kukuruza je nedostajalo 79,5 mm vode. U ljetnom razdoblju potrebe za vodom bile su najveće. Tako je u srpnju nedostajalo 48,5 mm vode, dok je u kolovozu deficit vode bio 110 mm. Dolaskom jeseni smanjila se potreba kukuruza za vodom te je u rujnu manjak vode iznosio 22,1 mm.



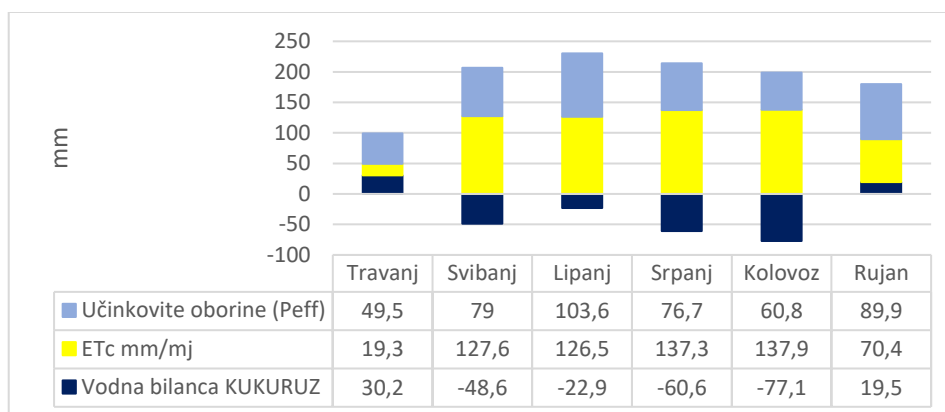
Grafikon 35. Vodna bilanca za kukuruz za područje Vukovara 2018. godine

S druge strane, vodna bilanca za soju za područje Vukovara je prikazana grafikonom 36. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 167,3 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj soje je nedostajalo 69,9 mm vode. Za vrijeme ljetnog razdoblja najveću potrebu za vodom soja je imala u kolovozu kada je deficit vode iznosio 89,4 mm. Dolaskom jeseni smanjila se evapotranspiracija soje te je soja na raspolaganju imala dovoljno vode u obliku učinkovite oborine. Dakle, u rujnu je zabilježen višak vode od 30,1 mm te iz tog razloga nije postojala potreba za navodnjavanjem.



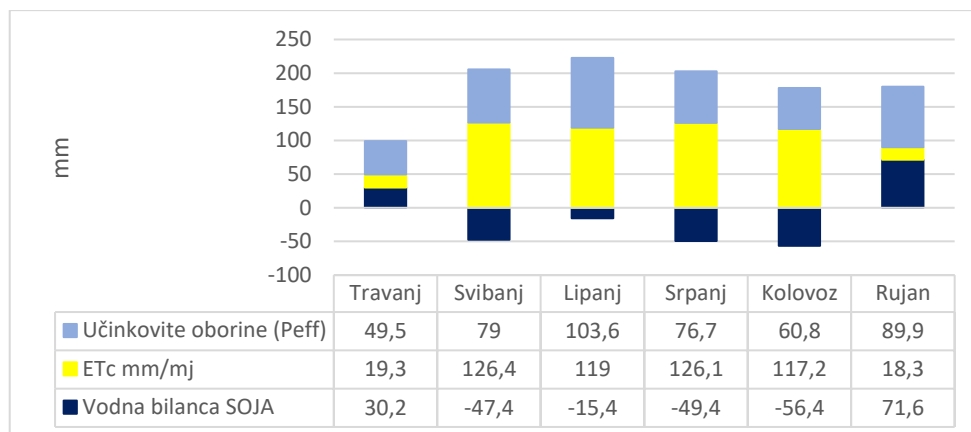
Grafikon 36. Vodna bilanca za soju za područje Vukovara 2018. godine

Vodna bilanca za kukuruz za područje Zvečeva je prikazana grafikonom 37. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 159,5 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj kukuruza je nedostajalo 41,3 mm vode. U ljetnom razdoblju potrebe za vodom bile su najveće. Tako je u srpnju nedostajalo 60,6 mm vode, dok je u kolovozu deficit vode bio 77,1 mm. Dolaskom jeseni smanjila se evapotranspiracija soje te je soja na raspolaganju imala dovoljno vode u obliku učinkovite oborine. Dakle, u rujnu je zabilježen višak vode od 19,5 mm te iz tog razloga nije postojala potreba za navodnjavanjem.



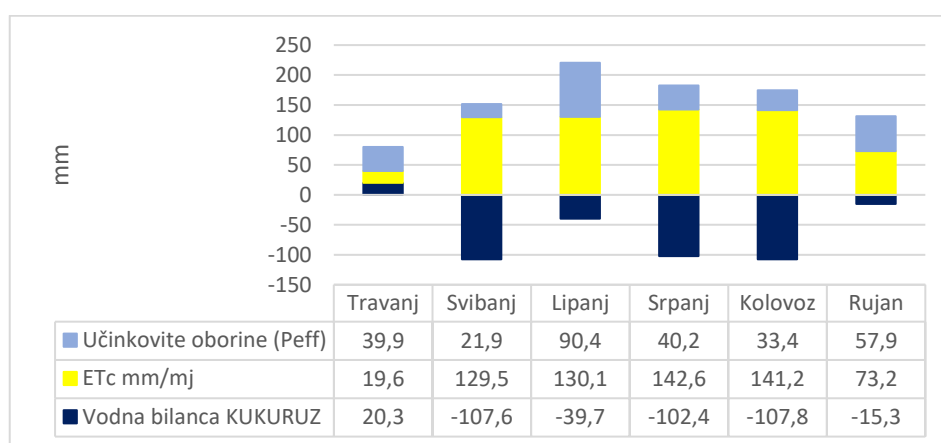
Grafikon 37. Vodna bilanca za kukuruz za područje Zvečeva 2018. godine

Grafikon 38. prikazuje vodnu bilancu za soju za područje Zvečeva. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 66,8 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj soje je nedostajalo 32,6 mm vode. U srpnju je nedostatak vode iznosio 49,4 mm, dok je u kolovozu soji manjkalo 56,4 mm vode. Dolaskom jeseni smanjila se evapotranspiracija soje te je soja na raspolaganju imala dovoljno vode u obliku učinkovite oborine. Dakle, u rujnu je zabilježen višak vode od 71,6 mm te iz tog razloga nije postojala potreba za navodnjavanjem.



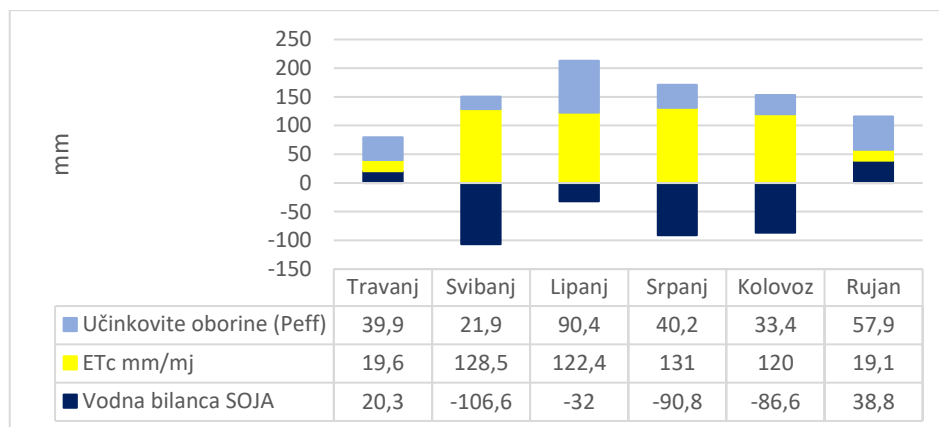
Grafikon 38. Vodna bilanca za soju za područje Zvečeva 2018. godine

Vodna bilanca za kukuruz za područje Slatine je prikazana grafikonom 39. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 352,5 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj kukuruza je nedostajalo 127 mm vode. U ljetnom razdoblju potrebe za vodom bile su najveće. Tako je u srpnju nedostajalo 102,4 mm vode, dok je u kolovozu deficit vode bio 107,8 mm. Dolaskom jeseni smanjila se potreba kukuruza za vodom te je u rujnu manjak vode iznosio 15,3 mm.



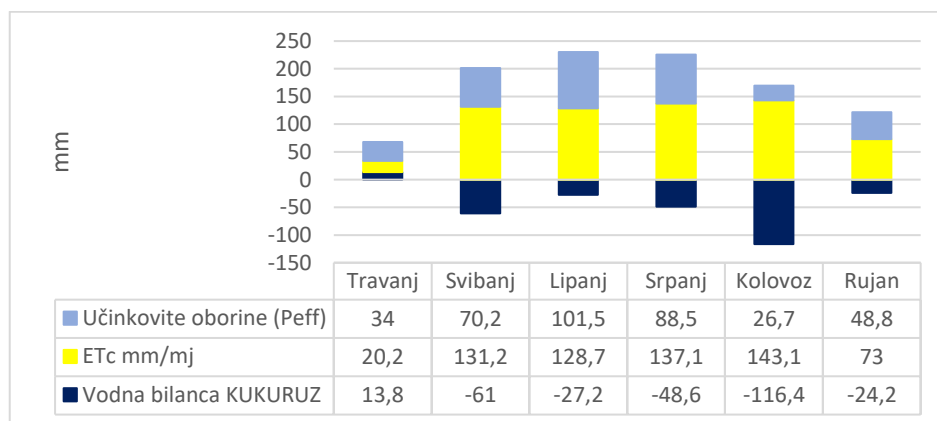
Grafikon 39. Vodna bilanca za kukuruz za područje Slatine 2018. godine

Grafikon 40. prikazuje vodnu bilancu za soju za područje Slatine. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 256,9 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj soje je nedostajalo 118,3 mm vode. U srpnju je nedostatak vode iznosio 90,8 mm, dok je u kolovozu soji manjkalo 86,6 mm vode. Dolaskom jeseni smanjila se evapotranspiracija soje te je soja na raspolaganju imala dovoljno vode u obliku učinkovite oborine. Dakle, u rujnu je zabilježen višak vode od 38,8 mm te iz tog razloga nije postojala potreba za navodnjavanjem.



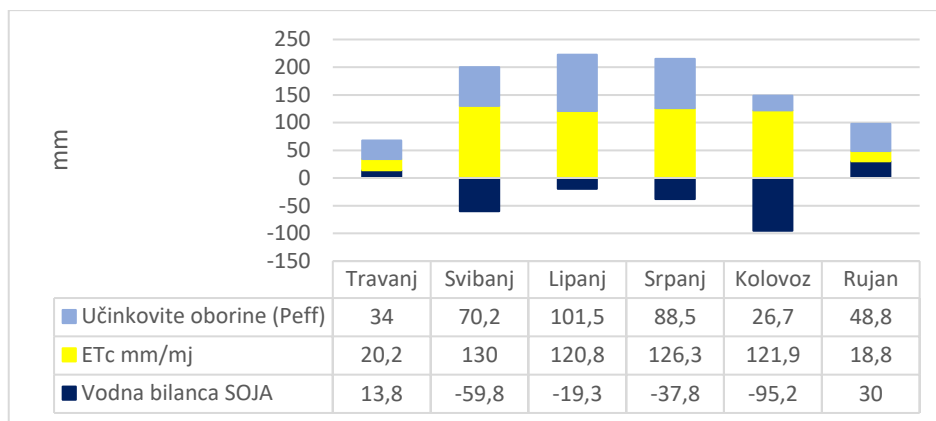
Grafikon 40. Vodna bilanca za soju za područje Slatine 2018. godine

Vodna bilanca za kukuruz za područje Županje je prikazana grafikonom 41. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 263,6 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj kukuruza je nedostajalo 74,4 mm vode. U ljetnom razdoblju potrebe za vodom bile su najveće. Tako je u srpnju nedostajalo 48,6 mm vode, dok je u kolovozu deficit vode bio 116,4 mm. Dolaskom jeseni smanjila se potreba kukuruza za vodom te je u rujnu manjak vode iznosio 24,2 mm.



Grafikon 41. Vodna bilanca za kukuruz za područje Županje 2018. godine

Grafikon 42. prikazuje vodnu bilancu za soju za područje Županje. U 2018. godini potrebna voda za navodnjavanje je bila 168,3 mm. Tijekom proljetnog razdoblja (travanj-lipanj) za pravilan rast i razvoj soje je nedostajalo 65,3 mm vode. U srpnju je nedostatak vode iznosio 37,8 mm, dok je u kolovozu soji manjkalo 95,2 mm vode. Dolaskom jeseni smanjila se evapotranspiracija soje te je soja na raspolaganju imala dovoljno vode u obliku učinkovite oborine. Dakle, u rujnu je zabilježen višak vode od 30 mm te iz tog razloga nije postojala potreba za navodnjavanjem.

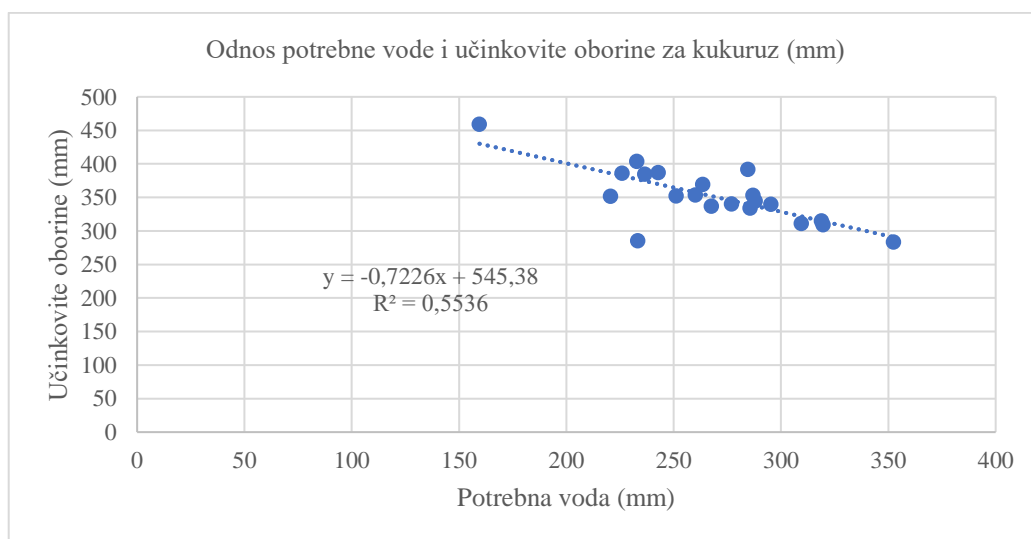


Grafikon 42. Vodna bilanca za soju za područje Županje 2018. godine

## 5. RASPRAVA

Tijekom razdoblja vegetacije 2018. godine na promatranom području je ukupno palo 8768,6 mm oborine od čega je 7398,3 mm bila učinkovita oborina (- 15 %). U pogledu količine oborine 2018. godina je bila prosječna te ekstremno topla radi nadprosječno visokih temperatura zraka. Proljetno razdoblje je u pogledu količine oborine bilo prosječno te vrlo toplo na području Daruvara i Slavonskog Broda i ekstremno toplo u preostalom dijelu promatranog područja. Ljeto je okarakterizirano kao ekstremno toplo te u većem dijelu područja s prosječnim količinama oborine osim područja Osijeka i Baranje koje je bilo kišno. Tek u jesen se javlja sušno razdoblje na zapadnom dijelu te vrlo sušno na istočnom dijelu promatranog područja.

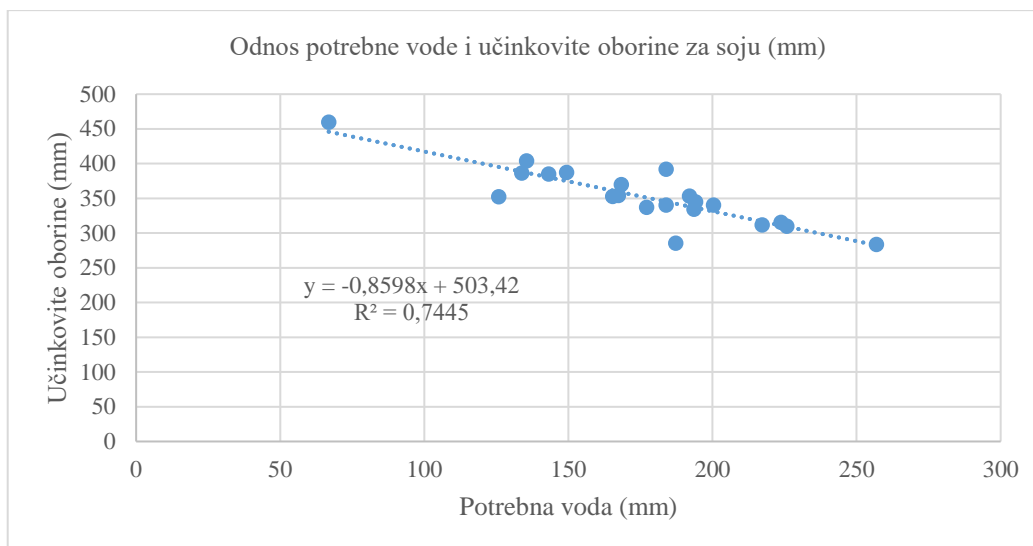
Analizom korelacijske povezanosti na grafikonu 43. utvrđena je vrlo jaka veza negativnog smjera između ukupne količine oborine te potrebne vode za uzgoj kukuruza ( $r = -0,72$ ). U prosjeku je 2018. godine potrebna voda za uzgoj kukuruza bila za 22 % manja u odnosu na ukupnu količinu oborine koja je pala na promatranom području.



Grafikon 43. Odnos između potrebne vode za uzgoj kukuruza (mm) i učinkovite oborine (mm)

Nadalje, utvrđena je vrlo jaka veza negativnog smjera ( $r = -0,86$ ) između učinkovite oborine i potrebne vode za uzgoj soje na promatranom području. Ista je prikazana grafikonom 44. U prosjeku je potrebna voda za uzgoj soje na promatranom području bila za 48,4 % manja u odnosu na učinkovite oborine (mm).

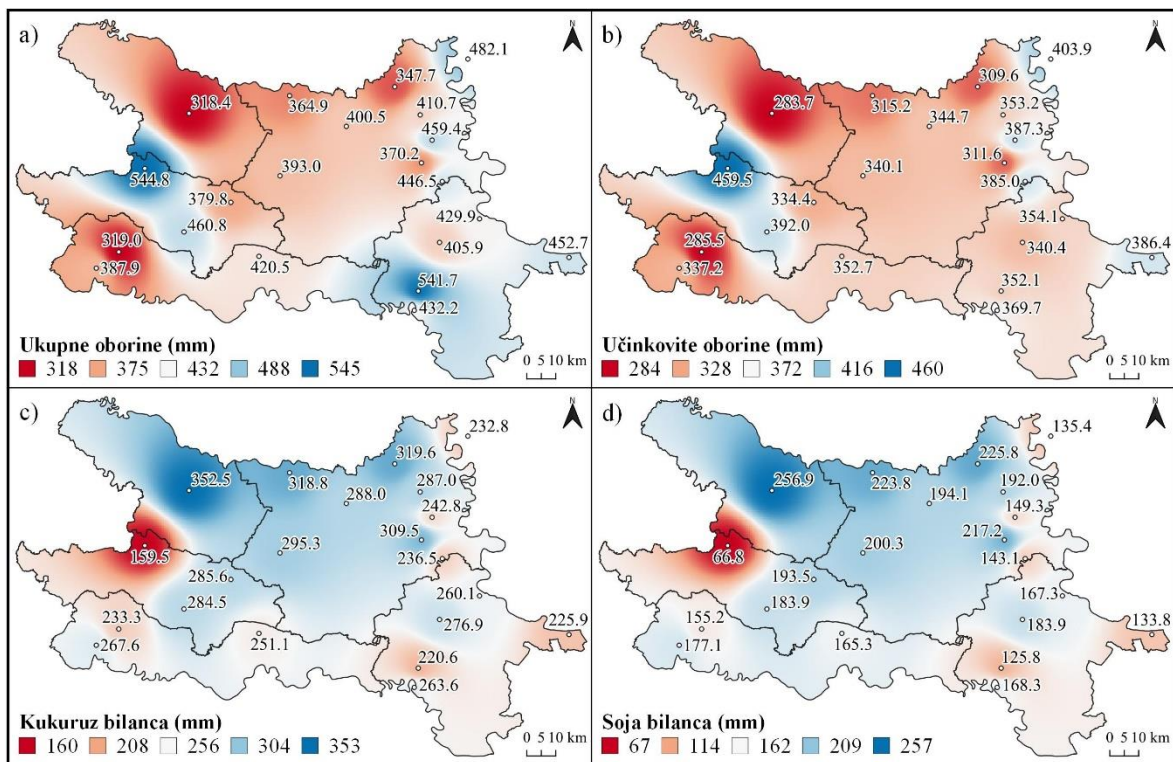




Grafikon 44. Odnos između potrebne vode za uzgoj soje (mm) i učinkovite oborine (mm)

Na slici 7. prikazana je prostorna raspodjela ukupnih i učinkovitih oborina (mm) te potrebne vode pri uzgoju kukuruza i soje (mm). Nije uočena pravilna raspodjela oborina gledajući područje istraživanja od smjera istok prema zapadu (ili obratno), međutim jasno je vidljivo kako je količina učinkovite oborine u istočnom dijelu veća u odnosu na količinu učinkovite oborine na zapadu.

Što se tiče potrebne vode za uzgoj soje i kukuruza vidljivo je kako količina potrebne vode (mm) raste od smjera zapad prema istoku, odnosno kako su najveće potrebe za vodom koju bi trebalo nadoknaditi navodnjavanjem u istočnom dijelu promatranog područja kontinentalne Hrvatske. Nadalje, promatrajući prostornu raspodjelu uočljiv je veći nedostatak vode u sjevernom dijelu promatranog područja. Razlog tome je ekstremno toplo i sušno razdoblje koje se javilo tijekom mjeseca svibnja u spomenutom području. Važno je za naglasiti kako je mjesec lipanj bio kišan, upravo kada je potrebna najveća količina vode za uzgoj kukuruza i soje. Nadalje se pogodno vrijeme za uzgoj kukuruza produžilo na mjesec srpanj na južnom i istočnom dijelu promatranog područja (Slavonski Brod, Ilok, Županja). Mjesec kolovoz je bio ekstremno topao te u pogledu količine oborine prosječan, osim područja oko Slavonskog Broda čime se može reći kako je 2018. godina bila idealna za uzgoj kukuruza i soje. Voda koju je bilo potrebno nadoknaditi navodnjavanjem je rezultat visokih temperatura zraka tijekom gotovo čitavog razdoblja vegetacije uslijed čega su biljke imale povećanu potrebu za vodom radi visoke  $ET_c$ .



Slika 7. Prikaz prostorne raspodjele ukupnih oborina (a), učinkovitih oborina (b) te potrebne vode za kukuruz (c) i soju (d)

Kao prilog tome kazuju ranije objavljeni podaci o prinosu kukuruza i soje u Republici Hrvatskoj. Kako navodi DZS (2019.) prinos kukuruza 2018. godine je bio 9,1 t/ha dok je prethodne 2017. godine prinos kukuruza bio 6,3 t/ha. Isti autor navodi kako je prinos soje 2018. godine u Republici Hrvatskoj bio 3,2 t/ha dok je prethodne godine postignut prinos od 2,4 t/ha.

Što se tiče područja Osječko-baranjske županije, navedeno je kako je kukuruz za zrna u 2018. ostvario najveći prinos po hektaru i to 9 100 kg/ha (OBŽ, 2019.). U usporedbi s 2017., to je porast od 2 800 kg/ha. Autor navodi kako je to ujedno najveći prinos po hektaru od 1961. godine.

## 6. ZAKLJUČAK

1. Pomoću CROPWAT programa ubrzava se postupak izračunavanja evapotranspiracije i potreba biljaka za vodom. CROPWAT model omogućuje proračun referentne evapotranspiracije ( $ET_0$ ), učinkovite oborine, potrebe pojedine kulture za vodom (CWR – Crop Water Requirement) i potrebe pojedine kulture za navodnjavanjem (IWR – Irrigation Water Requirement) te iz toga proračun mjesečnih količina vode koje treba osigurati za navodnjavanje kultura.
2. Glavni klimatski elementi koji utječu na potrebu biljaka za vodom ( $ET_0$ ) su sunčeva radijacija, temperatura zraka, vlažnost zraka te brzina vjetra. Navedeni elementi su osnova kod izračuna potrebne vode za navodnjavanje.
3. Najveću potrebu za vodom kukuruz i soja imali su tijekom ljetnog razdoblja 2018. godine (lipanj, srpanj, kolovoz).
4. Na lokaciji meteorološke postaje Zvečevo vodna bilanca za kukuruz je bila najmanja (159,5 mm) kao i vodna bilanca za soju (66,8 mm).
5. Na lokaciji meteorološke postaje Slatina vodna bilanca za kukuruz bila je najveća (352,5 mm) kao i vodna bilanca za soju (256,9 mm).

## 7. POPIS LITERATURE

1. Acharya, S., Pandey, A., & Chaube, U. C. (2014). Use of geographic information systems in irrigation management: A review. *Journal of Indian Water Resources Society*, 34(2), 32-39.
2. Allen, R. G., Pruitt, W. O. (1991). FAO-24 reference evapotranspiration factors. *J. Irrig. and Drain. Engrg., ASCE* 117(5): 758-773.
3. Alvankar, R., M.H. Mousavizadeh and M. Nazari. 2000. Application of GIS in water resources studies, *Fourth Conference of Iranian Commission on Large Dams*, 30-37, Tehran, Iran.
4. Amor, V. M., Das Gupta, A., Loof, R. 2002. Application of GIS and Crop Growth Models in Estimating Water Productivity. *Journal of Agricultural Water Management*, 54: 205-225.
5. Barkhordar, M. and A. Chavoshian. 2000. Flood plain analysis, Workshop on Flood Control, *Iranian Commission on Irrigation and Drainage*, 63-80. Tehran, Iran.
6. Brouwer, C., Goffeau, A., & Heibloem, M. (1985). Irrigation water management: training manual no. 1-introduction to irrigation. *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy*, 102-103.
7. Brouwer, C. & Heibloem M. (1986). Irrigation water management. Training manual no. 3. FAO, Rome, Italy, 1986.
8. Dastane, N. G. (1978). Effective rainfall in irrigated agriculture. FAO Irrigation and drainage paper. Rome, Italy, 1978.
9. Državni zavod za statistiku, DZS (2019.): Biljna proizvodnja u 2018. Dostupno na: [https://www.dzs.hr/Hrv\\_Eng/publication/2019/01-01-14\\_01\\_2019.htm](https://www.dzs.hr/Hrv_Eng/publication/2019/01-01-14_01_2019.htm), 03. 06. 2020., 14:57
10. Fortes, P. S., Platonov, A. E. and Pereira, L. S. (2005). GISAREG-A GIS based irrigation scheduling simulation model to support improved water use. ELSEVIER, *Agricultural Water Management*, 77: 159–179.
11. ICID, International Commission on Irrigation and Drainage (2018.): World irrigated area 2018. Dostupno na: <https://www.icid.org/world-irrigated-area.pdf>, 14. 2. 2020., 11:24.
12. Jurišić, M., & Plaščak, I. (2009). Geoinformacijski sustavi GIS u poljoprivredi i zaštiti okoliša. *Poljoprivredni fakultet, Osijek*.

13. Kumar, A., Dubey, O. P., & Ghosh, S. K. (2014). GIS based Irrigation Water Management. In *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology* (Vol. 3, No. 14).
14. Llasat, M.C., Snyder, R.L. (1988.): "Data error effects on net radiation and evapotranspiration estimation", *Agricultural and Forest Meteorology*, 91(3/4): 209-221.
15. Madjar, S., & Šošćarić, J. (2009). Navodnjavanje poljoprivrednih kultura. *Sveučilište J.J. Strossmayera, Poljoprivredni fakultet u Osijeku*.
16. Mateos, L., Lopez, I. and Sagardoy, J. A. (2002). SIMIS: the FAO decision support system for irrigation scheme management. *ELSEVIER, Agricultural Water Management*, 56(3): 193–206.
17. Osječko-baranjska županija, OBŽ (2019.): Informacija o poljoprivrednoj proizvodnji na području osječko-baranjske županije. Dostupno na: [http://www.obz.hr/hr/images/-Zupanijska\\_skupstina/2019/22\\_sjednica/08\\_informacija\\_o\\_poljoprivrednoj\\_proizvodnji\\_na\\_podrucju\\_obz.pdf](http://www.obz.hr/hr/images/-Zupanijska_skupstina/2019/22_sjednica/08_informacija_o_poljoprivrednoj_proizvodnji_na_podrucju_obz.pdf); 03. 06. 2020.; 13:04.
18. Romić D., Marušić J. (2006.): Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljišćem i vodama u Republici Hrvatskoj, Separat iz Građevinskog godišnjaka, 05: 17.
19. 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.
20. Šimunić, I., Husnjak, S., Ondrašćek, 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.
21. Teixeira, J. L. and Pereira, L. S. (1992). ISAREG, an irrigation scheduling model. *ICID Bulletin*, 41(2): 29-48.
22. Tomić, F. (1988.). Navodnjavanje. Savez poljoprivrednih inženjera i tehničara Hrvatske i Fakultet poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb, 1988.
23. Wane S. S., Nagdeve M. B. (2014.): Estimation of evapotranspiration and effective rainfall using CROPWAT. *International Journal of Agricultural Engineering*, 7(1): 23–26.

## 8. SAŽETAK

Navodnjavanje je agrotehnička mjera kojom se nadopunjuju prirodne oborine kada tijekom vegetacije nema dovoljno vode u tlu za normalan rast i razvoj uzgajanih kultura. U suvremenoj poljoprivrednoj proizvodnji ta je mjera od velikog značaja budući da se pravilnom primjenom navodnjavanja mogu ostvariti visoki prinosi poljoprivrednih kultura uz visoku kvalitetu istih. Upravo u svrhu projektiranja sustava za navodnjavanje osmišljen je, od strane stručnjaka FAO-a, CROPWAT program. Zadaća ovog računalnog programa je olakšati planiranje i provođenje navodnjavanja izračunima stvarne potrebne vode za navodnjavanje ( $ET_c$ ) te osnovnih elemenata navodnjavanja: obroka, norme navodnjavanja te hidromodula. Cilj ovog diplomskog rada bio je računalnim programom CROPWAT izračunati učinkovite oborine,  $ET_o$ ,  $ET_c$  za soju i kukuruz te količinu vode koju je potrebno navodnjavanjem osigurati spomenutim kulturama na lokaciji 21 meteorološke postaje tijekom vegetacijskog razdoblja 2018. godine. Za izradu diplomskog rada prikupljeni su meteorološki podaci od Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) za 5 glavnih meteoroloških postaja (Osijek-Klisa, RC Gorice, RC Gradište, RC Osijek-Čepin, Slavonski Brod) te 16 klimatoloških postaja (Beli Manastir, Donji Miholjac, Grabovac, Ilok, Kopački rit, Kutjevo, Našice, Nova Gradiška, Požega, Račinovci, Slatina, Valpovo, Vinkovci, Vukovar, Županja, Zvečevo) smještenih u istočnom i zapadnom dijelu Slavonije te u Baranji. Na temelju rezultata izračuna u računalnom programu CROPWAT izrađeni su složeni stupčasti grafikoni za lokaciju svake meteorološke postaje u 2018. godini. Grafikoni prikazuju po mjesecima kretanje vrijednosti učinkovitih oborina ( $P_{eff}$ ), vrijednosti evapotranspiracije kultura ( $ET_c$ ) te vrijednosti vodnih bilanci za vegetacijsko razdoblje (travanj-rujan) 2018. godine. Za lokaciju svake meteorološke postaje izrađena su dva grafikona, jedan za kukuruz te jedan za soju. Najveću potrebu za vodom kukuruz i soja imali su tijekom ljetnog razdoblja 2018. godine (lipanj, srpanj, kolovoz). Na lokaciji meteorološke postaje Zvečevo vodna bilanca za kukuruz je bila najmanja (159,5 mm) kao i vodna bilanca za soju (66,8 mm), dok je na lokaciji meteorološke postaje Slatina vodna bilanca za kukuruz bila je najveća (352,5 mm) kao i vodna bilanca za soju (256,9 mm).

Ključne riječi: navodnjavanje, CROPWAT, meteorološka postaja, soja, kukuruz, vodna bilanca

## 9. SUMMARY

Irrigation is an agrotechnical measure that complements natural precipitation when there is not enough water in the soil during the vegetation for normal growth and development of cultivated crops. In modern agricultural production, this measure is of great importance since the proper application of irrigation can achieve high yields of agricultural crops with high quality of the same. For the purpose of designing irrigation systems, the CROPWAT program was designed by FAO experts. The task of this computer program is to facilitate the planning and implementation of irrigation by calculating the actual amount of water required for irrigation and the basic elements of irrigation: irrigation rates and hydromodules. The aim of this thesis was to use the computer program CROPWAT to calculate the effective precipitation, the evapotranspiration, the evapotranspiration of crops (soybeans and maize) and the amount of water necessary to be ensured for these crops by irrigation at the location of 21 meteorological stations during the vegetation period in 2018. For the preparation of the master thesis, meteorological data were collected from the State Hydrometeorological Institute for 5 main meteorological stations (Osijek-Klisa, RC Gorice, RC Gradište, RC Osijek-Čepin, Slavonski Brod) and 16 climatological stations (Beli Manastir, Donji Miholjac, Grabovac, Ilok, Kopački rit, Kutjevo, Našice, Nova Gradiška, Požega, Račinovci, Slatina, Valpovo, Vinkovci, Vukovar, Županja, Zvečevo), located in the eastern and western part of Slavonia and in Baranya. Based on the results of calculations in the computer program CROPWAT, complex bar graphs were made for the location of each meteorological station in 2018. The graphs show by months the movement of the values of effective precipitation, the values of evapotranspiration of crops and the values of water balances for the vegetation period (April-September) in 2018. Two graphs were made for the location of each meteorological station, one for maize and one for soybeans. Maize and soybeans had the greatest need for water during the summer period of 2018 (June, July, August). At the location of the meteorological station Zvečevo, the water balance for maize was the lowest (159.5 mm), as well as the water balance for soybeans (66.8mm), while at the location of the meteorological station Slatina the water balance for maize was the highest (352.5 mm, as well as the water balance for soybeans (256.9 mm).

Key words: irrigation, CROPWAT, meteorological station, soybeans, maize, water balance

## **POPIS SLIKA**

Slika 1. Meteorološke postaje u Republici Hrvatskoj (str. 19)

Slika 2. Prikaz meteoroloških i klimatoloških postaja na području istraživanja (str. 20)

Slika 3. Unos klimatskih podataka u CROPWAT model (str. 21)

Slika 4. Izračun učinkovitih oborina USDA metodom (str. 21)

Slika 5. Podaci o usjevu (str. 22)

Slika 6. Podaci o tlu (str. 22)

Slika 7. Prikaz prostorne raspodjele ukupnih oborina (a), učinkovitih oborina (b) te potrebne vode za kukuruz (c) i soju (d) (str. 47)



## **POPIS GRAFIKONA**

- Grafikon 1. Vodna bilanca za kukuruz za područje Kutjeva 2018. godine (str. 23)
- Grafikon 2. Vodna bilanca za soju za područje Kutjeva 2018. godine (str. 24)
- Grafikon 3. Vodna bilanca za kukuruz za područje Gradišta 2018. (str. 24)
- Grafikon 4. Vodna bilanca za soju za područje Gradišta 2018. (str. 25)
- Grafikon 5. Vodna bilanca za kukuruz za područje Belja 2018. (str. 25)
- Grafikon 6. Vodna bilanca za soju za područje Belja 2018. (str. 26)
- Grafikon 7. Vodna bilanca za kukuruz za područje Osijeka 2018. godine (str. 26)
- Grafikon 8. Vodna bilanca za soju za područje Osijeka 2018. godine (str. 27)
- Grafikon 9. Vodna bilanca za kukuruz za područje Slavenskog Broda 2018. godine (str. 27)
- Grafikon 10. Vodna bilanca za područje Slavenskog Broda 2018. godine (str. 28)
- Grafikon 11. Vodna bilanca za kukuruz za područje Gorica 2018. godine (str. 28)
- Grafikon 12. Vodna bilanca za soju za područje Gorica 2018. godine (str. 29)
- Grafikon 13. Vodna bilanca za kukuruz za područje Klise 2018. godine (str. 29)
- Grafikon 14. Vodna bilanca za soju za područje Klise 2018. godine (str. 30)
- Grafikon 15. Vodna bilanca za kukuruz za područje Kopačkog rita 2018. godine (str. 30)
- Grafikon 16. Vodna bilanca za soju za područje Kopačkog rita 2018. godine (str. 31)
- Grafikon 17. Vodna bilanca za kukuruz za područje Belog Manastira 2018. godine (str. 31)
- Grafikon 18. Vodna bilanca za soju za područje Belog Manastira 2018. godine (str. 32)
- Grafikon 19. Vodna bilanca za kukuruz za područje Donjeg Miholjca 2018. godine (str. 32)
- Grafikon 20. Vodna bilanca za soju za područje Donjeg Miholjca 2018. godine (str. 33)
- Grafikon 21. Vodna bilanca za kukuruz za područje Iloka 2018. godine (str. 33)
- Grafikon 22. Vodna bilanca za soju za područje Iloka 2018. godine (str. 34)
- Grafikon 23. Vodna bilanca za kukuruz za područje Našica 2018. godine (str. 34)

- Grafikon 24. Vodna bilanca za soju za područje Našica 2018. godine (str. 35)
- Grafikon 25. Vodna bilanca za kukuruz za područje Nove Gradiške 2018. godine (str. 35)
- Grafikon 26. Vodna bilanca za soju za područje Nove Gradiške 2018. godine (str. 36)
- Grafikon 27. Vodna bilanca za kukuruz za područje Požege 2018. godine (str. 36)
- Grafikon 28. Vodna bilanca za soju za područje Požege 2018. godine (str. 37)
- Grafikon 29. Vodna bilanca za kukuruz za područje Račinovaca 2018. godine (str. 37)
- Grafikon 30. Vodna bilanca za soju za područje Račinovaca 2018. godine (str. 38)
- Grafikon 31. Vodna bilanca za kukuruz za područje Valpova 2018. godine (str. 38)
- Grafikon 32. Vodna bilanca za soju za područje Valpova 2018. godine (str. 39)
- Grafikon 33. Vodna bilanca za kukuruz za područje Vinkovaca 2018. godine (str. 39)
- Grafikon 34. Vodna bilanca za soju za područje Vinkovaca 2018. godine (str. 40)
- Grafikon 35. Vodna bilanca za kukuruz za područje Vukovara 2018. godine (str. 40)
- Grafikon 36. Vodna bilanca za soju za područje Vukovara 2018. godine (str. 41)
- Grafikon 37. Vodna bilanca za kukuruz za područje Zvečeva 2018. godine (str. 41)
- Grafikon 38. Vodna bilanca za soju za područje Zvečeva 2018. godine (str. 42)
- Grafikon 39. Vodna bilanca za kukuruz za područje Slatine 2018. godine (str. 42)
- Grafikon 40. Vodna bilanca za soju za područje Slatine 2018. godine (str. 43)
- Grafikon 41. Vodna bilanca za kukuruz za područje Županje 2018. godine (str. 43)
- Grafikon 42. Vodna bilanca za soju za područje Županje 2018. godine (str. 44)
- Grafikon 43. Odnos između potrebne vode za uzgoj kukuruza (mm) i učinkovite oborine (mm) (str. 45)
- Grafikon 44. Odnos između potrebne vode za uzgoj soje (mm) i učinkovite oborine (mm) (str. 46)

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek  
Sveučilišni diplomski studij Bilinogojstvo, smjer Biljna proizvodnja

Diplomski rad

### PRIMJENA FAO CROPWAT MODELA KAO GIS PROSTORNE KOMPONENTE U PRIKAZU ELEMENATA NAVODNJAVANJA

Vedran Lederer

#### Sažetak:

Navodnjavanje je agrotehnička mjera kojom se nadopunjuju prirodne oborine kada tijekom vegetacije nema dovoljno vode u tlu za normalan rast i razvoj uzgajanih kultura. U suvremenoj poljoprivrednoj proizvodnji ta je mjera od velikog značaja budući da se pravilnom primjenom navodnjavanja mogu ostvariti visoki prinosi poljoprivrednih kultura uz visoku kvalitetu istih. Upravo u svrhu projektiranja sustava za navodnjavanje osmišljen je, od strane stručnjaka FAO-a, CROPWAT program. Zadaća ovog računalnog programa je olakšati planiranje i provođenje navodnjavanja izračunima stvarne potrebne vode za navodnjavanje ( $ET_c$ ) te osnovnih elemenata navodnjavanja: obroka, norme navodnjavanja te hidromodula. Cilj ovog diplomskog rada bio je računalnim programom CROPWAT izračunati učinkovite oborine,  $ET_o$ ,  $ET_c$  za soju i kukuruz te količinu vode koju je potrebno navodnjavanjem osigurati spomenutim kulturama na lokaciji 21 meteorološke postaje tijekom vegetacijskog razdoblja 2018. godine. Za izradu diplomskog rada prikupljeni su meteorološki podaci od Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) za 5 glavnih meteoroloških postaja (Osijek-Klisa, RC Gorice, RC Gradište, RC Osijek-Čepin, Slavonski Brod) te 16 klimatoloških postaja (Beli Manastir, Donji Miholjac, Grabovac, Ilok, Kopački rit, Kutjevo, Našice, Nova Gradiška, Požega, Račinovci, Slatina, Valpovo, Vinkovci, Vukovar, Županja, Zvečevo) smještenih u istočnom i zapadnom dijelu Slavonije te u Baranji. Na temelju rezultata izračuna u računalnom programu CROPWAT izrađeni su složeni stupčasti grafikoni za lokaciju svake meteorološke postaje u 2018. godini. Grafikoni prikazuju po mjesecima kretanje vrijednosti učinkovitih oborina (Peff), vrijednosti evapotranspiracije kultura ( $ET_c$ ) te vrijednosti vodnih bilanci za vegetacijsko razdoblje (travanj-rujan) 2018. godine. Za lokaciju svake meteorološke postaje izrađena su dva grafikona, jedan za kukuruz te jedan za soju. Najveću potrebu za vodom kukuruz i soja imali su tijekom ljetnog razdoblja 2018. godine (lipanj, srpanj, kolovoz). Na lokaciji meteorološke postaje Zvečevo vodna bilanca za kukuruz je bila najmanja (159,5 mm) kao i vodna bilanca za soju (66,8 mm), dok je na lokaciji meteorološke postaje Slatina vodna bilanca za kukuruz bila je najveća (352,5 mm) kao i vodna bilanca za soju (256,9 mm).

**Rad je izrađen pri:** Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

**Mentor:** doc. dr. sc. Monika Marković

**Broj stranica:** 57

**Broj grafikona i slika:** 51 (44 grafikona i 7 slika)

**Broj tablica:** 0

**Broj literaturnih navoda:** 23

**Broj priloga:** 0

**Jezik izvornika:** Hrvatski

**Ključne riječi:** navodnjavanje, CROPWAT, meteorološka postaja, soja, kukuruz, vodna bilanca

**Datum obrane:**

**Stručno povjerenstvo za obranu:**

1. izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak, predsjednik
2. doc. dr. sc. Monika Marković, mentor
3. Doriyan Radočaj mag. ing. geod. et geoinf., član

**Rad je pohranjen u:** Knjižnica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek, Vladimira Preloga 1

## BASIC DOCUMENTATION CARD

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek**  
**Faculty of Agrobiotechnical sciences Osijek**  
**University Graduate Studies Plant production, course Crop production**

**Graduate thesis**

### USE OF FAO CROPWAT MODEL AS GIS SPATIAL COMPONENT FOR DISPLAYING OF IRRIGATION SCHEDULING

Vedran Lederer

#### **Abstract:**

Irrigation is an agrotechnical measure that complements natural precipitation when there is not enough water in the soil during the vegetation for normal growth and development of cultivated crops. In modern agricultural production, this measure is of great importance since the proper application of irrigation can achieve high yields of agricultural crops with high quality of the same. For the purpose of designing irrigation systems, the CROPWAT program was designed by FAO experts. The task of this computer program is to facilitate the planning and implementation of irrigation by calculating the actual amount of water required for irrigation and the basic elements of irrigation: irrigation rates and hydromodules. The aim of this thesis was to use the computer program CROPWAT to calculate the effective precipitation, the evapotranspiration, the evapotranspiration of crops (soybeans and maize) and the amount of water necessary to be ensured for these crops by irrigation at the location of 21 meteorological stations during the vegetation period in 2018. For the preparation of the master thesis, meteorological data were collected from the State Hydrometeorological Institute for 5 main meteorological stations (Osijek-Klisa, RC Gorice, RC Gradište, RC Osijek-Čepin, Slavonski Brod) and 16 climatological stations (Beli Manastir, Donji Miholjac, Grabovac, Ilok, Kopački rit, Kutjevo, Našice, Nova Gradiška, Požega, Račinovci, Slatina, Valpovo, Vinkovci, Vukovar, Županja, Zvečevo), located in the eastern and western part of Slavonia and in Baranya. Based on the results of calculations in the computer program CROPWAT, complex bar graphs were made for the location of each meteorological station in 2018. The graphs show by months the movement of the values of effective precipitation, the values of evapotranspiration of crops and the values of water balances for the vegetation period (April-September) in 2018. Two graphs were made for the location of each meteorological station, one for maize and one for soybeans. Maize and soybeans had the greatest need for water during the summer period of 2018 (June, July, August). At the location of the meteorological station Zvečevo, the water balance for maize was the lowest (159.5 mm), as well as the water balance for soybeans (66.8mm), while at the location of the meteorological station Slatina the water balance for maize was the highest (352.5 mm, as well as the water balance for soybeans (256.9 mm).

**Thesis performed at:** Faculty of Agrobiotechnical sciences Osijek

**Mentor:** Monika Marković, Assistant professor

**Number of pages:** 57

**Number of figures:** 51 (44 charts and 7 pictures)

**Number of tables:** 0

**Number of references:** 23

**Number of appendices:** 0

**Original in:** Croatian

**Key words:** irrigation, CROPWAT, meteorological station, soybeans, maize, water balance

**Thesis defended on date:**

**Reviewers:**

1. Associate professor Ivan Plaščak, president of the Commission
2. Assistant professor Monika Marković, mentor
3. Doriĵan Radoĉaj mag. ing. geod. et geoinf., member of the Commission

**Thesis deposited at:** Library, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1