

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Marko Oršolić

Preddiplomski stručni studij Bilinogojstvo

Smjer Ratarstvo

Analiza učinkovitih oborina na području Osijeka

Završni rad

Osijek, 2019.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Marko Oršolić

Preddiplomski stručni studij Bilinogojstvo

Smjer ratarstvo

Analiza učinkovitih oborina na području Osijeka

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu završnog rada:

1. doc. dr. sc. Monika Marković, mentor
2. izv. prof. dr. sc. Irena Rapčan, član
3. dr. sc. Marija Ravlić, član

Osijek, 2019.

SADRŽAJ:

1.	UVOD	1
2.	PREGLED LITERATURE	2
	2.1. Učinkovite oborine	2
3.	MATERIJAL I METODE	16
4.	REZULTATI I RASPRAVA	19
5.	ZAKLJUČAK	24
6.	POPIS LITERAURE	25

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
Preddiplomski stručni studij, smjer Bilinogojstvo - Ratarstvo

Završni rad

Marko Oršolić

Analiza učinkovitih oborina na području Osijeka

Sažetak: Učinkovitost oborine ovisi o većem broju čimbenika (količini, intenzitetu, uzgajanoj kulturi, gubicima nastalim uslijed isparavanja, površinskog otjecanja, otjecanja u dublje slojeve tla i dr. U ovom završnom radu analizirana je učinkovitost oborina na području Osijeka u razdoblju od 2010. do 2012. godine. Učinkovitost oborine analizirana je empirijskom metodom, postotkom u odnosu na ukupne oborine (80 %), FAO AGWL metodom te USDA metodom. Također je učinkovitost oborine analizirana u odnosu na ostvaren prinos kukuruza (*Zea mays* L.). Od odabranih metoda izračuna najveća učinkovitost oborine bila je kod AGWL metode, a najmanja kod USDA metode tijekom sve tri promatrane godine. Najveća učinkovitost oborine zabilježena je 2011. godine kod koje je izmjerena najmanja količina oborine u promatranom razdoblju.

Ključne riječi: učinkovitost oborina, suša, učinkovitost vode

27 stranice, 8 tablica, 2 grafikona, 7 slike, 38 literaturnih navoda

Završni rad je pohranjen u Knjižnici Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of agrobiotechnical sciences Osijek
Undergraduate professional study, course Plant Production

BSc Thesis

Analysis of effective rainfall for the Osijek area

Summary: Effective rainfall is closely connected to a number of factors such as amount and intensity of rainfall, crop, losses due to drainage and surface run off, evaporation etc. In this paper are analysed data for Osijek area during the 2010 – 2012 period. Effective rainfall is analysed with empirical method, fixed percentage (80%), FAO AGWL and USDA method. Also, the rainfall efficiency is analysed in regards to maize (*Zea mays* L.) yield. The highest effective rainfall was recorded at AGWL method while the lowest at USDA method in all three years. The highest rainfall efficiency was during the year 2011, the year with the lowest amount of rainfall.

Key words: rainfall effectiveness, drought, water efficiency

27 pages, 8 tables, 2 charts, 7 figures, 38 references

BSc Thesis is archived in Library of Faculty of agrobiotechnical sciences Osijek and in digital repository of Faculty of agrobiotechnical sciences Osijek

1. UVOD

Oborine su u većini dijelova svijeta najvažniji izvor vode za poljoprivrednu proizvodnju, pri čemu se promatra količina, raspored i intenzitet oborine kako bi se odredila njena učinkovitost. Pri dovoljnoj količini topline, svjetlosti, hranjivih tvari i drugih čimbenika rasta i razvoja produktivnost biljaka će ovisiti o količini pristupačne vode. Pored opskrbe vodom, oborine omogućuju biljci i usvajanje hranjivih tvari. Voda u tlu otapa biljci nepristupačna hraniva, a potom ih biljka preko korjenovog sustava usvaja i koristi za sintezu organske tvari. Određena količina vode u stanicama biljke je neophodan uvjet za njihovu fiziološku aktivnost. Starenjem biljne stanice smanjuje se njezina aktivnost, a time se smanjuje i količina vode u stanici. Voda u biljci neophodna je ne samo za ishranu biljaka već i za prenošenje tvari od korijena preko stabljike prema listovima i obrnuto, a isto tako i za aktivnost enzima, odvijanje fizioloških i kemijskih procesa.

Važnost oborina za biljnu proizvodnju ogleda se kroz planiranje agrotehničkih mjera sjetve i žetve, obrade tla, planiranje i izvođenje navodnjavanja, odvodnje suvišnih voda te izgradnji akumulacija, planiranje zaštite u biljnoj proizvodnji i mnogih drugih. Varijabilnost oborina iz godine u godinu značajno utječe na stabilnost biljne proizvodnje.

Gledajući globalno, poljoprivredna proizvodnja je najveći potrošač čiste pitke vode. Pojedini autori navode od 70 do 80 % svjetske potrošnje vode odlazi na poljoprivrednu proizvodnju. Nedostatak oborina nadoknađuje se agrotehničkom mjerom navodnjavanja koja može imati dopunski ili osnovni karakter. U područjima s dovoljnom količinom oborine navodnjavanjem se nadoknađuje potreba biljaka za vodom u razdobljima kada oborina nema dovoljno ili su nepravilno raspoređene. U aridnim područjima navodnjavanje ima osnovni karakter jer je sva voda tijekom razdoblja vegetacije nadoknađena putem navodnjavanja.

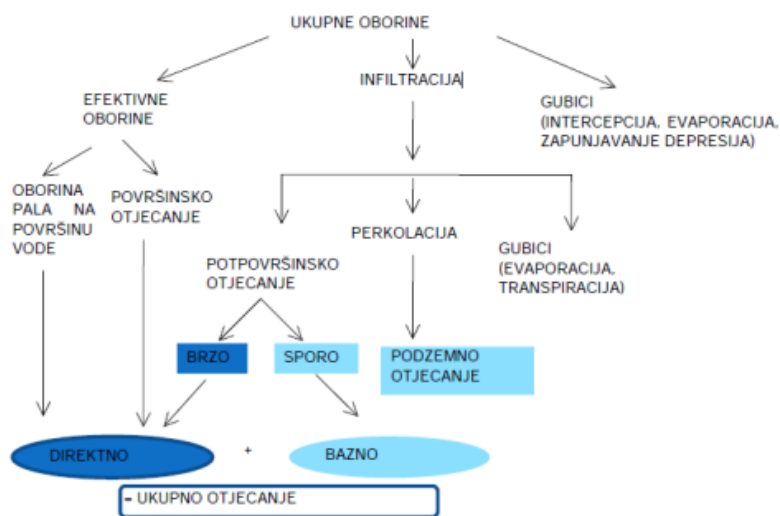
Bez obzira jesu li posijane kulture koje su tolerantne na sušu, biljka ima potrebe za određenom količinom vode u pojedinim fazama razvoja. Obzirom na značaj oborina, potrebno je detaljnije proučiti njihov utjecaj na biljnu proizvodnju, ne samo tijekom vegetacijskog razdoblja, nego i u hladnijem dijelu godine, kada one služe za stvaranje rezervne zemljišne vlage koja je potrebna biljkama kako u proljeće, kada počinje vegetacija, tako i u kasnijim fazama razvoja.

2. PREGLED LITERATURE

2.1. Učinkovite oborine

Svaka oborina koja padne nije iskoristiva obzirom na količinu, vrijeme kada padne ili intenzitet oborine. Pojedina oborina obzirom na intenzitet ili vrijeme kada je pala može biti više štetna nego korisna. Primjerice za biljnu proizvodnju dugotrajne oborine slabijeg intenziteta su osobito korisne. Smatra se da su za poljoprivredne kulture značajne oborine veće od 8 mm za 12 sati, dok su oborine ≥ 30 mm tijekom 24 sata obilne i smatraju se štetnim za poljoprivredu (Longinov i sur., 1972.).

Nadalje određena količina oborina nije iskoristiva za biljku jer dolazi do površinskog otjecanja, zadržavanja na biljnoj masi te otjecanja u dublje slojeve tla i stoga biljci nije dostupna. Učinkovitost vode, bez obzira radi li se o oborinama ili navodnjavanju ogleđa se u omjeru količine vode i ostvarenog prinosa uzgajane kulture. Koncept učinkovitih oborina prikazan je slikom 1.



Slika 1. Učinkovite oborine u odnosu na gubitke

(izvor:

http://www.gfv.hr/modules/m_gfv/zavrzni_diplomski_radovi/Ivan_Ploh_zavrzni.pdf)

FAO (2017.) definira učinkovitost vode (oborine i navodnjavanja) kao mjeru ekonomskog ili biološkog prinosa po jedinici utrošene vode u biljnoj proizvodnji. Povećanje

učinkovitosti vode poprima sve veći značaj u svijetu radi povećane potrošnje vode u poljoprivrednoj proizvodnji uslijed učestalijih pojava suše, odnosno radi ozbiljnih posljedica klimatskih promjena. Stoga povećanje učinkovitosti vode ima za cilj povećati produktivnost poljoprivredne proizvodnje, smanjenje gladi i siromaštva u svijetu te ublažavanje posljedica suše. Stručnjaci predviđaju kako bi sadašnja godišnja evapotranspiracija (ET) od 7,130 km³ u idućih 50 godina mogla biti udvostručena (Molden i Oweis, 2007.) no uz odgovarajuće mjere povećanje bi moglo biti 20 do 30 %.

Pri određivanju učinkovitosti oborina promatra se slijedeće:

- Koje razdoblje bi trebalo promatrati? Treba li se ograničiti samo na razdoblje vegetacije ili bi trebalo promatrati vrijeme prije sjetve obrade tla što je važno za konzervaciju;
- Treba li promatrati samo potrebnu vodu za biljke ili gubitke nastale površinskim otjecanjem, zadržavanjem vode na površini tla ili količinu vode koja se gubi ispiranjem u dublje slojeve tla?
- Je li oborina učinkovita ako je pala na tlo koje je saturirano vodom?
- Koja je uloga usjeva?
- Kako promatrati učinkovitost oborine ako je na nekoj površini zasijan veći broj različitih kultura čije se potrebe razlikuju po količini i u odnosu na različite faze razvoja?
- Kako promatrati razlike u godišnjim količinama oborina?

Za biljnu proizvodnju nije dovoljno poznavati samo ukupnu godišnju količinu oborina, već i njihov raspored tijekom razdoblja vegetacije. To znači da u godinama s jednakom količinom oborine ako se nedostatak oborine u pojedinoj godini dogodio u kritičnim fazama za razvoj biljke, prinos će te godine biti smanjen. Prema ruskom agrometeorologu Brounovu kritične faze su one kod kojih dolazi do pada prinosa uslijed stresa izazvan nedostatkom vode. Kod većine jednogodišnjih biljaka kritično razdoblje javlja se pri formiranju generativnih organa. Ako su zalihe vode u tlu u tom razdoblju smanjene, biljke se u najboljem slučaju slabo razvijaju i daju niske prinose, a pri jakoj suši u to vrijeme prinos može i izostati. Kod višegodišnjih biljaka do plodonošenja kritična faza je u vrijeme intenzivnog porasta lisne mase. U tablici 1. su navedene kritične faze kod različitih poljoprivrednih kultura.

Tablica 1. Kritične faze kod različitih poljoprivrednih kultura (Skazin, 1962.)

Vrsta	Kritična faza
Ozima pšenica i raž	Vlatanje - klasanje
Jara pšenica, ječam	Vlatanje - klasanje
Kukuruz	Cvatnja - mliječna zrioba
Prosolike žitarice (sirak, proso)	Metličanje - nalijevanje zrna
Leguminoze, kikiriki, heljda	Cvatnja
Suncokret	Cvatnja - pojava glavice
Krumpir	Cvatnja - formiranje gomolja
Rajčica	Cvatnja - formiranje plodova

Međutim, iako su oborine u vegetacijskom razdoblju neophodne za normalan život biljaka, one ponekad mogu, posredno ili neposredno negativno utjecati na biljnu proizvodnju. Velike količine oborina dovode do prekomjerne vlažnosti tla što pogoršava vodozračne odnose u tlu i izmjene plinova u tlu, prije svega kisika. Nadalje, oštećuje se korijen biljaka, zaustavlja se rast biljaka, a u krajnjem slučaju može dovesti i do njihovog uvenuća.

U vrijeme cvatnje kiše jačeg intenziteta ispiru veću količinu polenovog praha, te je oplodnja znatno smanjena, što utječe i na smanjenje prinosa. Osim toga, kiša ispiru i razblažuje nektar, a pri maloj količini šećera u nektaru (4 - 5 %) pčele ne posjećuju cvjetove, uslijed čega je oplodnja nepotpuna. Kiše praćene padom temperature zaustavljaju proces formiranja ploda i usporavaju sazrijevanje plodova. Dugotrajne kiše dovode do polijeganja žitarica (slika 2.) i trava i usporavaju njihovo sušenje. U takvim uvjetima trava i slama potamne i gube hranjivost, a zrno sadrži veliki postotak vlage. Česte i obilne kiše u vrijeme žetve i košnje otežavaju radove i dovode do velikih gubitaka, a također smanjuju i kvalitetu proizvoda. Kišovito vrijeme pospješuje i pojavu raznih bolesti. U takvim uvjetima se npr. na lišću krumpira i rajčice mogu pojaviti tamne mrlje, što je znak da su biljke oboljele od *phytoftore infestans*. Pri dužem kišovitom i toplom vremenu ova bolest se brzo širi. Padajući sa zaraženog lišća, kapljice vode prodiru u zemljište, prenose spore do gomolja i proširuju zarazu na njih. Veliku štetu poljoprivrednim kulturama čine pljuskovi, osobito u razdoblju od sjetve do nicanja. U takvim uvjetima je otežano nicanje i povećava se gubitak vlage isparavanjem. Osim toga, jaki pljuskovi dovode do zbijanja tla, ali i do polijeganja biljaka. Polijeganje otežava žetvu, te dovodi do gubitaka u prinosu.



Slika 2. Polijeganje kukuruza uslijed kiše i vjetra jakog intenziteta (fotografija: Brkić A., 2014.)

Nadalje količina vode koja je pristupačna biljkama pored količine i rasporeda oborina ovisiti će i od niza drugih činitelja. Koliki će se postotak oborina infiltrirati u tlo ovisi prije svega o fizikalnim svojstvima tla i stanju njegove površine (pojava pokorice), sadržaju vode u tlu, intenziteta i trajanja oborina, nagiba terena, vrsti biljnog pokrivača i drugih čimbenika. Od fizikalnih svojstava tla za vodni režim najvažnija je njegova struktura, odnosno povezanost zemljišnih čestica u strukturne agregate. Infiltracija je direktno povezana sa strukturom tla, a predstavlja brzinu kojom voda odnosno oborine prodiru u tlo. Infiltracija je važna u kontroli poplava, onečišćenja površinskih i podzemnih voda te učinkovitosti navodnjavanja (Rashidi i sur., 2014.). Brzina infiltracije za različite tipove tla prikazana je tablicom 2. (FAO, 1988.).

Tablica 2. Brzina infiltracije kod različitih tipova tala

Tip tla	Infiltracija (mm/sat)
Pijesak	<30
Pjeskovita ilovača	20 – 30
Ilovača	10 – 20
Glinasta ilovača	5 – 10
Glina	1 – 5

Tla s mrvičastom strukturom imaju veću infiltracijsku sposobnost te lakše opskrbljuju biljke vodom nego tla s lošom strukturom. Što je površinski sloj tla zbijeniji, to je infiltracija manja, a površinsko otjecanje veće. Ukoliko je vlažnost tla veća, infiltracija je sporija i obrnuto. Povećanjem intenziteta oborina njihovo korisno djelovanje odnosno učinkovitost se smanjuje, jer se smanjuje brzina infiltracije, a povećavaju se gubici nastali površinskim otjecanjem. To je slučaj i kod pljuskova, koji obično ne traju dugo, ali je intenzitet oborina velik, te tlo za kratko vrijeme ne uspije apsorbirati svu količinu vode, već ona ili brzo otječe, posebno na strmim terenima, ili se zadržava na površini tla, odakle opet brzo ispari. Na slici 3. prikazano je zadržavanje vode na poljoprivrednoj površini kao posljedica intenzivnih oborina.



Slika 3. Zadržavanje vode na površini tla kao posljedica oborina jačeg intenziteta (fotografija: Brkić, A., 2014.)

(izvor: <https://vijesti.hrt.hr/128331/olujno-nevrijeme-u-zagrebu-i-sisku>)

Nasuprot tome, kod dugotrajnih oborina slabijeg intenziteta voda postepeno prodire u tlo, pa je stoga učinkovitost takvih oborina veća. Nadalje čimbenik koji ima utjecaja na brzinu infiltracije je nagib terena. Povećanjem nagiba povećava se površinsko otjecanje vode što dovodi do vodene erozije (Adeniji i sur., 2013.). Količina vode koja je izgubljena površinskim otjecanjem ili koja leži na površini tla ne bi trebala u potpunosti biti promatrana kao neučinkovita jer površinskim otjecanjem odlazi u donje dijelove

vodotokova, a voda koja je zadržana na površini tla može biti crpljena i prebačena u lagune (Dastane, 1978.).

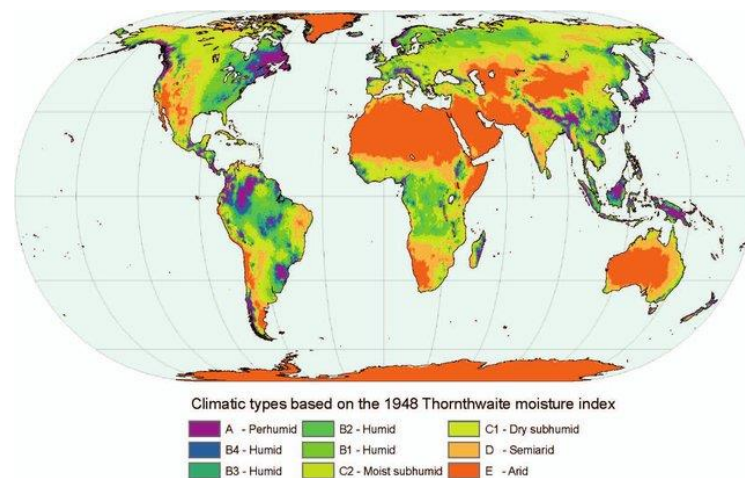
Količina vode se infiltrira u tlo ovisi i od vrste biljnog pokrivača, kao i od faze razvoja biljaka. Naime biljni pokrivač zadržava velik dio oborina, odnosno voda se zadržava a lisnoj masi. Peng i sur. (2004.) navode kako je infiltracija povećana na tlima na kojima su uzgajane jednogodišnje kulture, dok je kod trajnih nasada infiltracija smanjena.

Sličan je slučaj i na tlu u šumama. Određena količina oborina zadržava se u krošnjama drveća, odakle isparava u atmosferu, jedan dio se slijeva niz stablo, dok drugi dio u vidu kapljica pada s grana, lišća ili iglica. Količina oborine koja se zadrži na biljnom pokrivaču ovisi ne samo od vrsti biljke, nego i od faze razvoja. Pri dugotrajnim oborinama slabijeg intenziteta apsorpcija oborina smanjuje se s povećanjem lisne mase. Pri oborinama većeg intenziteta, tlo apsorbira veće količine oborina u kasnijim fazama razvoja, jer gust i kompaktan sklop biljaka smanjuje površinsko otjecanje.

Prema svemu navedenom Hayes i Buell (1955.) predlažu slijedeću definiciju „Učinkovite oborine ona količina koja je biljci pristupačna, a umanjena za količinu vode koja se gubi evaporacijom i otjecanjem (površinski i u dublje slojeve tla)“. Ogrosky i Mockus (1964.) predlažu slijedeću definiciju: „Učinkovite oborine predstavljaju ukupnu količinu oborine koja padne tijekom razdoblja vegetacije koja je umanjena za količinu suvišne vode koja je procijeđena u dublje slojeve tla ili površinskim otjecanjem. Međutim ova definicija ne uzima u obzir oborine koje su pale prije sjetve i pripreme tla. Prema U.S.D.A. Soil Conservation Service (1967.) učinkovite oborine definirane su kao količina oborine koja padne tijekom razdoblja vegetacije neke kulture te je pristupačna i zadovoljava potrebnu količinu vode biljaka. Međutim, definicija ne uključuje gubitke uslijed isparavanja ili površinskog otjecanja. Thornthwaite (1931.) dijeli klimatska područja prema učinkovitosti oborina pri čemu je učinkovitost određena prema različitim uvjetima aridnosti ili ovisno o različitoj fazi razvoja biljke. Na slici 4. prikazana je raspodjela klimatskih zona (tipova klime) prema indeksu vlažnosti prema Thornthwaite metodi (1948.).

Kada je vrijednost učinkovite oborine manja od potrebne vode (ET) dolazi do vodnog stresa izazvan nedostatkom vode, odnosno manjkom vode u gornjem, površinskom sloju tla. Sušu je moguće definirati kao (i) meteorološka suša kada na velikoj površini dođe do znatnog manjka oborina u odnosu na prosječnu količinu za određeno područje i godišnje doba. Ako dugo traje, nastaje hidrološka suša (ii) pri čemu slijedi značajan pad razine vode

u vodenim akumulacijama, jezerima, rijekama, a samim time i padom razine podzemne vode, što ima direktne posljedice na poljoprivredu. Poljoprivredna suša (iii) se javlja kada u vegetacijskom razdoblju sadržaj vode u tlu i oborine nisu dovoljne kako bi biljka završila svoj rast i razvoj. Poljoprivredna suša može nastati i u slučaju ako meteorološka suša nije prisutna, ali i obrnuto. Kiša u kritičnim fazama razvoja biljke može dovesti do visokih prinosa iako je ukupna količina oborina u vegetacijskom razdoblju bila mala (Palmer, 1965.).



Slika 4. Raspodjela klimatskih zona prema indeksu vlažnosti prema Thornthwaite (Feddema, 2005.)

2.2. Suša

Poljoprivredna suša je kompleksna meteorološka pojava koja nastaje pri dužem izostanku oborina i koja uslijed pojačane ET narušava vodnu bilancu, odnosno dovodi nedostatka vode u aktivnoj rizosferi.

Sušu je moguće odrediti u odnosu na kriterije koji sami ili u kombinaciji služe za detaljnije kvantitativno određivanje: oborine (mm), temperatura zraka (°C), vlažnost zraka (%), evaporacija, evapotranspiracija, vlažnost tla, otjecanje i biljke.

Hounam i sur. (1975.) kriterije za određivanje suše svrstavaju u slijedeće grupe:

- a) Oborine
- b) Oborine sa srednjom temperaturom zraka

- c) Vlažnost tla i parametri biljke
- d) Klimatski indeksi i određivanje evapotranspiracije
- e) Opće definicije i postavke.

Izbor kriterija koji će za određeno šire područje dati najrealniju sliku o trajanju i intenzitetu suše ovisi od općih klimatskih prilika nekog područja te od orijentacije poljoprivredne proizvodnje.

Utjecaj suše na biljke ovisi o vremenu pojave, trajanju i intenzitetu suše. Sve biljne vrste ne reagiraju podjednako na sušu, a otpornost biljaka na sušu je sposobnost biljaka da se normalno razvijaju i daju zadovoljavajuće prinose u uvjetima suše. Hounam (1975.) izdvaja tri vrste otpornosti biljaka na sušu:

- a) Izbjegavanje suše - sposobnost da cijeli životni ciklus završi prije većeg nedostatka vode;
- b) Otpornost na sušu s velikom unutrašnjom količinom vode - sposobnost preživljavanja suše pomoću dobro razvijenog korjenovog sustava ili smanjene transpiracije;
- c) Otpornost na sušu s malom unutrašnjom količinom vode za vrijeme sušnog razdoblja, ali sa sposobnošću da se regenerira i brzo razvija kada se vlažnost tla ponovno poveća.

Budući da je suša vrlo nepoželjna vremenska pojava, brojna istraživanja u svijetu usmjerena su na to kako bi se ublažio ili spriječio njen štetan utjecaj. Istraživanja se provode u tri smjera: selekcijsko-genetički, geografski i agrotehnički.

Selekcijsko-genetička istraživanja imaju za cilj stvoriti sorte otporne na sušu ili one koje se lako regeneriraju od posljedice suše, kao i sorte koje su vrlo ekonomične s vodom koja se troši na isparavanje. Kao rezultat stvorene su mnogobrojne sorte koje su prilagođene određenim klimatskim uvjetima i postižu dobre prinose u sušnim godinama. Geografska istraživanja odnose se prije svega na agro-klimatsku raspodjelu suše u odnosu na određenu kulturu. Utvrđuje se stupanj ugroženosti sušom onih područja gdje ostali klimatski i edefatski uvjeti omogućavaju uzgoj određene poljoprivredne kulture.

Navodnjavanje je jedna o najsigurnijih i najuspješnijih agrotehničkih mjera u borbi protiv suše. Ovom mjerom se poboljšava vodni režim tla i u znatnoj mjeri mijenjaju i uvjeti

prizemnog sloja zraka i toplinski režim tla. Prije svega, povećana vlažnost tla dovodi do povećanog isparavanja, čime se smanjuje temperatura površinskog sloja tla i okolnog zraka, a povećava njegova vlažnost. Na navodnjavanoj parceli temperatura zraka u biljnom sklopu je za 3 – 6 °C niža nego na nenavodnjavanoj, a vlažnost zraka veća za 30 – 60 % . Učinkovitost navodnjavanja u velikoj mjeri ovisi od pravilnog određivanja obroka i norme navodnjavanja vrlo važno zbog ekonomičnog trošenja vode, povećanja plodnosti tla i postizanja visokih prinosa. Na obrađenom tlu mjere borbe protiv suše su: oranje na većoj dubini, borba protiv korova i primjena pravilnog plodoređa, što znači da poslije usjeva koji troši puno vode treba sijati usjev koji ima manje potrebe za vodom. Vjetrozaštitni šumski pojasevi utječu na cijeli kompleks meteoroloških uvjeta na zaštićenim poljima. Smanjujući brzinu vjetra, oni utječu na smanjenje gubitaka vode putem isparavanja, povećavaju vlažnost tla i zraka, a tijekom zime sprječavaju odnošenje snijega. Prema tome, vjetrozaštitni šumski pojasevi u znatnoj mjeri smanjuju štetno djelovanje zračne i zemljišne suše.

Ukupna količina oborina u određenom razdoblju se mjeri pomoću kišomjera (ombrometra) koji je prikazan slikom 5.



Slika 5. Kišomjer

(izvor: <https://www.meier-nt.de/en/references/43-ombrometer-measurement-network-saxony>)

Od ukupnih oborina koje su pale na nekom području oduzima se količina vode koja je izgubljena s površine uslijed površinskog otjecanja koje bi trebalo biti svedeno na

najmanju moguću razinu. Za izračun količine vode koja se gubi otjecanjem u dublje slojeve tla potrebno je poznavati dubinu korijenovog sustava uzgajane kulture. Dubina korijenovog sustava razlikuje se ovisno u uzgajanoj kulturi i fazi razvoja. Dubinu korijena moguće je odrediti vađenjem korijena ili pomoću izračuna količine vode koja je usvojena od strane biljke na različitim dubinama tla. Količina vode koju korijen biljke ne usvoji procjeđuje se u dublje slojeve tla čime postaje nepristupačna biljkama. Tu količinu vode moguće je izmjeriti pomoću lizimetara ili pomoću izračuna. Mjerenje količine (i kakvoće) procjedne vode pomoću lizimetara je direktna metoda koja je prikazana slikom 6. (Pütz i sur., 2018.). Lizimetrima se određuje i ET, odnosno potrošnja vode. Vrijednost ET u praksi navodnjavanja predstavlja količinu vode koju je potrebno nadoknaditi, odnosno potrebna voda (obrok i norma navodnjavanja).



Slika 6. Postavljanje lizimetra (a), lizimetar s biljnim pokrovom (b), mjerni uređaji na lizimetru (c), pristupanje lizimetru ispod površine tla (d)

Indirektnom metodom se određuje vododržea sposobnost tla za pojedini horizont, prema vrijednostima poljskog vodnog kapaciteta (PVK), točke venuća (TV), gustoće tla (ν_t) i dubine tla. Količina vode koja je iznad vrijednosti vododržea sposobnosti tla za vodu predstavlja količinu procjedne vode koja odlazi u dublje slojeve tla.

Metoda vodne bilance se odnosi na svakodnevno mjerenje prihoda i rashoda vode odnosno količine vode koja dopijeva u tlu putem oborina ili navodnjavanja i nastalih gubitaka (površinsko otjecanje, gubici u dublje slojeve tla, ET). Kod ove metode važno je poznavanje vrijednosti PVK jer sva količina vode koja je iznad ove vodne konstante predstavlja gubitak vode koji nastaje ispiranjem u dublje slojeve tla (ili površinskim otjecanjem).

Vodna bilanca računa se prema slijedećem izrazu kojim se računa promjena ili razlika u vlažnosti tla (FAO, 1987.):

$$UO = V2 - V1 + ETc$$

Gdje je:

UO = učinkovita oborina, mm

V2 = vlažnost tla nakon oborine, %

V1 = vlažnost tla prije oborine, %

ETc = evapotranspiracija kulture

Navedena metoda uzima u obzir vlažnost tla i kulturu koja je uzgajana, no tijekom uzorkovanja tla može doći do pogrešaka koje su procijenjene od 5 do 40 %, a pored toga metoda zahtijeva puno rada i vremena.

Razvijene su brojne empirijske formule za izračun učinkovitih oborina za koje je naglašeno kako su točne za područje odnosno uvjete u kojima su stvorene, te da je njihova točnost na drugim područjima upitna.

Jedna od metoda izračuna učinkovitih oborina je omjer potencijalne ET i oborina (ET/O) za određeni broj dana. Razdoblja bez oborine su isključena iz izračuna. Omjer je izražen kao % za svako razdoblje. Za izračun učinkovitih oborina ovom metodom nije potrebno poznavanje svojstava tla. Rezultati se mogu razlikovati u odnosu na prostornu raspodjelu oborina, premda su odstupanja minimalna.

Chow (1964.) navodi Renfro jednadžbu za izračun učinkovite oborine:

$$UO = E * Ov + N$$

Gdje je:

UO = učinkovita oborina, mm

E = omjer ETc i količine oborine u vegetaciji

Ov = oborine u vegetaciji, mm

N = prosječna norma navodnjavanja, mm

E vrijednost koja je dobivena omjerom ETc i količine oborine u vegetaciji prikazana je tablicom 3.

Tablica 3. E vrijednost prema omjeru ETc i količine oborine u vegetaciji

ETc/Ov	E	ETc/Ov	E	ETc/Ov	E
0	0,0	1,60	0,57	2,5	0,84
0,2	0,10	1,80	0,61	4,0	0,88
0,4	0,19	2,00	0,65	4,5	0,91
0,6	0,27	2,20	0,69	5,0	0,93
0,8	0,35	2,40	0,72	6,0	0,96
1,0	0,41	2,60	0,75	7,0	0,98
1,2	0,47	2,80	0,77	9,0	0,99
1,4	0,52	3,0	0,80	/	/

(izvor: Adnan i Khan, 2011.)

Stamm (1967.) navodi USBR (United States Bureau of Reclamation Method) metodu izračuna učinkovitih oborina za aridna i semiaridna područja. Metoda ne uzima u obzir tlo, uzgajanu kulturu, intenzitet ili raspored oborina pa je stoga smatrana neučinkovitom. Učinkovite oborine se računaju prema prosjeku oborina u pet sušnih godina te postotak u odnosu na povećanje u količini oborine (tablica 4.).

USDA, SCS (United States Department for Agriculture's Soil Conservation Service) metoda za izračun učinkovitih oborina temeljena je na analizi dugogodišnjih podataka (50 godina) o oborinama i stanju vlažnosti tla na 22 lokacije. Metoda se temelji na izračunu

vodne bilance pri čemu nije uzet u obzir intenzitet oborine. Vodna bilanca računa se u odnosu na ukupnu količinu oborine i mjesečnu potrebnu vodu (ETc).

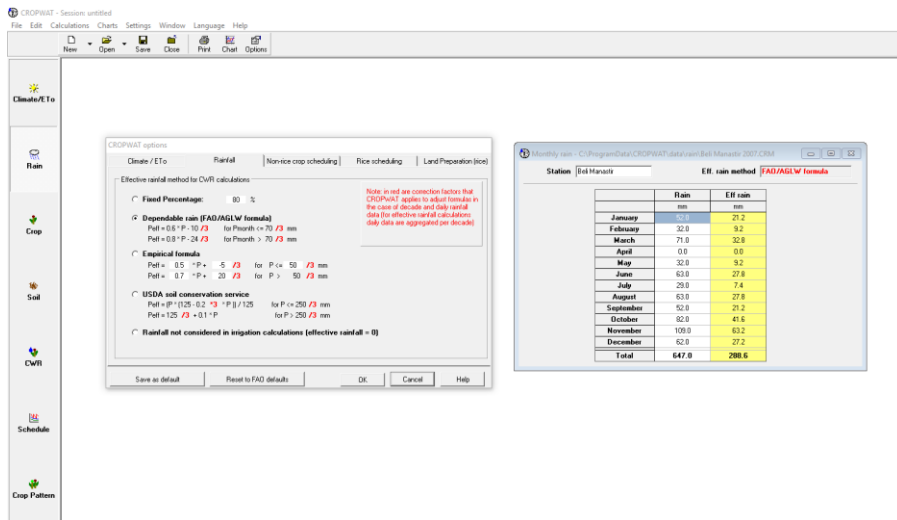
Tablica 4. Učinkovite oborine određene USBR metodom

Povećanje oborine, mm	%	Učinkovita oborina, mm
0,0 - 25,4	90 – 100	22,9 – 25,4
25,4 – 50,8	85 – 95	44,4 – 49,5
50,8 – 76,2	75 – 90	63,5 – 72,4
76,2 – 101,6	50 – 80	76,2 – 92,7
101,6 – 127,0	30 – 60	83,8 – 107,9
127,0 – 152,4	10 – 40	86,4 – 118,1
> 152,4	0 – 10	86,4 – 120,6

(izvor: Adnan i Khan, 2011.)

U novije vrijeme razvojem računalstva kreirani su modeli kojima je olakšan izračun učinkovitih oborina. Jedan od takvih modela je CROPWAT razvijen od stručnjaka FAO-a (Land and Water Development Division, FAO, Rim, Italija), Institute of Irrigation and Development Studies of Southampton (UK) i National Water Research Center (Egipat). Model izračunava učinkovite oborine na temelju unesenih vrijednosti o mjesečnoj količini oborine, tlu i uzgajanoj kulturi. Vrijednost učinkovite oborine model koristi za izračun elemenata navodnjavanja (obrok navodnjavanja, norma navodnjavanja i hidromodul navodnjavanja) te nudi nekoliko metoda izračuna učinkovitih oborina (slika 7.):

- Izračun učinkovitih oborina kao % od ukupne količine oborine (80 %)
- FAO/AGWL formula
- Empirijskim izračunom
- USDA metodom.



Slika 7. Prikaz sučelja s metodama izračuna učinkovitih oborina CROPWAT modelom

3. MATERIJAL I METODE

Podaci o vremenskim uvjetima na području Osijeka u razdoblju od 2010. do 2012. godine su prikupljeni od Državnog hidrometeorološkog zavoda. Razdoblje za koje su analizirane oborine je odabrano radi varijabilnosti u količini oborina, odnosno izmjeni kišnih i sušnih godina te njihova utjecaja na biljnu proizvodnju, konkretno na proizvodnju kukuruza (*Zea mays* L.). Podaci o prinosima kukuruza su preuzeti od OBŽ (2018.). Analizirane su vrijednosti od siječnja do rujna čime se daje važnost količini oborine koja je pala prije sjetve jarih kultura odnosno količini zimske oborine koja je bila akumulirana u tlu. Učinkovitost oborina izračunata je različitim metodama pomoću CROPWAT 8,0 modela. Prikupljene su vrijednosti o mjesečnoj količini oborine (mm), minimalnim i maksimalnim srednjim mjesečnim temperaturama zraka ($^{\circ}\text{C}$), relativnoj vlažnosti zraka (%), satima sijanja sunca (h) te brzini vjetra (km/h) koje su poslužile za izračun ETc.

Metode izračuna učinkovitih oborina bile su:

1. Izračun učinkovite oborine kao % od ukupne količine oborine koja je pala na nekom području. Model računa učinkovite oborine u iznosu od 80 % ukupne količine oborine.
2. Izračun učinkovitih oborina FAO/AGWL formulom (Wane i Nagdeve, 2014.):

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

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

Gdje je UO = učinkovite oborine,

O = mjesečna količina oborina (mm),

Postotak (60 % i 80 %) čini gubitke nastale površinskim otjecanjem ili procjeđivanjem u dublje slojeve tla.

3. Izračun učinkovitih oborina empirijskom formulom (Wane i Nagdeve, 2014.):

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

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

Gdje je:

UO = učinkovite oborine,

O = oborine u vegetaciji,

0,5 i 0,7 = korekcijski faktori

4. Izračun učinkovitih oborina prema USDA metodi je prema slijedećoj formuli (Wane i Nagdeve, 2014.):

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

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

Dobiveni rezultati o učinkovitim oborinama su analizirani i grafički prikazani, a rezultati dobiveni različitim metodama su međusobno uspoređeni. Učinkovitost oborine određena je prema slijedećem izrazu (Oweis, 1997.):

$$UO = \frac{P}{O}$$

Gdje je:

P = prinos (kg/ha),

O = količina oborine tijekom razdoblja vegetacije (mm).

Evapotranspiracija kulture (ET_c) određena je prema Allen i sur. (1998.):

$$ET_c = ET_o \times kc$$

Gdje je:

ET_c = evapotranspiracija kulture,

ET_o = referentna evapotranspiracija,

kc = koeficijent kulture.

Vodna bilanaca određena je prema Brouwer i Heibloem (1986.):

$$PV = ET_c - UO$$

Gdje je:

PV = potrebna voda,

ET_c = evapotranspiracija kulture,

UO = učinkovite oborine.

4. REZULTATI I RASPRAVA

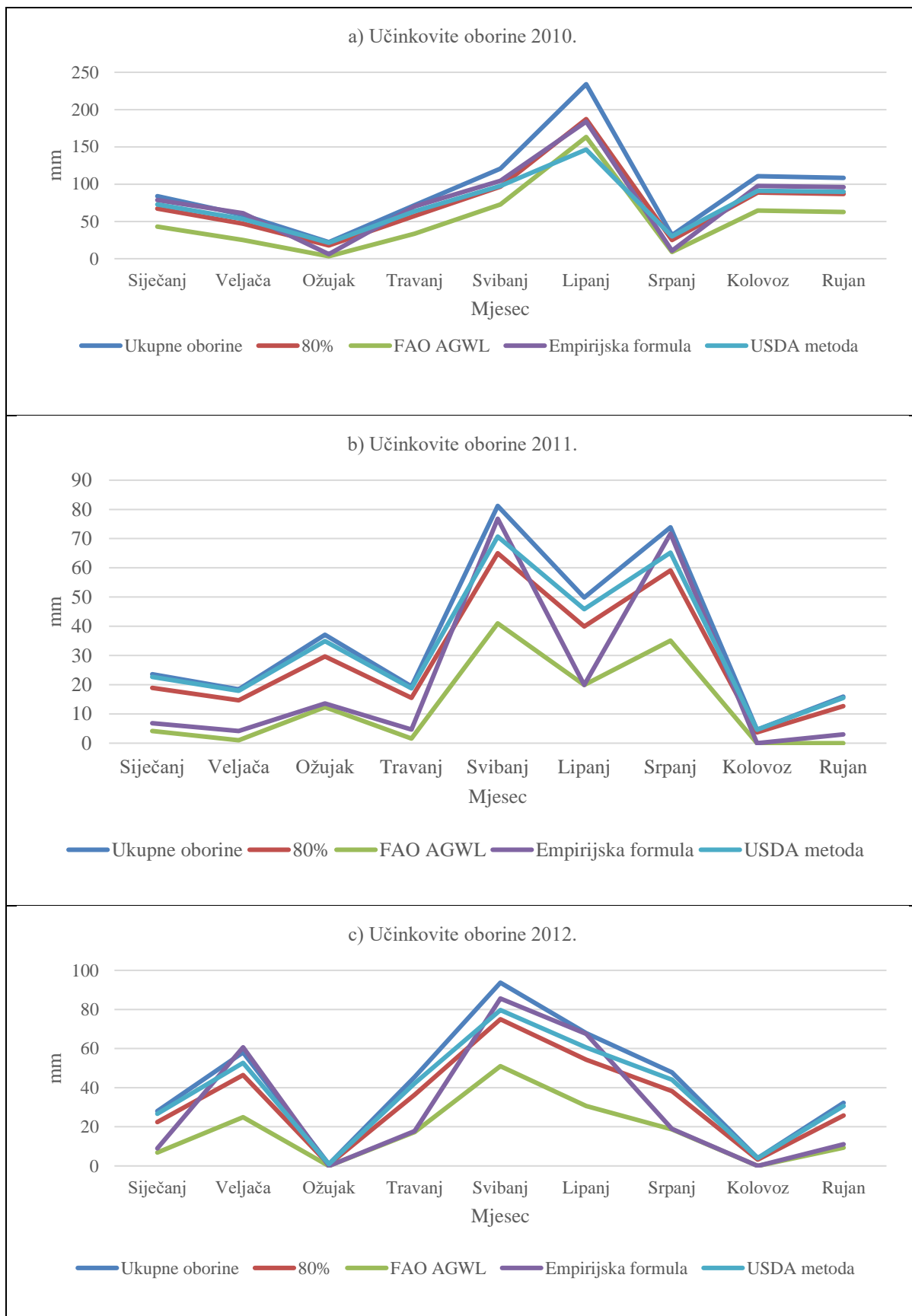
2010. godinu je obilježila nadprosječno velika količina oborine. U razdoblju od siječnja do rujna na području Osijeka je palo 1038,8 mm, a u razdoblju vegetacije jarih kultura (travanj – rujan) je palo 677,2 mm. Količina oborine za vrijeme razdoblja vegetacije u odnosu na višegodišnji prosjek (1981.-2011.) je bila viša za 68,4 %. Uzimajući u obzir i oborine koje su pale za vrijeme zimskog razdoblja, količina oborine je bila viša za 841,9 mm. Analizom učinkovitih oborina za razdoblje od siječnja do rujna određena je količina učinkovite oborine kako slijedi: prema postotku u odnosu na ukupnu količinu (80 %) učinkovita oborina je bila 673,5 mm, prema FAO AGWL metodi 477 mm, prema empirijskoj formuli 708,7 mm te prema USDA metodi 665,2 mm (grafikon 1). Učinkovita oborina prema FAO AGWL metodi je bila 79,9 %, prema empirijskoj formuli 56,7 % te prema USDA metodi 79 % ukupne oborine.

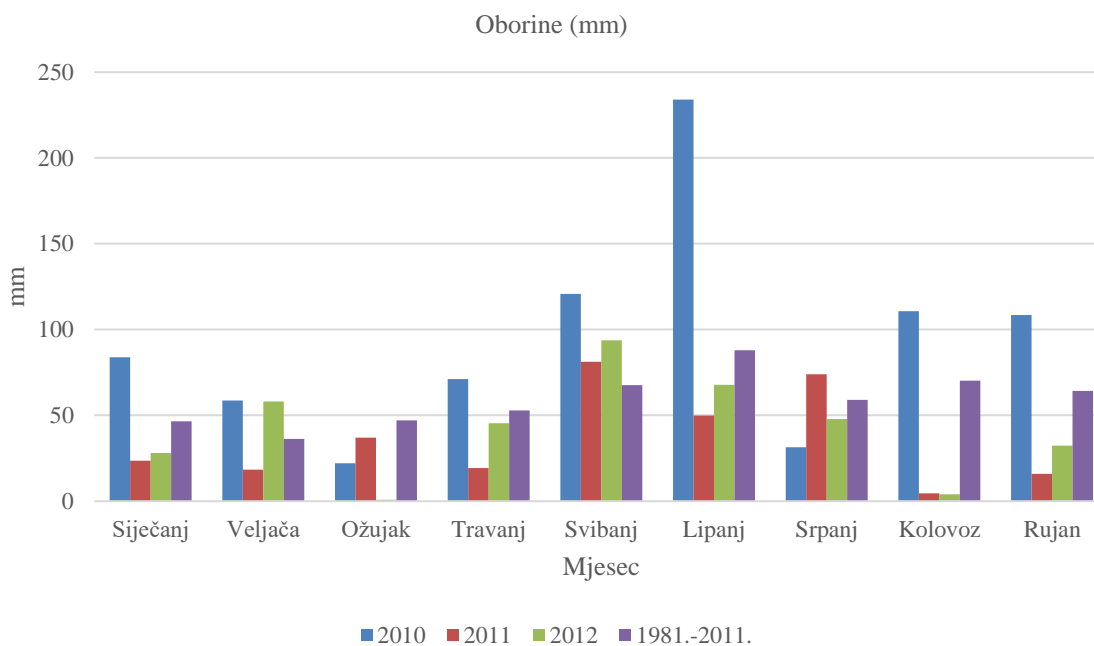
2010. god. je rangirana kao najtoplija godina od 1850. god., odnosno otkada postoje mjerenja temperature zraka (DHMZ, 2013.), a pored obilježile su je ekstremno visoke količine oborine te poplave (grafikon 2.). Tijekom razdoblja vegetacijskog porasta uslijed prekomjerne količine oborine koja je pala u vrlo kratkom vremenu na području Osijeka proglašena je elementarna nepogoda velike količine oborina 28. svibnja i elementarna nepogoda velike količine oborina i poplave 9. lipnja 2010. god. (OBŽ, 2011.). Na području Osječko-baranjske županije ukupno utvrđena šteta kao posljedica elementarne nepogode velike količine oborine i poplave je iznosila 510 073 601,25 HRK (OBŽ, 2011.).

Došlo je do zadržavanja vode na površini tla uslijed prevelike količine oborine koju tlo nije moglo primiti. Pored toga količina oborine je nadmašila potrebu kukuruza za vodom (ETc). Kako je vidljivo iz tablice 5., analizom vodne bilance za 2010. godinu utvrđen je suvišak oborine od 241 mm gledajući ukupne oborine dok je prema FAO AGWL metodi utvrđen nedostatak vode od 30,8 mm.

Učinkovitost oborine u pogledu prinosa kukuruza 2010. godine je bila od 13,5 kg/ha/mm prema USDA metodi do 17,3 kg/ha/mm prema FAO AGWL metodi izračuna učinkovitih oborina. Također Mandić i sur. (2017.) navode bolju učinkovitost kod manje količine oborine.

Grafikon 1. Ukupne i učinkovite oborine na području Osijeka 2010. (a), 2011. (b), 2012. (c) godine





Grafikon 2. Količina oborine na području Osijeka od 2010. do 2012. godine te višegodišnji prosjek 1981.-2011

Tablica 5. Vodna bilanca za razdoblje vegetacije kukuruza 2010. godine na području Osijeka

	Vodna bilanca (mm)				
	mm	0.8	FAO AGWL	Empirijska formula	USDA metoda
Travanj	-56.00	-41.70	-17.70	-54.50	-47.80
Svibanj	-28.20	-4.00	20.00	-12.00	-4.90
Lipanj	-133.80	-87.00	-63.00	-83.60	-46.20
Srpanj	87.10	93.40	109.70	107.80	88.70
Kolovoz	-13.40	8.80	32.80	-0.20	6.20
Rujan	-96.70	-75.00	-51.00	-84.20	-77.90
Ukupno	-241.00	-105.50	30.80	-126.70	-81.90

Iz analize učinkovitih oborina izostavljene su oborine koje su bile manje od 5 mm jer FAO-25 daje preporuku za oborine koje padnu u ljetnom razdoblju za vrijeme visokih temperatura zraka, a manje su od 5 mm. Naime, navedeno je da za kulture dubokog

korijena ova količina oborine u ljetnom razdoblju nije korisna jer će vjerojatno potpuno evaporirati s tla (Dastane, 1974.).

Prolječno razdoblje 2011. godine bilo je toplo te prosječno u pogledu količine oborina, dok je ljeto bilo ekstremno toplo i sušno. U razdoblju od siječnja do rujna ukupno je palo 324 mm oborina od čega je 80 % iznos učinkovitih oborina 259,2 mm (grafikon 1.). Prema FAO AGWL metodi učinkovite oborine bile su 115,1 mm, prema empirijskoj formuli 200,7 mm te 296,2 mm prema USDA metodi. Odnosno, 35,5 % od ukupne oborine se smatra učinkovitom prema FAO AGWL metodi, 61,9 % prema empirijskoj formuli te 91,42 % prema USDA metodi. Kako je vidljivo iz grafikona 2., količina oborina tijekom mjeseca svibnja i srpnja je bila viša u odnosu na višegodišnji prosjek (1981.-2011.). Analizom vodne bilance utvrđen je nedostatak vode prema svim metodama izračuna od 239,7 mm prema USDA metodi do 362,8 mm prema FAO AGWL metodi izračuna (tablica 6.). U odnosu na ostvaren prinos kukuruza, učinkovitost oborine bila je u rasponu od 25,8 kg/ha/mm prema USDA metodi do 58,4 kg/ha/mm prema FAO AGWL metodi izračuna.

Tablica 6. Vodna bilanca za razdoblje vegetacije kukuruza 2011. godine na području Osijeka

	Vodna bilanca (mm)				
	mm	0.8	FAO AGWL	Empirijska formula	USDA metoda
Travanj	-2.50	1.40	15.3	12.2	-1.9
Svibanj	27.2	43.4	67.4	31.6	37.7
Lipanj	65	75	95	95	69
Srpanj	36	50.8	74.8	38.2	44.7
Kolovoz	92.2	93.1	96.8	96.8	92.2
Rujan	-2.4	0.8	13.5	10.5	-2
Ukupno	215.5	264.5	362.8	284.3	239.7

Tijekom 2012. godine je proljetno razdoblje bilo toplo i bez odstupanja u količini oborine, dok je ljetno razdoblje bilo ekstremno toplo i vrlo sušno. Tijekom zimskog razdoblja 2012. kao i 2011. nije bilo odstupanja u količini oborina te temperaturama zraka. Ukupno je tijekom razdoblja od siječnja palo 378,2 mm oborina od čega su učinkovite oborine prema izračunu postotka 302,5 mm, prema FAO AGWL metodi 158,8 mm, prema empirijskoj

formuli 258,6 mm te 341,4 mm prema USDA metodi (grafikon 1.). Odnosno izraženo u postotku od ukupne količine oborina, 41,9 % prema FAO AGWL metodi, 71,5 % prema empirijskoj formuli te 90,3 % prema USDA metodi. Analizom vodne bilance (tablica 7.) utvrđen je nedostatak oborine od 357,2 mm prema FAO AGWL metodi do 223,2 mm prema USDA metodi. Učinkovitost oborine bila je u rasponu od 16,5 kg/mm/ha prema USDA metodi do 27,1 kg/ha/mm prema FAO AGWL metodi.

Tablica 7. Vodna bilanca za razdoblje vegetacije kukuruza 2012. godine na području Osijeka

	Vodna bilanca (mm)				
	mm	0.8	FAO AGWL	Empirijska formula	USDA metoda
Travanj	-29.20	-20.10	-1	-1.5	-25.9
Svibanj	13.2	31.9	55.9	21.3	27.2
Lipanj	53.5	67.1	90.7	53.9	60.9
Srpanj	76.7	86.3	105.8	105.6	80.4
Kolovoz	98.4	99.2	102.4	102.4	98.4
Rujan	-19.5	-13	3.4	1.7	-17.8
Ukupno	193.1	251.4	357.2	283.4	223.2

U prosjeku je najveća učinkovitost oborine u odnosu na ostvaren prinos kukuruza bila 2011. godine (tablica 8.) kada je zabilježena najmanja količina oborine tijekom promatranog razdoblja (2010. = 677,2 mm; 2011. = 244,9 mm; 2012. = 291,2 mm).

Tablica 8. Učinkovitost oborine u odnosu na prinos kukuruza (kg/ha/mm) prema različitim metodama izračuna u razdoblju od 2010. do 2012. godine

Godina	2010.	2011.	2012.
Ukupna oborina	10.3	23.3	14.8
80 %	12.9	29.1	18.5
FAO AGWL	17.3	58.4	27.1
Empirijska metoda	12.4	32.4	21.4
USDA	13.5	25.8	16.5

5. ZAKLJUČAK

Rezultati analize učinkovitih oborina su pokazali odstupanja u odnosu na odabranu metodu proračuna. U prosjeku je najmanja količina učinkovite oborine bila prema FAO AGWL metodi dok rezultati preostalih metoda variraju u odnosu na godinu, odnosno količinu, raspored i intenzitet oborine.

6. POPIS LITERATURE

7. Adan S., Khan A. H. (2011.): Effective Rainfall for Irrigated Agriculture Plains of Pakistan. *Pakistan Journal of Meteorology*, 6(11): 61 – 72.
8. Adeniji F. A., Umara B. G., Dibal J. M., Amali A. A. (2013.): Variation of infiltration rates with soil texture. A laboratory study. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 3(2), 454–459.
9. Allen R. G., Pereira L. S., Raes D., Smith M. (1998.): Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome, Italy.
10. Brouwer C. Heibloem M. (1986.): Irrigation Water Management: Irrigation Water Needs. Rome, Italy.
11. Brouwer C., K. Prins M. Kay, Heibloem M. (1988.): Irrigation water management: Irrigation methods, *Training Manual 5*, Food and Agric. Organ., Rome.
12. Chow V. T. (1964.): Handbook of applied hydrology. New York, McGraw Hill Book Co.
13. Dastane N.G. (1974.): Effective rainfall in irrigated agriculture. F.A.O. Irrigation and Drainage Paper 25, Flood and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
14. Dastane N. G. (1978.): Effective rainfall. FAO irrigation and drainage paper, Rome. Dostupno na:
15. <http://www.fao.org/docrep/x5560e/x5560e00.htm#Contents> (14. 02. 2019.; 10:46)
16. Državni hidrometeorološki zavod, DHMZ (2013.): Klima i klimatske promjene. Dostupno na: http://klima.hr/klima.php?id=klimatske_promjene#sec1 , 03. 06. 2019. god., 10:37.
17. FAO, Food and Agricultural Organisation of United Nations (2017.): Water productivity. Emerging practices from Agricultural Water Management in Africa and the Near East. Thematic Workshop, Bari, 28 August.
18. Feddema J. J. (2005.): A Revised Thornthwaite-Type Global Climate Classification. *Physical Geography*, 26(6): 442 – 466.
19. Hayes G. I., Buell J. H. (1955.): Water and our forests: trees also need water at the right time and place. In *Hater Yearbook*, USDA 1955: 219 - 228.
20. Hounham C.E. (1975.): Drought and agriculture. Technical note No 138, WMO, Geneva.

21. Longinov K.T., Babičenko V.A., Kulakovslaka M.J. (1972.): Opasnije javljenja pogodi na Ukrajine. Ukrainnskij naučnoissledovateljskij gidrometeorologičeskij intitut.. Gigrometeoizdat, Leningrad.
22. Mandić V., Bijelić Z., Krnjaja V., Simić A., Muslić D. R., Dragičević V., Petričević V. (2017.): *Biotechnology in Animal Husbandry*, 33(4), 475-486.
23. Molden D., Oweis T. Y. (2007.): Pathways for increasing agricultural water productivity. Dostupno na:
24. <http://www.iwmi.cgiar.org/assessment/Water%20for%20Food%20Water%20for%20Life/Chapters/Chapter%207%20Water%20Productivity.pdf> (12. 02. 2019.; 14:53)
25. Ogrosky H. O., Mockus V. (1964.): Hydrology of agricultural lands. Sec. 21 in *Handbook of hydrology* by V.T. Chow. Hew York, McGraw Hill Book Co., 1 - 79.
26. Osječko-baranjska županija, OBŽ (2011.): Informacije o stanju i problematici biljne proizvodnje na području Osječko-baranjske županije. Dostupno na:
27. <http://hidra.srce.hr/arhiva/273/71282/www.obz.hr/hr/pdf/2011/18%20sjednica/Informacija%20o%20stanju%20i%20problematici%20biljne%20proizvodnje%20na%20podrucju%20Osjecko-baranjske%20zupanije.pdf> , 08. 06. 2019. god., 10:24.
28. Osječko-baranjska županija, OBŽ (2018.): Informacije o stanju i problematici biljne proizvodnje na području Osječko-baranjske županije. Dostupno na:
29. Palmer W.C. (1965.): Meteorologic drought. US Weather Bureau, Res. Pap. No 45, 58.
30. Oweis T. (1997): Supplemental irrigation: a highly efficient water -use practice. ICARDA, Aleppo, Syria, 16.
31. Peng L., Zhanbin L., Kexin L. (2004.): Effect of vegetation cover types on soil infiltration under simulating rainfall. ISCO 2004 - 13th International Soil Conservation Organisation Conference – Brisbane, July 2004., 1 – 4.
32. Ploh I. (2012.): Analiza hidrograma. Zaršni rad, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet.
33. Pütz T., Fank J., Flury M. (2018.): Lysimeters in Vadose Zone Research. *Vadose Zone J.* 17: 180035.
34. Rashidi, M., Ahmadbeyki, A., Hajiaghahi, A. (2014): Prediction of soil infiltration rate based on some physical properties of soil. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, 14(12), 1359 – 1367.

35. Skazin F. D. (1962.): Kritični period kod biljaka u odnosu na nedovoljno snabdevanje vodom. Centar za unapređenje poljoprivredne proizvodnje, Beograd.
36. Stamm G. G. (1967.): Problems and procedures in determining water supply requirements for irrigation projects. Chap. 40 in irrigation of agricultural lands by Hagan et al. Wisconsin, Amer. Soc. Agron. Agronomy II.
37. Thornthwaite C.W. (1931.): The climate of North America according to a new classification. Geog. Rev. 21 (4): 633-55.
38. Wane S. S., Nagdeve M. B. (2014.): Estimation of evapotranspiration and effective rainfall using CROPWAT. International Journal of Agricultural Engineering, 7(1): 23–26.