Izračun referentne i stvarne evapotranspiracije na području crpilišta Velika Gorica

Rečić, Ana

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:686076

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Preddiplomski studij geološkog inženjerstva

IZRAČUN REFERENTNE I STVARNE EVAPOTRANSPIRACIJE NA PODRUČJU CRPILIŠTA VELIKA GORICA

Završni rad

Ana Rečić

GI 2119

Zagreb, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Završni rad

IZRAČUN REFERENTNE I STVARNE EVAPOTRANSPIRACIJE NA PODRUČJU CRPILIŠTA VELIKA GORICA

Ana Rečić

Završni rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Cilj ovog završnog rada bio je odrediti maksimalnu dostupnu vodu za infiltraciju u zagrebački vodonosnik na temelju oborina i stvarne evapotranspiracije. Računate su stvarna i referentna evapotranspiracija korištenjem različitih formula. Podaci su dobiveni s meteorološke postaje Davis Vantage Pro 2 koja se nalazi na istraživačkom poligonu Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta u prvoj zoni sanitarne zaštite vodocrpilišta Velika Gorica. Svi podaci su interpretirani korištenjem linearne regresije u Microsoft Excelu, im je određena statistička značajnost.

Ključne riječi: evapotranspiracija, evaporacija, oborine, temperatura, zagrebački vodonosnik, infiltracija
Završni rad sadrži: 28 stranica, 7 tablica, 10 slika i 13 referenci.
Jezik izvornika: Hrvatski
Završni rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Mentor: Doc. dr. sc. Zoran Kovač
Ocjenjivači: Doc. dr. sc. Zoran Kovač
Izv. prof. dr. sc. Jelena Parlov
Prof. dr. sc. Kristijan Posavec
Datum obrane: 23. 09. 2020. godine

Sadržaj

1. Uvod 1

2. Teoretske osnove 2

3. Područje istraživanja 3

3.1. Meteorološke značajke istraživanog područja 3

3.2. Geološke i hidrogeološke značajke istraživanog područja 4

4. Metode istraživanja 7

4.1. Meyerova formula 8

4.2. Turcova formula 8

4.3. Hargreavesova formula 9

4.4. Jensen-Haiseova formula 9

4.5. Korelacija 10

4.6. Linearna regresija 11

5. Rezultati 12

5.1. Izračun evaporacije korištenjem Meyerove formule 12

5.2. Izračun stvarne evapotranspiracije korištenjem Turcove formule 14

5.3. Izračun referentne evapotranspiracije korištenjem Hargreavesove formule 16

5.4. Izračun Jensen-Haise referentne evapotranspiracije 19

5.5. Usporedba mjerene referentne evapotranspiracije i izračunatih referentne evapotranspiracija korištenjem empirijskih formula 20

5.6. Određivanje Pearsonovog koeficijenta i statističke značajnosti dobivenih odnosa . 21

5.7. Količina vode raspoloživa za infiltraciju 25

6. Zaključak 26

7. Literatura 27

Popis slika

Slika 3.1. Lokacija postaje 3

Slika 3.2. Mjesečne oborine u 2019. godini. 4
Slika 3.3. Shematski profil vodonosnika (Kovač, 2017). 5
Slika 3.4. Postotci vode dostupnih za infiltraciju (modificirano prema Parlov et al., 2019.) 6
Slika 4.1. Primjeri korelacija. Prvi graf prikazuje jaku pozitivnu, drugi graf srednju pozitivnu, treći slabu negativnu, a četvrti veoma slabu korelaciju/nema je (modificirano prema: https://www.questionpro.com/blog/pearson-correlation-coefficient/). 10
Slika 5.1. Prosječne mjesečne temperature zraka u 2019. godini. 13
Slika 5.2. Evaporacija za 2019. godinu. 14
Slika 5.3. Mjesečne oborine za 2019. godinu. 16
Slika 5.4. Maksimalna, minimalna i srednja temperatura za 2019. godinu. 18
Slika 5.5. Referentna evapotranspiracija po Hargreavesu za 2019. godinu. 18
Slika 5.6. Graf raspršenosti evaporacije i temperature na mjesečnoj razini. 23
Slika 5.7. Graf raspršenosti referentne evapotranspiracije i temperature na mjesečnoj razini. 23
Slika 5.8. Graf raspršenosti referentne evapotranspiracije i evaporacije na mjesečnoj razini. 24
Slika 5.9. Graf raspršenosti evaporacije i zračenja na mjesečnoj razini. 24
Slika 5.10. Graf raspršenosti referentne evapotranspiracije i zračenja na mjesečnoj razini. 25

Popis tablica

Tablica 5.1. Mjesečne vrijednosti evaporacije za 2019. godinu. 13
Tablica 5.2 Stvarna godišnja evapotranspiracija po Turcu. 15
Tablica 5.3. Referentna evapotranspiracija izračunata korištenjem Hargreavesove formule na mjesečnoj razini. 17
Tablica 5.4. Iznosi mjesečne Hargreavesove referentne evapotranspiracije. 19
Tablica 5.5. Mjesečne vrijednosti Jensen-Haise referentne evapotranspiracije. 20
Tablica 5.6. Razlika mjerene referentne evapotranspiracije i izračunatih referentnih evapotranspiracija. 21
Tablica 5.7. Korelacija odabranih varijabli, njihovi Pearsonovi koeficijenti korelacije, p-vrijednosti, statistička značajnost i koeficijent determinacije. 22

1. Uvod

U završnom radu izračunate su evaporacija, stvarna i referentna evapotranspiracija za područje istražne jame na području vodocrpilišta Velika Gorica. Grafički su prikazani parametri korišteni za računanje evaporacije, stvarne evapotranspiracije i referentne evapotranspiracije dobiveni s meteorološke postaje Davis Vantage Pro 2 koja se nalazi na istraživačkom poligonu Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta u prvoj zoni sanitarne zaštite vodocrpilišta Velika Gorica. Procijenjena je maksimalna količina vode dostupne za infiltraciju kao razlika oborina i stvarne evapotranspiracije. To je u hidrogeologiji jedan od najvažnijih parametara jer obnavlja sezonske zalihe podzemnih voda. Prikazane su meteorološke, geološke i hidrogeološke značajke istraživanog područja. Obrađeni su i interpretirani dobiveni podaci u razdoblju od 1. siječnja 2019. godine do 31. prosinca 2019. godine.

2. Teoretske osnove

Evaporacija ili isparavanje je proces prelaska vode iz tekućeg u plinovito pri čemu se tekućine hlade, a proces se odvija posredstvom toplinske energije. Povećanjem temperature ili tlaka, brzina čestica vode postaje dovoljno velika da se čestice mogu otkinuti od mase i naposljetku izdvojiti. Instrumenti korišteni za mjerenje evaporacije zovu se isparitelji (Bačani, 2006).

Transpiracija je evaporacija, ali se odvija posredstvom biljaka, to je voda koju biljka apsorbira iz tla, koristi za svoje životne procese i transpirira natrag u atmosferu. Instrument za mjerenje transpiracija zove se fitometar (Bačani, 2006).

Evapotranspiracija je ukupno isparavanje s promatranog područja, obuhvaća isparavanje s vodene površine, površine tla i transpiraciju biljaka. Instrument korišten za mjerenje evapotranspiracije zove se lizimetar (Bačani, 2006).

Evapotranspiracija je prirodan proces koji uključuje tlo, biljke i atmosferu s odgovarajućim meteorološkim uvjetima. Najčešće se izražava u milimetrima (mm) po jedinici vremena.

Pri istraživanju evapotranspiracije potrebno je razlikovati stvarnu i potencijalnu evapotranspiraciju. Potencijalna evapotranspiracija je ukupna količina vode koja bi isparila s nekog promatranog područja kada bi vode bilo neograničeno, to je gornja granica stvarne evapotranspiracije (Bačani, 2006). Postoje reference koje koriste izraz referentna evapotranspiracija (http://www.fao.org/3/x0490e/x0490e04.htm; Fernandes et al., 2012). Referentna evapotranspiracija je evapotranspiracija s travnate površine koja je dobro zalivena (https://www.usgs.gov/centers/car-fl-water/science/reference-and-potential-evapotranspiration?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects). U ovom radu je izračunata referentna evapotranspiracija.

Za uspješno uzgajanje poljoprivrednih kultura, korisno je znati omjer oborina i potencijalne evapotranspiracije. Ukoliko je on manji od 0,7 potrebno je navodnjavanje, ukoliko je on između 0,7 i 1,3 vlažnost je idealna, a ako je veći od 1,3 potrebno je isušivanje (Bačani, 2006).

3. Područje istraživanja

Na slici 3.1. nalazi se lokacija istražne jame i meteorološke postaje na području vodocrpilišta Velika Gorica.



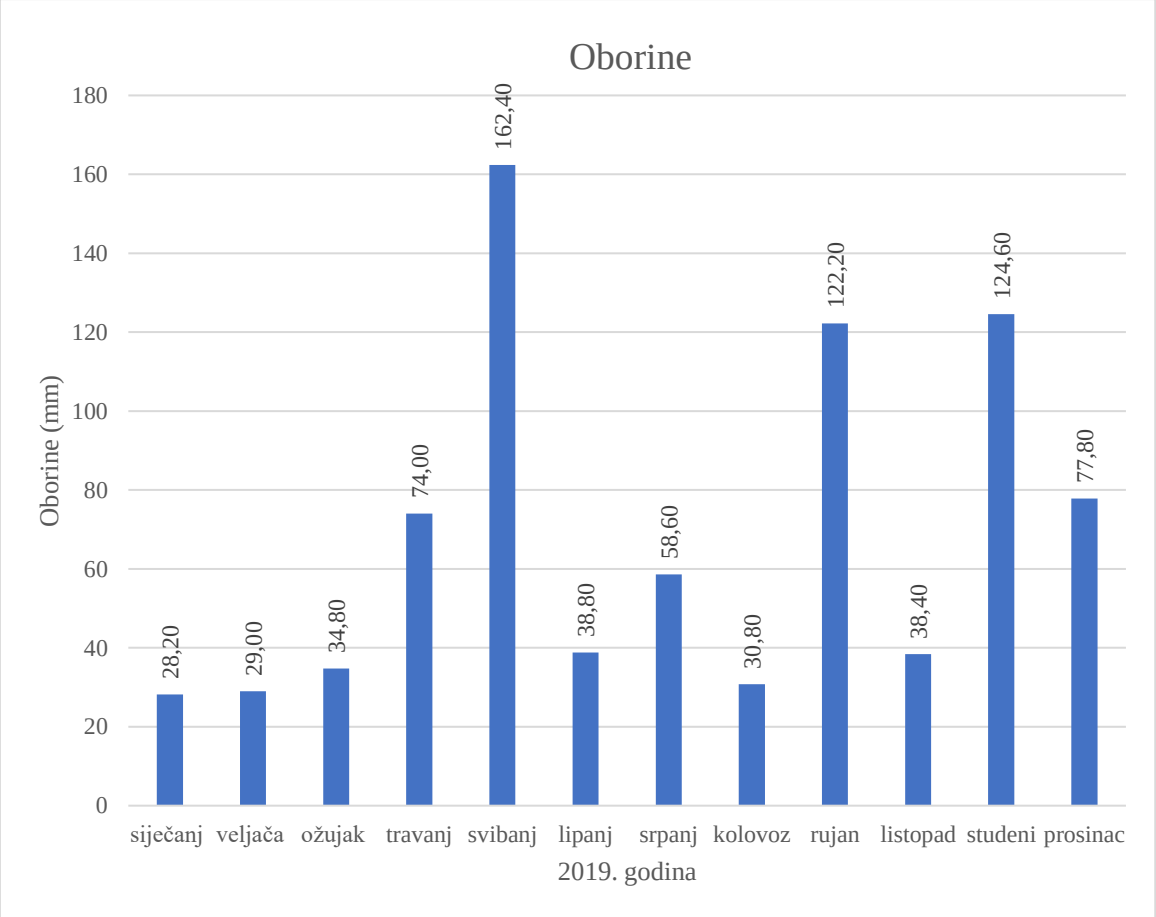
Slika 3.1. Lokacija postaje.

3.1. Meteorološke značajke istraživanog područja

Republika Hrvatska pripada umjerenom klimatskom pojasu sjeverne polutke Zemlje. Područje Velike Gorice ima umjereno toplu vlažnu klimu s toplim ljetom (Cfb). Srednje tempe-

rature zraka u siječnju kreću se između -2 i 0°C, a u srpnju od 18 do 22°C (https://www.cro-meteo.hr/klima/).

Količina oborina na istraživanom području za 2019. godinu prikazana je na slici 3.2.

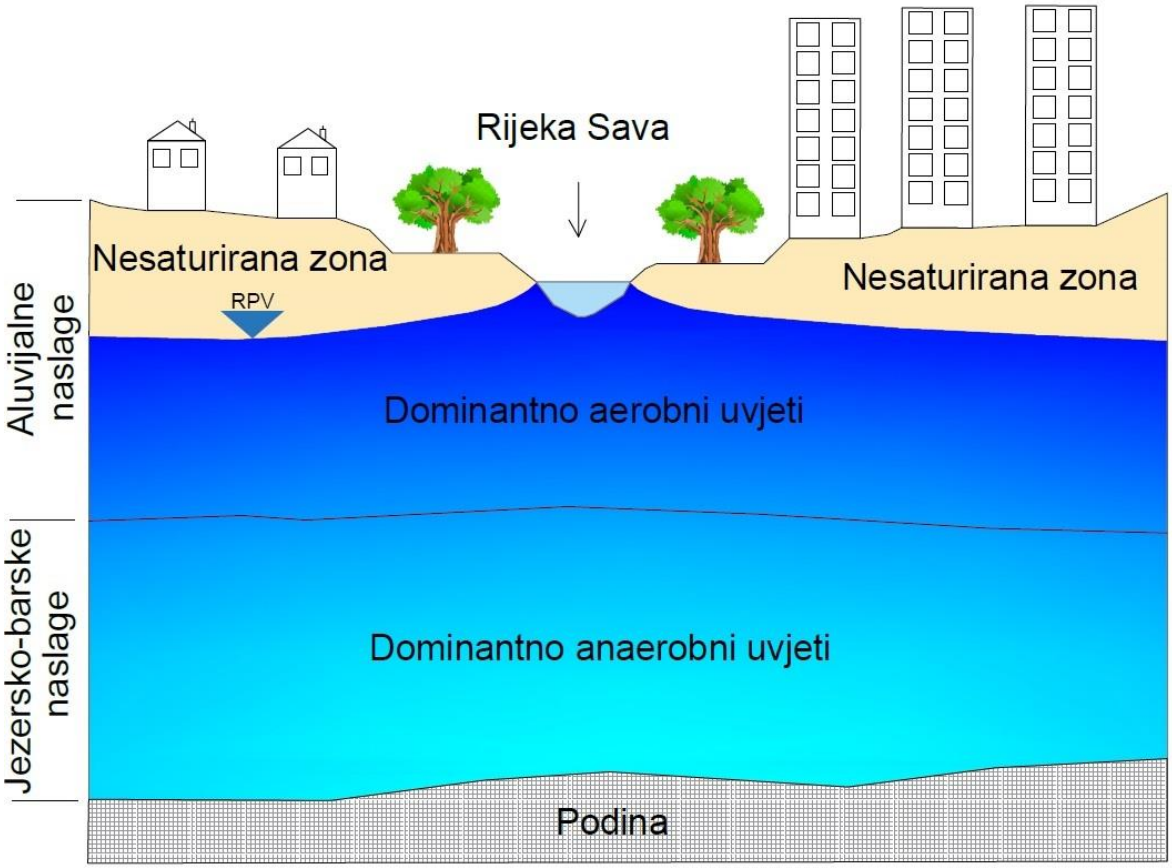


Slika 3.2. Mjesečne oborine u 2019. godini.

3.2. Geološke i hidrogeološke značajke istraživanog područja

Vodocrpilište Velika Gorica nalazi se u zapadnom dijelu grada Velike Gorice i ono crpi vodu iz zagrebačkog vodonosnika. Zagrebački vodonosnik nalazi se na području grada Zagreba i pruža se u pravcu zapad/sjeverozapad – istok/jugoistok duž rijeke Save, dok se smjer toka podzemne vode kreće od zapada prema istoku/jugoistoku. Na području zagrebačkog vodonosnika postoji izravna veza između Save i podzemne vode, što znači da prihranjivanje podzemnih voda ovisi o vodostaju Save. Kada je Sava visoka ona u nekim dijelovima napaja podzemlje, a kada je niska onda ga drenira (Bačani, 2006). Napajanje vodonosnika se može odviti na pet načina: (1) infiltracijom iz rijeke Save; (2) infiltracijom oborina; (3) infiltraci-

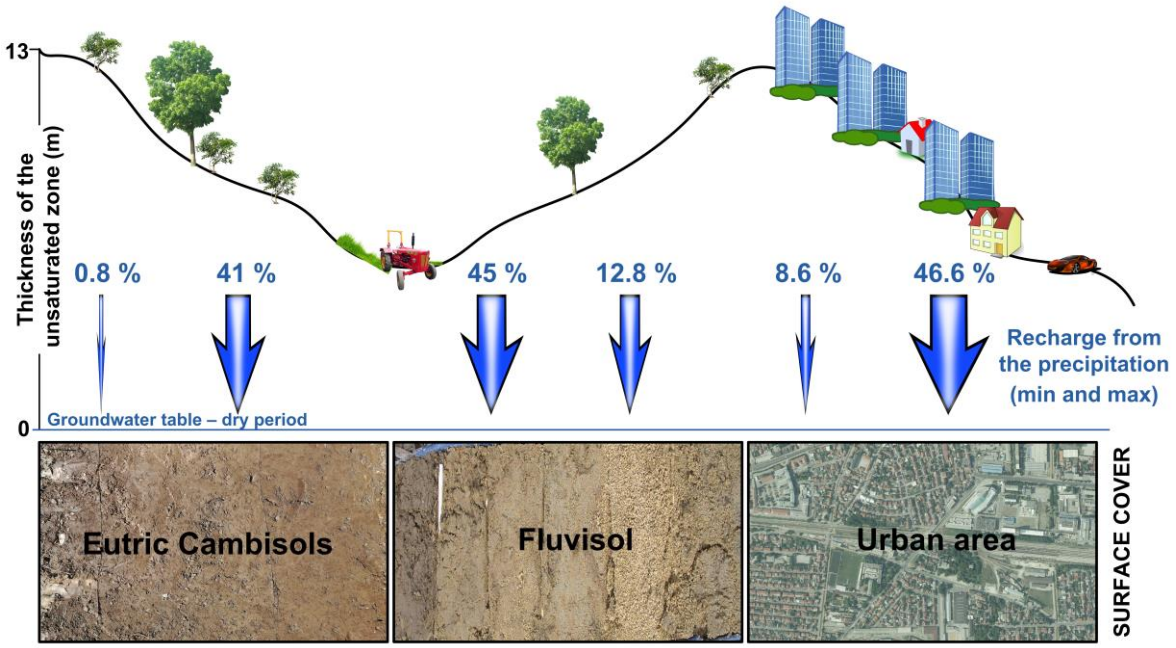
jom iz propusne vodoopskrbe i kanalizacijske mreže; (4) utjecanjem iz susjednog samoborskog vodonosnika po zapadnoj granici; (5) dotjecanjem po južnoj granici vodonosnika s područja Vukomeričkih gorica (Posavec, 2006). Vodonosnik se sastoji od aluvijalnih i jezersko-barskih naslaga (slika 3.3.).



Slika 3.3. Shematski profil vodonosnika (Kovač, 2017).

Zagrebački vodonosnik je izgrađen od tri vrste naslaga: pijeska, šljunka i prahova ili prahovitih glina koji su istaloženi tijekom pleistocena i holocena (Velić i Durn, 1993). Na području zagrebačkog vodonosnika mogu se naći tri tipa tla: eutrično smeđe tlo na holocenskim nanosima, fluvisol i urbano područje. Na području istraživanja nalazi se eutrično smeđe tlo na holocenskim nanosima koje ima malu propusnost i čija je perkolacija veoma mala. U njima se može naći veća količina sitnijih čestica poput silta i gline koje smanjuju količinu infiltracije kroz nesaturiranu zonu u vodonosnik. Debljina nesaturirane zone zagrebačkog vodonosnika varira od 5,7 do 11,5 m unutar eutričnog smeđeg tla, od 6,1 do 12,9 m unutar fluvisola, dok je unutar urbanog područja između 5 i 13 m. Istraživanja pokazuju kako infiltracija ovisi o tipu tla i njegovoj propusnosti, debljini nesaturirane zone te hidrološkim uvjetima. Na slici 3.4. prikazano je kako se na eutričnom smeđem tlu minimalno 0,8%, a maksimalno 41% oborina infiltrira do vodonosnika, na fluvisolima od 12,8% do 45%, a u urbanom području

od 8,6% do 46,6%. Zbog manje propusnosti eutričnih tala i velike debljine nesaturirane zone, količina oborina dostupnih za infiltraciju je veoma mala (Parlov et al., 2019).



Slika 3.4. Postotci vode dostupnih za infiltraciju (modificirano prema Parlov et al., 2019).

4. Metode istraživanja

Parametri dobiveni s meteorološke postaje Davis Vantage Pro 2 mjereni su svaki dan prvotno u tridesetminutnim intervalima, a onda u satnim. Interval je promijenjen kako bi se meteorološki parametri uskladili s pedološkim parametrima mjerenim u jami. Mjereni su: vanjska temperatura zraka (°C), maksimalna temperatura zraka (°C), minimalna temperatura zraka (°C), vlažnost zraka (%), rosište (°C), brzina vjetra (m/s), smjer vjetra, wind run (engl. wind run, km), maksimalna brzina vjetra (m/s), smjer najveće brzine vjetra, wind chill (engl. wind chill, °F), indeks topline (°F), THW indeks (°F), THSW indeks (°F), tlak zraka (kPa), oborine (mm), rain rate (engl. rain rate, mm), solarna radijacija (W/m²), solarna energija (Langley), maksimalna solarna radijacija (W/m²), UV indeks, UV dose (engl. UV dose), najviši UV, referentna evapotranspiracija (mm), zatim parametri na unutarnjoj jedinici u pedološkoj jami koji u ovom radu nisu prikazani. Uređaj je mjerio evapotranspiraciju po FAO56-Penman-Monteith formuli. Pretpostavljeno je da se radi o referentnoj, a ne potencijalnoj iz razloga zato što Fernandes et al. (2012) koriste navedenu formulu i obrazlažu da je riječ o referentnoj evapotranspiraciji (ETo).

Parametri koji su korišteni u ovom završnom radu za proračun su temperatura, maksimalna i minimalna temperatura, vlažnost zraka, brzina vjetra, tlak zraka, oborine i referentna evapotranspiracija. Ti parametri su uzeti u obzir zato što različite jednadžbe za proračun evapotranspiracije koriste te parametre: Meyer, Turc, Hargreaves, Jensen-Haise. S obzirom da su dobiveni parametri mjereni u tako malim vremenskim intervalima, radi praktičnijeg korištenja sažeti su pomoću zaokretne tablice u Excelu.

Postoji nekoliko različitih empirijskih formula koje se mogu koristiti za računanje referentne evapotranspiracije na nekom području. FAO56-Penman-Monteith (Allen et al., 1998), Makkink (Sediyama et al., 1997), Jensen-Haise (Sediyama et al., 1997), Camargo (Sediyama, et al., 1997), Pristley-Taylor (Sediyama et al., 1997), Hargreaves (Jensen et al., 1997), Hargreaves-Samani (Allen et al., 1998) su samo neke od njih (Fernandes et al., 2012). U ovom završnom radu korištene su Jensen-Haise i Hargreaves za računanje referentne evapotranspiracije. Jensen-Haise koristila se na dnevnoj razini čije su se vrijednosti sumirale na mjesečnu razinu kako bi se rezultati mogli usporediti s Hargreaves na mjesečnoj razini. Har-

greavesova formula se koristi za računanje referentne evapotranspiracije na dnevnoj i mjesečnoj razini (Stefano i Ferro, 1997). Evaporacija je računata pomoću Meyerove formule (Bačani, 2006). Za računanje stvarne evapotranspiracije na godišnjoj razini korištena je Turcova formula (Turc, 1953; Bačani, 2006). Ostale formule nisu korištene iz razloga jer nisu bili dostupni svi parametri koji se koriste u tim jednadžbama.

4.1. Meyerova formula

Meyerova formula (1915) koristila se za izračunavanje mjesečnih isparavanja sa slobodne vodene površine (Bačani, 2006):

$$E = 11{,}25\ E_t\ (1 - R_v)\ (1 + 0{,}225\ v) \tag{4.1}$$

gdje je:

E – isparavanje sa slobodne površine vode u mm/mjesec;

E_t – tlak vodene pare zasićenog zraka na temperaturi t (mbar);

R_v – relativna vlaga (%);

v – brzina vjetra (m/s).

Napomena: Uređaj nije mjerio tlak vodene pare, nego se on izračunao korištenjem Buckove jednadžbe (Buck 1981) za tlak vodene pare korištenjem temperature izražene u Celzijevim stupnjevima:

$$P_s(T) = 6{,}1121e^{(18{,}678 - \frac{T}{234{,}5})(\frac{T}{257{,}14+T})} \tag{4.2}$$

gdje je:

$P_s(T)$ – tlak vodene pare (hPa=mbar);

e – Eulerov broj;

T – temperatura zraka (°C).

4.2. Turcova formula

Za računanje srednje godišnje stvarne evapotranspiracije koristila se Turcova formula (Turc, 1953; Bačani, 2006):

$$E_T = \frac{P}{\sqrt{0{,}9 + \frac{P^2}{L^2}}} \tag{4.3}$$

gdje je:

P – visina srednjih godišnjih oborina (mm);

$L = 300 + 25T + 0{,}05T^3$;

T – srednja godišnja temperatura zraka (°C).

4.3. Hargreavesova formula

Prema Hargreavesoj formuli (Jensen et al.,1990; Fernandes et al., 2012) referentna evapotranspiracija računa se:

$$ET_O = 0{,}0135\ Rs\ (Tmean + 17{,}8) \qquad (4.4)$$

gdje je:

ET_O – referentna evapotranspiracija (mm/mj.);

Rs – globalno zračenje (MJ/m²dan);

Tmean – srednja mjesečna temperatura zraka (°C) dobivena kao zbroj srednje maksimalne mjesečne temperature i srednje minimalne mjesečne temperature i jednaka je (Tmax + Tmin)/2.

Prema FAO (engl. Food and Agriculture Organization; http://www.fao.org/3/x0490e/x0490e0i.htm), MJ/m²dan je ekvivalentan 0,408 mm/dan. To je korišteno u proračunu kako bi se dobila evapotranspiracija u mm/jedinici vremena.

4.4. Jensen-Haiseova formula

Jensen-Haise formula (Sediyama et al., 1997; Fernandes et al., 2012) koristi se kako bi se izračunala dnevna referentna evapotranspiracija:

$$ET_O = (0{,}0252\ Tmean + 0{,}078)\ Rs \qquad (4.5)$$

gdje je:

ET_O – referentna evapotranspiracija (mm/dan);

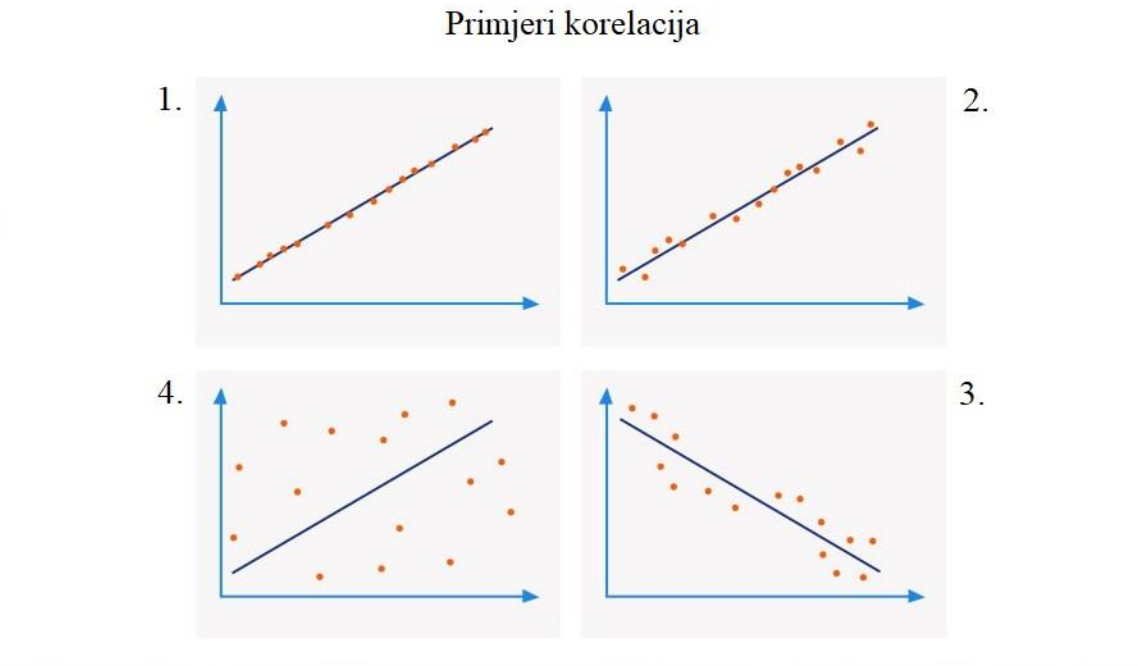
Rs – globalno zračenje (MJ/m²dan);

Tmean – srednja mjesečna temperatura zraka (°C) dobivena kao zbroj srednje maksimalne mjesečne temperature i srednje minimalne mjesečne temperature i jednaka je (Tmax + Tmin)/2.

4.5. Korelacija

Korelacija je statistički postupak pomoću kojeg se može izračunati povezanosti dviju varijabli. Vrijednost korelacije se iskazuje koeficijentom korelacije, najčešće Pearsonovim ili Spearmanovim, a značajnost korelacije p-vrijednošću. U ovom završnom radu koristio se samo Pearsonov koeficijent.

Pearsonov koeficijent korelacije koristi se za varijable koje su u linearnom odnosu. Linearni odnos može se očitati s dijagrama raspršenosti. Pearsonov koeficijent poprima vrijednosti od -1 do +1. Vrijednost koeficijenta od 0 do 1 označava pozitivnu korelaciju, sukladan rast vrijednosti obje varijable, dok vrijednost od 0 do -1 označava negativnu korelaciju, porastom vrijednosti jedne varijable, opada vrijednost druge. Ako je on 0 onda on označava nepostojanje linearne povezanosti (Udovičić et al., 2007).



Slika 4.1. Primjeri korelacija. Prvi graf prikazuje jaku pozitivnu, drugi graf srednju pozitivnu, treći slabu negativnu, a četvrti veoma slabu korelaciju/nema je (modificirano prema: https://www.questionpro.com/blog/pearson-correlation-coefficient/).

4.6. Linearna regresija

Regresijska analiza koristi se kako bi se donijeli zaključci o funkcionalnoj povezanosti dviju varijabli. Na temelju mjerenja određuje se priroda ovisnosti dviju varijabli. Kako bi se odredila veza između varijabli, prvo se prikazuju podaci u dijagramu raspršenosti iz kojega se onda može zaključiti grupiraju li se točke oko pravca (linearna zavisnost) ili neke krivulje (logaritamska, eksponencijalna i dr.).

Ako se pretpostavi linearna zavisnost između varijabli, regresijsku funkciju se može zapisati na sljedeći način:

$$f(x) = \alpha + \beta x \tag{4.8}$$

gdje je β koeficijent regresije, α je koeficijent nagiba pravca, a pravac $y = \alpha + \beta x$ regresijski pravac.

U obradi podataka koristila se razina značajnosti $\alpha = 0{,}05$. Ako je dobivena p-vrijednost manja od razine značajnosti, rezultati su statistički značajni, u suprotnom, ako je ona veća od 0,05, rezultati nisu statistički značajni.

U Microsoft Excelu provedena je regresijska analiza kojom se dobio koeficijent determinacije i p-vrijednost koja određuje statističku značajnost rezultata, a korelacijskom analizom dobiven je Pearsonov koeficijent. Korištenjem Microsoft Excela nacrtani su dijagrami raspršenosti i uz njih je napisana jednadžba koja povezuje nezavisnu (x) i zavisnu (y) varijablu zajedno s koeficijentom determinacije. Koeficijent determinacije (R^2) je vrijednost reprezentativnosti modela, što je postotak koeficijenta determinacije veći, to je model precizniji.

5. Rezultati

U ovom poglavlju prikazani su ulazni podaci za svaku formulu i uz njih je priložen odgovarajući graf koji prikazuje dobiveni rezultat, osim globalnog zračenja koje je ustupio DHMZ, a koje se odnosi na postaju Zagreb Maksimir te pretpostavlja se da su ti podaci reprezentativni i za područje Velike Gorice. Nakon računanja evaporacije i referentnih evapotranspiracija, provedena je linearna regresijska analiza korištenjem Microsoft Excela, te su napravljeni grafovi.

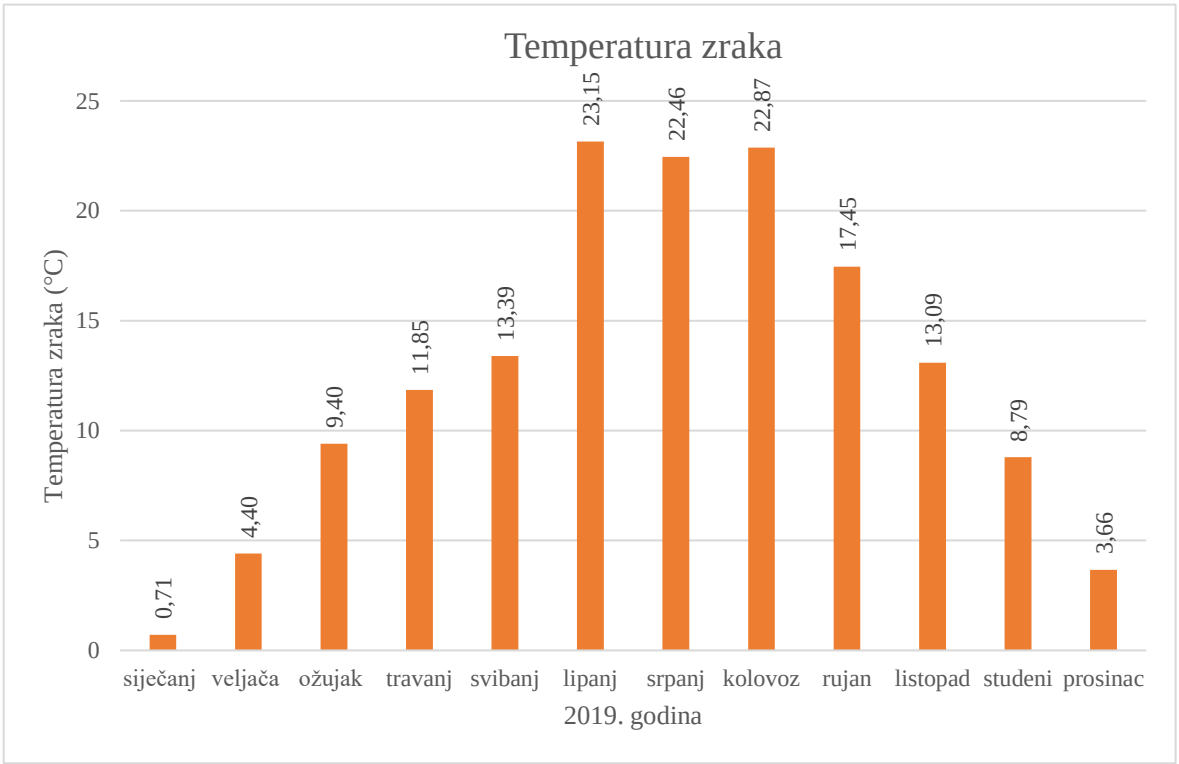
Korišteni podaci se odnose na 2019. godinu. Za razdoblje od 27. ožujka do 31. ožujka i za dan 16. prosinca podaci dobiveni s uređaja nedostaju jer je bilo tehničkih problema s uređajem i radova na pedološkoj jami. Podatak o globalnom zračenju za dan 4. ožujka nedostaje.

5.1. Izračun evaporacije korištenjem Meyerove formule

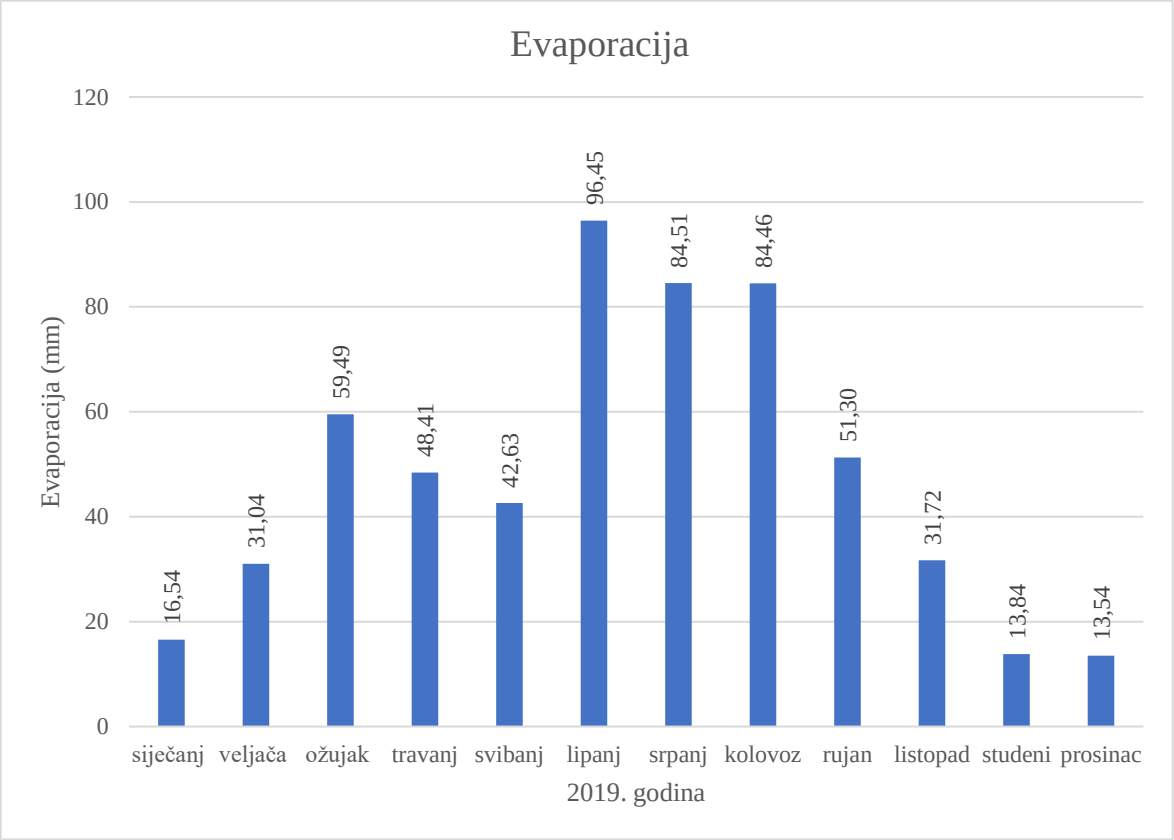
U tablici 5.1. prikazane su prosječne mjesečne vrijednosti vlažnosti zraka, brzine vjetra, tlaka vodene pare, a evaporacija je izračunata korištenjem Meyerove formule (4.1). Priložen je i grafički prikaz mjesečne temperature (slika 5.1.) i izračunate evaporacije (slika 5.2.).

Tablica 5.1. Mjesečne vrijednosti evaporacije za 2019. godinu.

2019. godina	Temperatura (°C)	Vlažnost zraka (%)	Brzina vjetra (m/s)	Tlak vodene pare (hPa)	Meyer Evaporacija (mm)
siječanj	0,71	80,39	0,74	6,43	16,54
veljača	4,40	72,13	0,81	8,37	31,04
ožujak	9,40	65,10	1,26	11,79	59,49
travanj	11,85	73,69	0,79	13,88	48,41
svibanj	13,39	79,78	0,98	15,37	42,63
lipanj	23,15	73,72	0,67	28,36	96,45
srpanj	22,46	75,50	0,57	27,19	84,51
kolovoz	22,87	76,11	0,57	27,88	84,46
rujan	17,45	79,28	0,46	19,94	51,30
listopad	13,09	83,08	0,47	15,06	31,72
studeni	8,79	89,81	0,30	11,32	13,84
prosinac	3,66	86,16	0,42	7,94	13,54
				Σ	**573,93**



Slika 5.1. Prosječne mjesečne temperature zraka u 2019. godini.



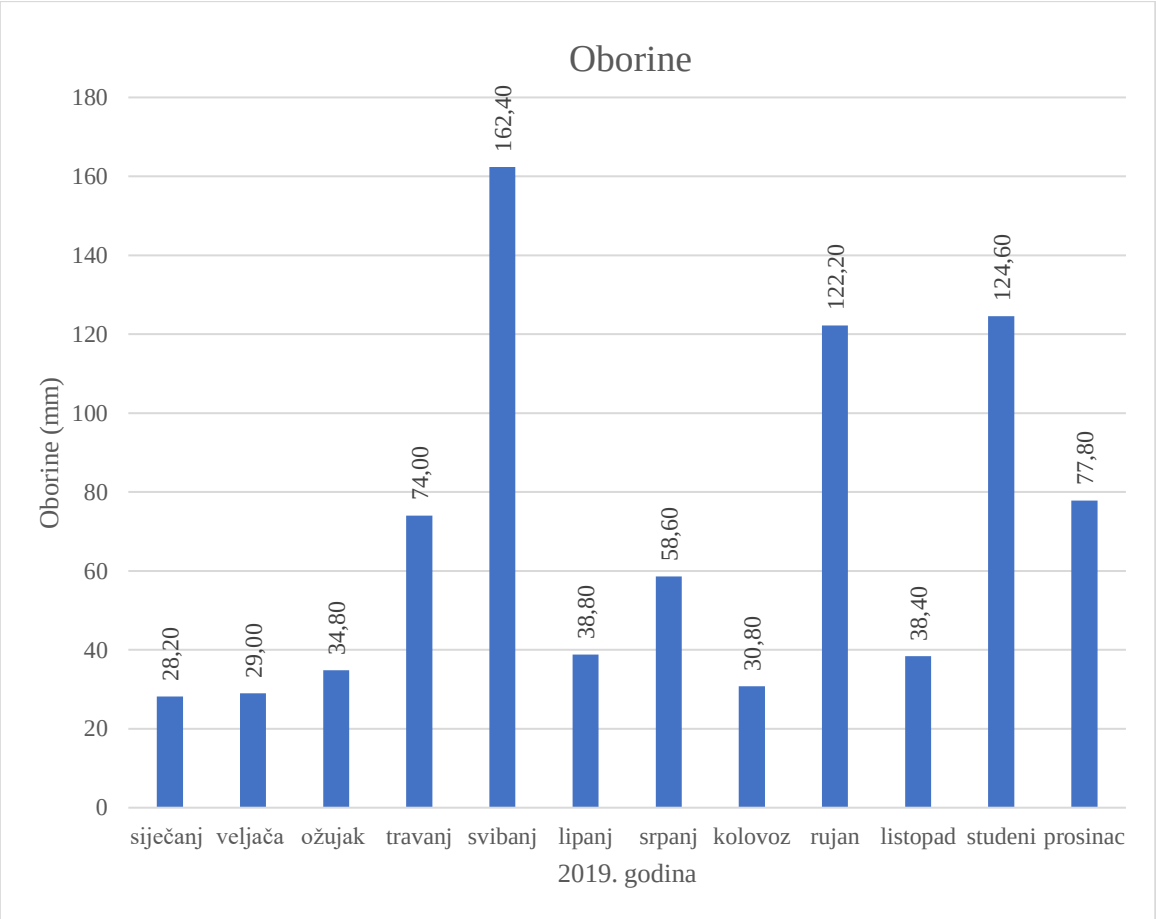
Slika 5.2. Evaporacija za 2019. godinu.

5.2. Izračun stvarne evapotranspiracije korištenjem Turcove formule

U tablici 5.2 prikazana je izračunata evapotranspiracija korištenjem Turcove formule (4.3) na godišnjoj razini. Ispod tablice nalazi se graf oborina u 2019. godini (slika 5.3).

Tablica 5.2. Stvarna godišnja evapotranspiracija po Turcu.

2019. godina	**Temperatura zraka (°C)**	**Oborine (mm)**
siječanj	0,71	28,20
veljača	4,40	29,00
ožujak	9,40	34,80
travanj	11,85	74,00
svibanj	13,39	162,40
lipanj	23,15	38,80
srpanj	22,46	58,60
kolovoz	22,87	30,80
rujan	17,45	122,20
listopad	13,09	38,40
studeni	8,79	124,60
prosinac	3,66	77,80
T	**12,60**	**Σ 819,60**
L	**715,13**	
Stvarna evapotranspiracija (mm/god.)	**550,88**	



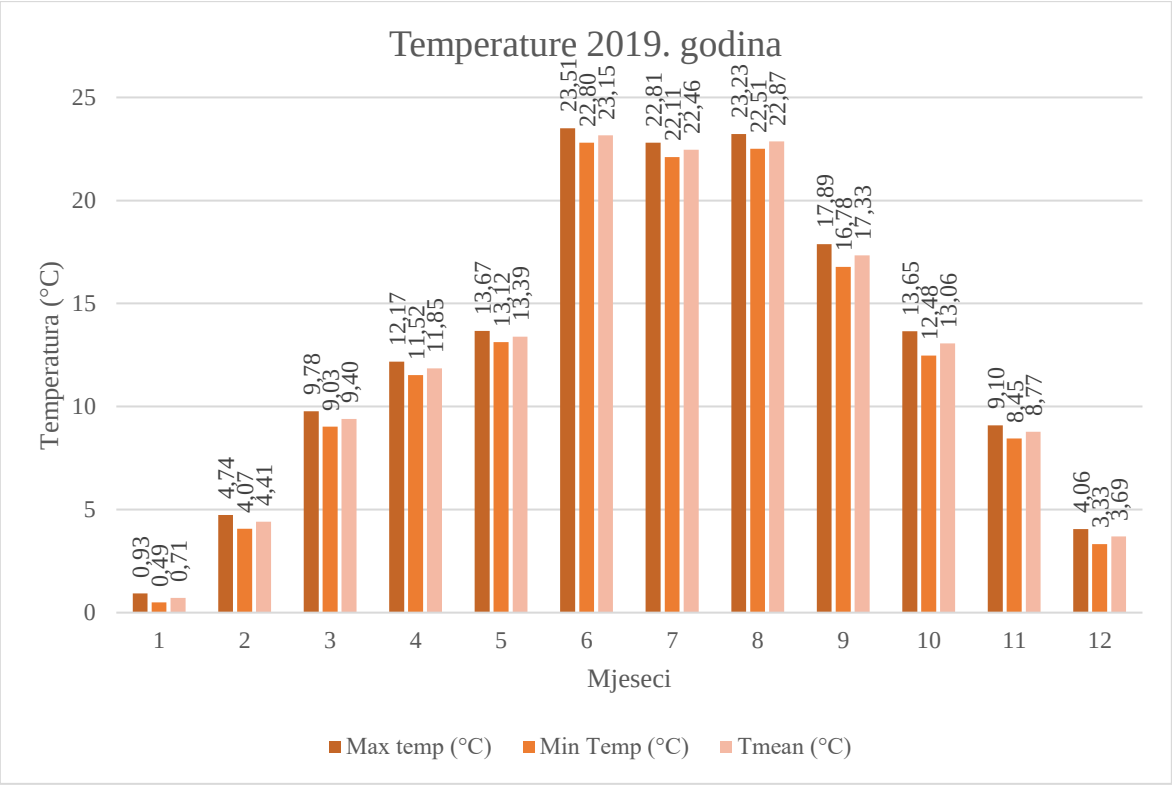
Slika 5.3. Mjesečne oborine za 2019. godinu.

5.3. Izračun referentne evapotranspiracije korištenjem Hargreavesove formule

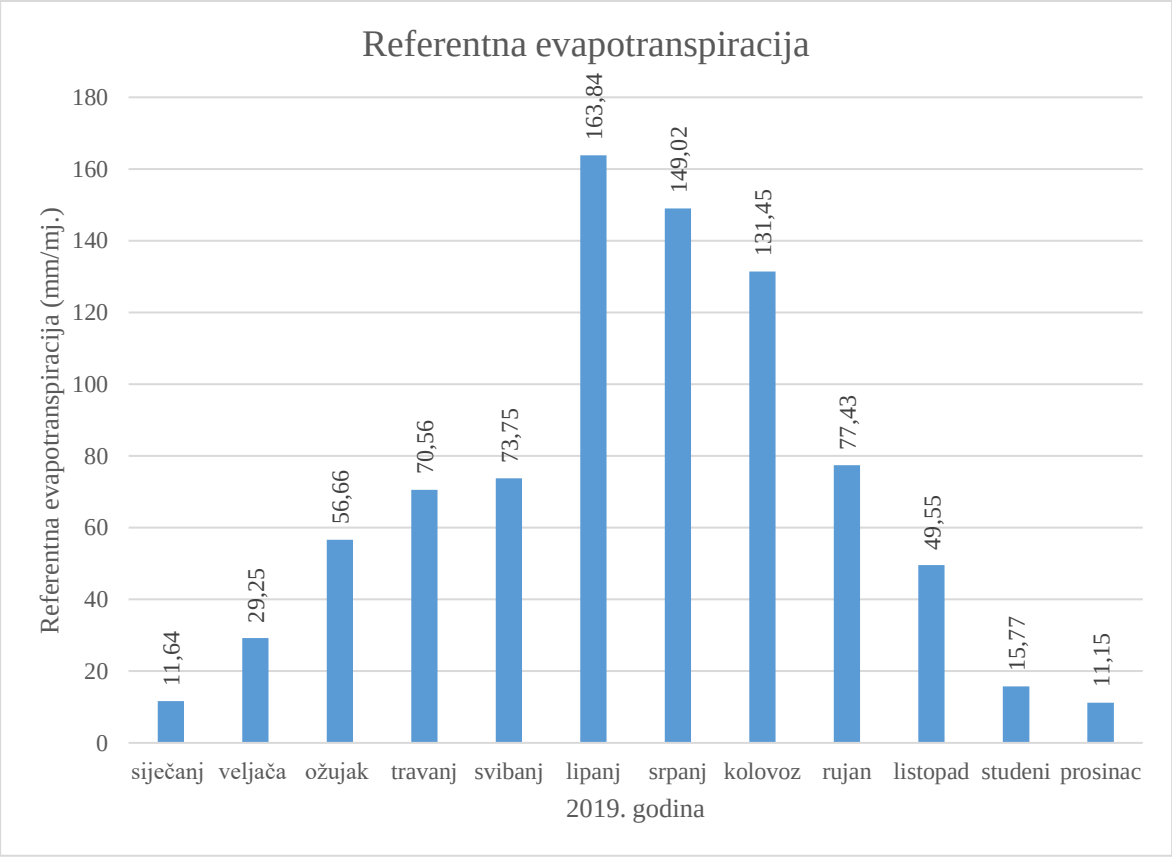
U tablici 5.3. prikazana je izračunata referentna evapotranspiracija korištenjem Hargreavesove formule (4.4) na mjesečnoj razini. Grafički su prikazane maksimalna i minimalna temperatura te srednja temperatura za 2019. godinu (slike 5.4. i 5.5.). Maksimalna temperatura dobivena je kao prosjek svih dnevnih maksimalnih temperatura u tom mjesecu, minimalna temperatura kao prosjek svih dnevnih minimalnih temperatura u tom mjesecu, a srednja temperatura je dobivena kao prosječna vrijednost maksimalne i minimalne.

Tablica 5.3. Referentna evapotranspiracija izračunata korištenjem Hargreavesove formule na mjesečnoj razini.

2019. godina	**Maksimalna temperatura (°C)**	**Minimalna temperatura (°C)**	**Srednja temperatura (°C)**	**Zračenje (MJ/m²)**	**ETo (Hargreaves) (mm/mj.)**
siječanj	0,93	0,49	0,71	114,19	11,64
veljača	4,74	4,07	4,41	239,17	29,25
ožujak	9,78	9,03	9,40	378,15	56,66
travanj	12,17	11,52	11,85	432,11	70,56
svibanj	13,67	13,12	13,39	429,23	73,75
lipanj	23,51	22,80	23,15	726,31	163,84
srpanj	22,81	22,11	22,46	672,02	149,02
kolovoz	23,23	22,51	22,87	586,78	131,45
rujan	17,89	16,78	17,33	400,11	77,43
listopad	13,65	12,48	13,06	291,45	49,55
studeni	9,10	8,45	8,77	107,77	15,77
prosinac	4,06	3,33	3,69	94,2	11,15
			Σ	**4471,49**	**840,07**



Slika 5.4. Maksimalna, minimalna i srednja temperatura za 2019. godinu.



Slika 5.5. Referentna evapotranspiracija po Hargreavesu za 2019. godinu.

Hargreavesova formula može se koristiti za računanje referentne evapotranspiracije na dnevnoj razini i iz istih razloga kao i za Jensen-Haise referentnu evapotranspiraciju, nije prikazana tablično, već su prikazane samo mjesečne vrijednosti (tablica 5.4.) i njihova ukupna suma. Ukupna referentna evapotranspiracija za 2019. godinu iznosi 837,18 mm/god.

Tablica 5.4. Iznosi mjesečne Hargreavesove referentne evapotranspiracije.

2019. godina	**Tmax (°C)**	**Tmin (°C)**	**Tmean (°C)**	**Zračenje (MJ/m²)**	**ETo (mm/mj.)**
siječanj	0,92	0,50	0,71	114,19	11,82
veljača	4,75	4,08	4,42	239,17	29,13
ožujak	9,72	8,97	9,34	378,15	45,16
travanj	12,17	11,52	11,85	432,11	72,54
svibanj	13,67	13,12	13,39	429,23	76,34
lipanj	23,51	22,80	23,15	726,31	164,68
srpanj	22,81	22,11	22,46	672,02	150,05
kolovoz	23,42	22,66	23,04	586,78	132,59
rujan	17,78	16,68	17,23	400,11	77,49
listopad	13,62	12,45	13,04	291,45	50,43
studeni	9,07	8,43	8,75	107,77	16,02
prosinac	4,16	3,40	3,78	94,20	10,94
			Σ	**4471,49**	**837,18**

5.4. Izračun Jensen-Haise referentne evapotranspiracije

Računanje referentne evapotranspiracije korištenjem Jensen-Haise formule (4.5) može se koristiti samo na dnevnoj razini. Zbog nepraktičnosti prikazivanja podataka oni se neće tablično prikazivati za svaki dan, ali sumiranjem dnevnih iznosa referentnih evapotranspiracija dobila se ukupna referentna evapotranspiracija za 2019. godinu u iznosu od 898,72 mm/god. Mjesečni iznosi referentne evapotranspiracije prikazani su u tablici 5.5.

Tablica 5.5. Mjesečne vrijednosti Jensen-Haise referentne evapotranspiracije.

2019. godina	**Tmax (°C)**	**Tmin (°C)**	**Tmean (°C)**	**Zračenje (MJ/m²)**	**Eto Jensen-Haise (mm/mj.)**
siječanj	0,92	0,50	0,71	114,19	4,80
veljača	4,75	4,08	4,42	239,17	18,22
ožujak	9,72	8,97	9,34	378,15	38,95
travanj	12,17	11,52	11,85	432,11	70,07
svibanj	13,67	13,12	13,39	429,23	77,61
lipanj	23,51	22,80	23,15	726,31	197,59
srpanj	22,81	22,11	22,46	672,02	178,48
kolovoz	23,42	22,66	23,04	586,78	158,79
rujan	17,78	16,68	17,23	400,11	84,15
listopad	13,62	12,45	13,04	291,45	50,06
studeni	9,07	8,43	8,75	107,77	13,61
prosinac	4,16	3,40	3,78	94,20	6,36
			Σ	**4471,49**	**898,72**

5.5. Usporedba mjerene referentne evapotranspiracije i izračunatih referentne evapotranspiracija korištenjem empirijskih formula

U tablici 5.6. prikazana je usporedba rezultata između mjerene referentne evapotranspiracije (Penman-Monteith metoda) i izračunate Hargreavesove referentne evapotranspiracije, te također usporedba rezultata između mjerene referentne i izračunate referentne evapotranspiracije korištenjem Jensen-Haise formule. Zbog toga što se referentna evapotranspiracija počela mjeriti tek od 1. travnja 2019. godine, uspoređeni su samo podaci od travnja do prosinca 2019. godine. Razlika Penman-Monteith i Hargreavesove metode je ispod 20%, dok je za travanj, svibanj, listopad i studeni veoma mala (ispod 10%). Negativna razlika pojavljuje se onda kada je izmjerena referentna evapotranspiracija manja. Razlika između mjerene referentne i izračunate referentne evapotranspiracije korištenjem Jensen-Haise formule je veća u odnosu na razliku između Penman-Monteith i Hargreavesove metode, posebno u prosincu, dok je za travanj, svibanj i listopad ona veoma mala (ispod 10%). Negativna razlika je onda kada je izmjerena referentna evapotranspiracija manja.

Tablica 5.6. Razlika mjerene referentne evapotranspiracije i izračunatih referentnih evapotranspiracija.

Datum	**Mjerena Penman-Monteith (mm)**	**Hargreavesova (mm)**	**Jensen-Haise (mm)**	**Mjerena - Hargreavesova**	**Mjerena – Jensen-Haise**
travanj 2019.	76,68	70,56	70,07	9%	9%
svibanj 2019.	75,81	73,75	77,61	3%	-2%
lipanj 2019.	136,74	163,84	197,59	-17%	-31%
srpanj 2019.	125,71	149,02	178,48	-16%	-30%
kolovoz 2019.	112,59	131,45	158,79	-14%	-29%
rujan 2019.	65,20	77,43	84,15	-16%	-23%
listopad 2019.	47,38	49,55	50,06	-4%	-5%
studeni 2019.	16,20	15,77	13,61	3%	19%
prosinac 2019.	12,52	11,15	6,36	12%	97%

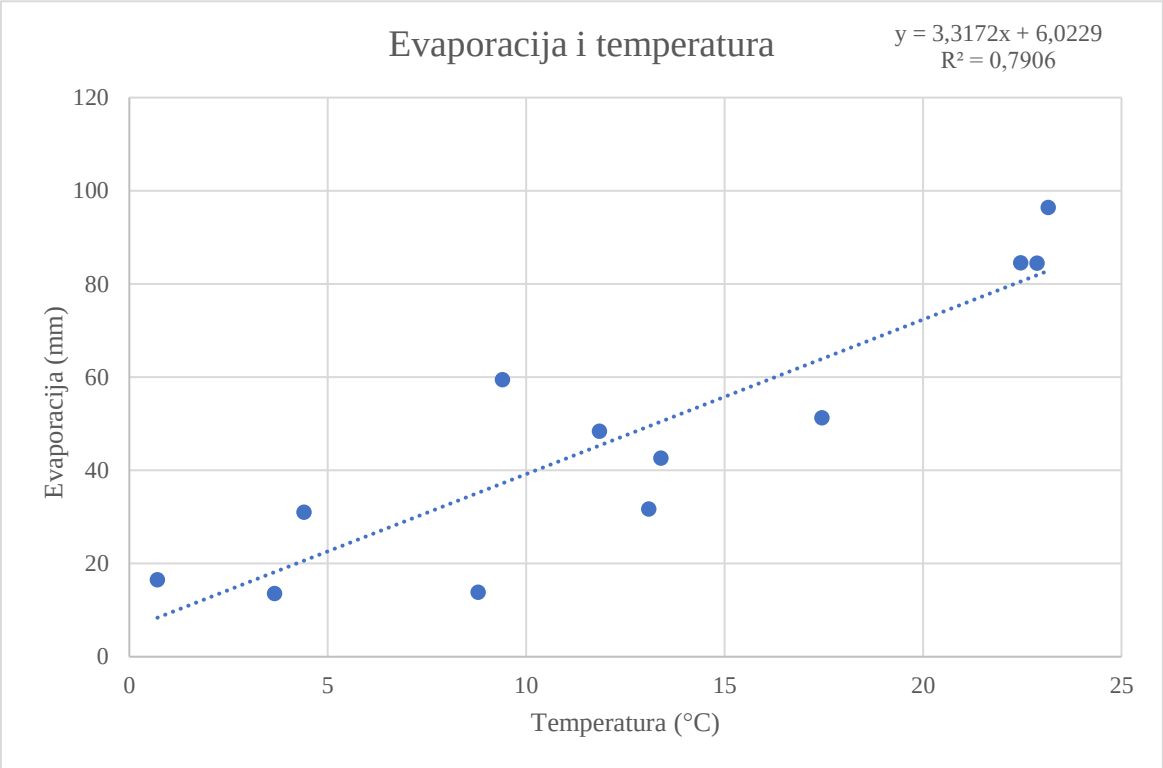
5.6. Određivanje Pearsonovog koeficijenta i statističke značajnosti dobivenih odnosa

Korelacijskom analizom izračunat je Pearsonov koeficijent korelacije, a regresijskom analizom izračunat je koeficijent determinacije. Unutar regresijske analize integrirane u Microsoft Excelu dobivena je i p-vrijednost pomoću koje je određena statistička značajnost tih rezultata. Odabrane su upravo one varijable kod kojih se smatralo da su u najvećoj korelaciji jedna s drugom, a svrha korelacijske analize bila je odrediti koliko je jaka veza između tih

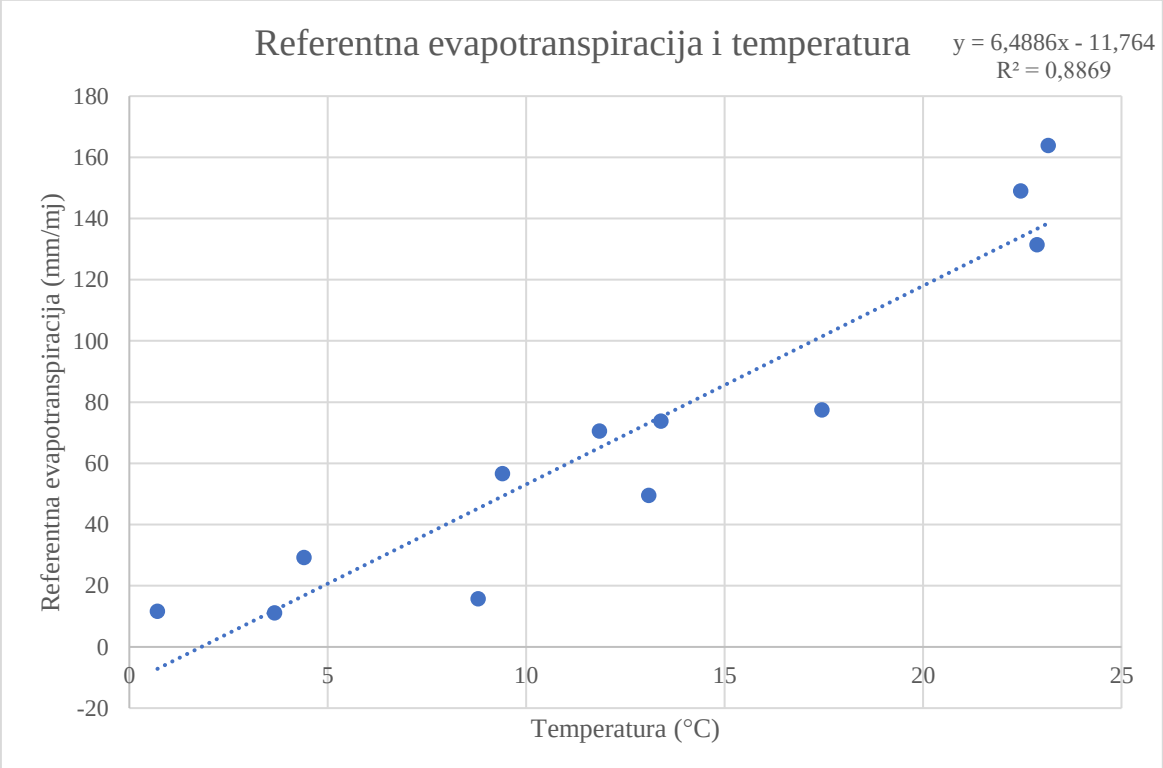
varijabli, dok je svrha regresijske analize bila određivanje funkcionalne ovisnosti tih varijabli. Dobiveni regresijski modeli omogućuju prognoziranje jedne varijable na temelju mjerenja druge varijable. Referentna evapotranspiracija koja je ovdje navedena je izračunata korištenjem Hargreavesove formule na mjesečnoj razini. Za sve parove varijable je Pearsonov koeficijent pozitivan i vrlo blizu 1. Također, p-vrijednost je manja od 0,05 i zato su svi rezultati statistički značajni. Koeficijenti determinacije su dosta visoki, preko 0,79. Regresijski model za referentnu evapotranspiraciju i zračenje ima koeficijent determinacije preko 95% i on je, od ovdje navedenih, najbolji. Tablično je prikazano koji su to parovi varijabla korelirani, njihovi Pearsonovi koeficijenti korelacije, statistička značajnost dobivene korelacije i koeficijenti determinacije. Ispod tablice 5.7 nalaze se grafovi raspršenosti (slike 5.6., 5.7., 5.8., 5.9. i 5.10.). Svi grafovi pokazuju pozitivnu korelaciju, uz svaki graf napisana je pripadajuća jednadžba linearne regresije i koeficijent determinacije.

Tablica 5.7. Korelacija odabranih varijabli, njihovi Pearsonovi koeficijenti korelacije, p-vrijednosti, statistička značajnost i koeficijent determinacije.

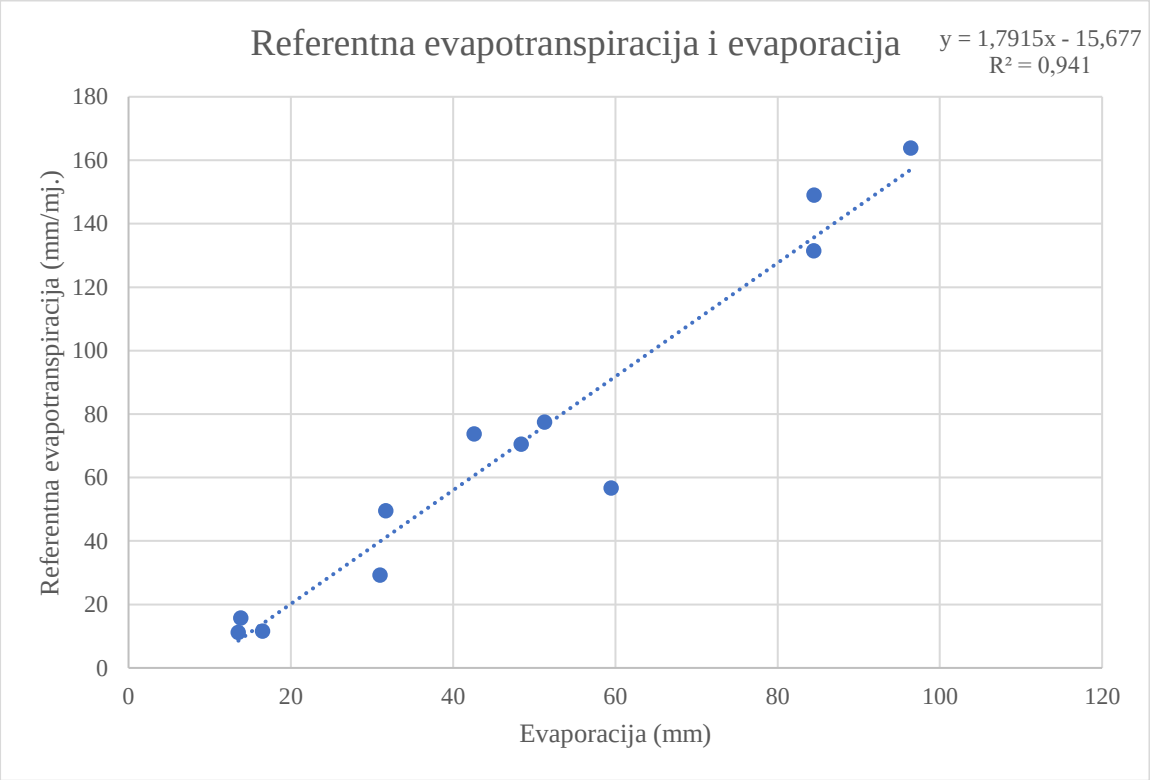
Parovi varijabli	**Broj uzoraka**	**Pearsonov koeficijent**	**P-vrijednost**	**Statistička značajnost**	**Koeficijent determinacije**
evaporacija i temperatura	12	0,88917	1,09E-04	+	0,7906
evaporacija i zračenje	12	0,97443	8,25E-08	+	0,9495
referentna evapotranspiracija i temperatura	12	0,94177	4,78E-06	+	0,8869
referentna evapotranspiracija i zračenje	12	0,98423	7,49E-09	+	0,9687
evaporacija i referentna evapotranspiracija	12	0,97008	1,80E-07	+	0,9410



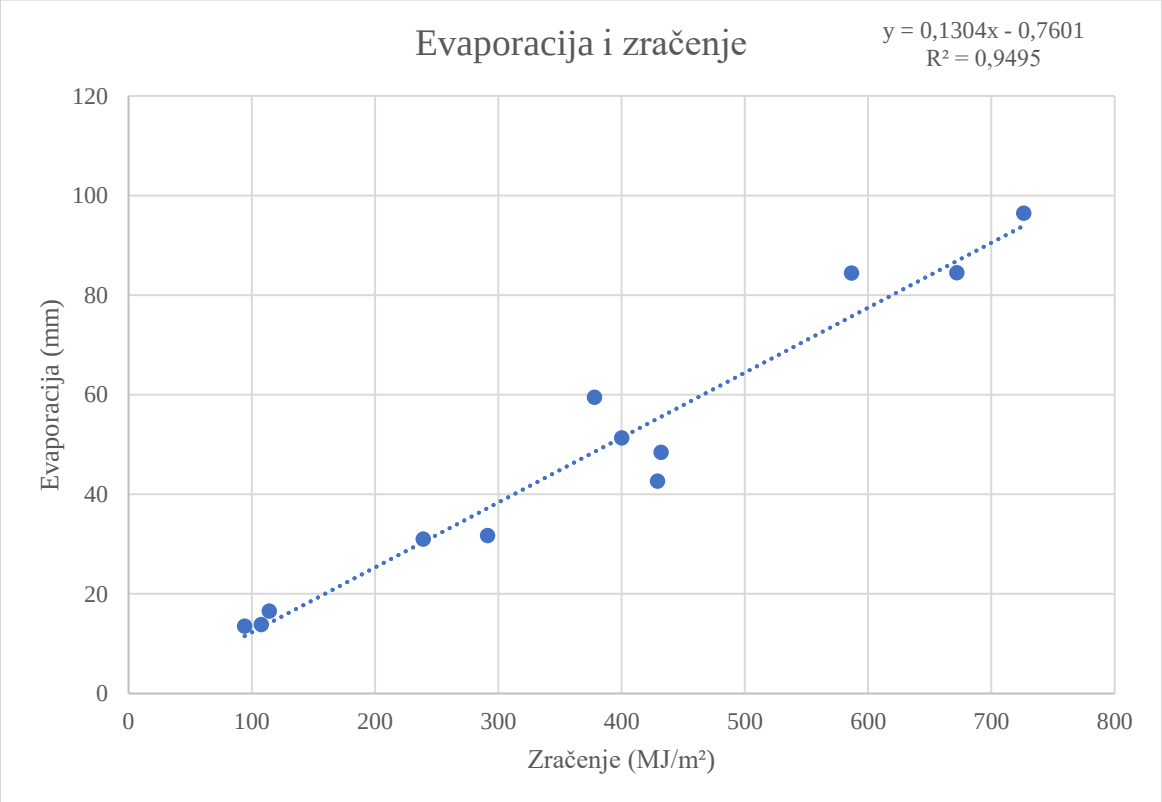
Slika 5.6. Graf raspršenosti evaporacije i temperature na mjesečnoj razini.



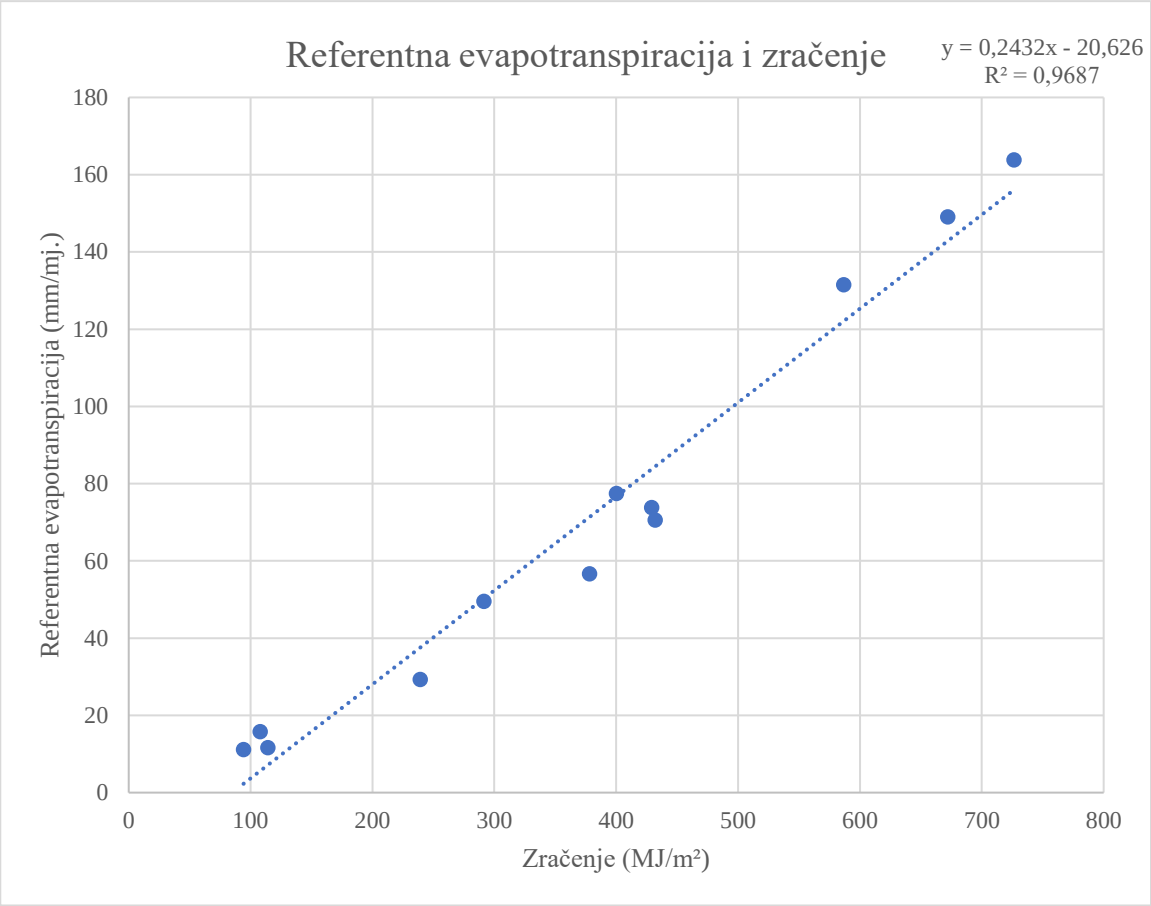
Slika 5.7. Graf raspršenosti referentne evapotranspiracije i temperature na mjesečnoj razini.



Slika 5.8. Graf raspršenosti referentne evapotranspiracije i evaporacije na mjesečnoj razini.



Slika 5.9. Graf raspršenosti evaporacije i zračenja na mjesečnoj razini.



Slika 5.10. Graf raspršenosti referentne evapotranspiracije i zračenja na mjesečnoj razini.

5.7. Količina vode raspoloživa za infiltraciju

Oduzimanjem stvarne evapotranspiracije od oborina dobije se maksimalna količina vode raspoloživa za infiltraciju i ona iznosi 268,72 mm za 2019. godinu na području vodocrpilišta u Velikoj Gorici. Sukladno procjeni iz prethodnih istraživanja za promatrani tip tla (Parlov et al., 2019), minimalno se može infiltrirati 2,15 mm, a maksimalno 110,18 mm (slika 3.4.). Oduzimanjem referentne evapotranspiracije po Hargreavesu (mjesečna razina) od oborina dobije se -20,47 mm vode. Oduzimanjem referentne evapotranspiracije po Hargreavesu (dnevna razina) od oborina dobije se -17,58 mm vode. Oduzimanjem referentne evapotranspiracije po Jensen-Haiseu (dnevna razina) od oborina dobije se -79,12 mm vode. Negativna razlika dobivena je zbog toga što je referentna evapotranspiracija veća od oborina.

6. Zaključak

Praćenjem oborina, evaporacije, stvarne evapotranspiracije i referentnih evapotranspiracija dobiva se uvid u meteorološke parametre promatranog područja.

Razlika između mjerene Penman-Monteith referentne i izračunate Hargreaves referentne evapotranspiracije nije velika, dok je razlika između Penman-Monteith i Jensen-Haise referentne evapotranspiracije nešto veća, pogotovo u prosincu gdje je razlika ogromna.

Određen je Pearsonov koeficijent čime je određena korelacija varijabli, značajnost korelacije i statistička značajnost rezultata određena je p-vrijednošću, a linearnom regresijom dobiven je koeficijent determinacije. Zračenje najviše utječe na evaporaciju i referentnu evapotranspiraciju (veoma mala p-vrijednost, a veoma veliki koeficijent determinacije). Također, svi ostali parametri pokazuju kako se povećanjem vrijednosti jedne varijable, povećava vrijednost druge, što je bilo i očekivano.

Razlika između oborina i stvarne evapotranspiracije daje maksimalnu količinu vode dostupne za infiltraciju od koje se dio vode infiltrira do vodnog lica i obnavlja sezonske zalihe podzemnih voda, u ovom slučaju zagrebački vodonosnik. Zbog toga što je referentna evapotranspiracija veća od oborina, što nije karakteristično za istraživano područje, ta se brojka u tom proračunu nije uzimala u obzir. Kao reprezentativna se uzela razlika između oborina i stvarne evapotranspiracije po Turcu, a dobivena količina vode za infiltraciju je mala zbog karakteristika tla na području istraživanja.

Pregledavanje literature, promatranje jednadžbi, korištenje parametara u okviru samih jednadžbi, kao i rezultati te njihova usporedba upućuju na to da ne postoji jedinstvena formula koja može obuhvatiti sva područja istraživanja, odnosno njihove meteorološke, geološke i hidrogeološke značajke, intervale mjerenja, različite vrste tala te različite vrste uzgajanih kultura, koje svakako u nekoj mjeri utječu na iznos referentne i stvarne evapotranspiracije. Iako se u dosta istraživanja koriste razne jednadžbe za proračun referentne evapotranspiracije, evidentno je da se ona u ovom slučaju ne može koristiti za izračun maksimalne količine vode dostupne za infiltraciju jer ne daje realne podatke. U budućim istraživanjima potrebno je više pažnje posvetiti korištenju jednadžbi pomoću kojih se određuje stvarna evapotranspiracija kako bi se dobili precizniji rezultati procjene obnavljanja sezonskih zaliha zagrebačkog vodonosnika putem procjeđivanja oborine kroz nesaturiranu zonu.

7. Literatura

1. ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., SMITH, M., 1998. Crop evapotranspiration, FAO Irrigation and Dranaige paper 56. Roma. FAORome
2. BAČANI, A., 2006. Hidrogeologija I. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
3. BAČEKOVIĆ, S., 2020. Izračun trendova oborina i temperatura na meteorološkoj postaji Pleso u Zagrebu. Završni rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
4. BUCK, A., L., 1981.New equations for computing vapor pressure and enchancement factor, J. Appl. Meteorol., 20, 1527-1532.
5. FERNANDES, L. C., PAIVA, C. M., ROTUNNO FILHO O. C., 2012. Evaulation of Six Empirical Evapotranspiration Equations – Case Study: Campos Dos Goytacazes/rj. Revista Brasileira de Meteorologia, v.27, n.3, 272 – 280.
6. JENSEN, M.E., BURMAN, R., ALLEN, R.G., 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. New York. ASCE.
7. PARLOV, J., KOVAČ, Z., NAKIĆ, Z., BAREŠIĆ, J., 2019. Using Water Stable Isotopes for Identifying Groundwater Recharge Sources of the Unconfined Alluvial Zagreb Aquifer (Croatia)
8. POSAVEC, K., 2006. Identifikacija i prognoza minimalnih razina podzemne vode zagrebačkog aluvijalnog vodonosnika modelima recesijskih krivulja. Zagreb: Doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
9. SALAMUN, A., 2020. Sorpcija potencijalno toksičnih metala i mineraloške karakteristike tla na području vodocrpilišta Velika Gorica. Diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
10. SEDIYAMA, G.C., VILLANOVA, N.A., PEREIRA, A.R., 1997. E-vapo(transpi)ração. Piracicaba, Editora Universitária ESALQ.
11. STEFANO, C., FERRO, V., 1997. Estimation of Evapotranspiration by Hargreaves Formula and Remotely Sensed Dana in Semi-arid Mediterranean Areas
12. UDOVIČIĆ, M., BAŽDARIĆ, K., BILIĆ-ZULLE, L., PETROVEČKI, M., 2007. Odabrane teme iz biostatistike. Medicinski fakultet Sveučilišta u Rijeci.
13. VELIĆ, J., DURN, G., 1993. Alternating Lacustrine-Marsh Sedimentation and Subaerial Exposure Phases during Quaternary: Prečko, Zagreb, Croatia. Geologia Croatica, 46(1), str. 71-90.

WEB izvori:

1. MATHOS, 2018. Regresijska analiza.

   URL: http://www.mathos.unios.hr/ptfstatistika/Vjezbe/materijali_7.pdf (26.8.2020.)

2. FAO, Introduction to evapotranspiration.

   URL: http://www.fao.org/3/x0490e/x0490e04.htm (26.8.2020.)

3. USGS, Reference and Potential Evapotranspiration

   URL: https://www.usgs.gov/centers/car-fl-water/science/reference-and-potential-evapotranspiration?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects (9.9.2020.)

4. CROMETEO, Klima u Hrvatskoj

   URL: https://www.crometeo.hr/klima/ (9.9.2020.)

5. QUESTION PRO, Pearson correlation coefficient: Introduction, formula, calculation, and examples

   URL: https://www.questionpro.com/blog/pearson-correlation-coefficient/

   (9.9.2020.)

KLASA: 602-04/20-01/
URBROJ: 251-70-13-20-2
U Zagrebu, 17.09.2020.

Ana Rečić, studentica

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju Vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/20-01/ , UR. BROJ: 251-70-13-20-1 od 24.04.2020. godine priopćujemo temu završnog rada koja glasi:

IZRAČUN REFERENTNE I STVARNE EVAPOTRANSPIRACIJE NA PODRUČJU CRPILIŠTA VELIKA GORICA

Za voditelja ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o završnom ispitu dr. sc. Zoran Kovač, docent Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Voditelj

(potpis)

Doc. dr. sc. Zoran Kovač

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za završne i diplomske ispite

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Stanko Ružičić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor Kuhinek

(titula, ime i prezime)