

Stručni članak | Professional paper | UDK 551.583; 551.573
 Primljeno (Received): 17.07.2025.; Prihvaćeno (Accepted): 27.11.2025.

UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA NA BILANCU VODE U TLU

izv. prof. dr. sc. Darija Bilandžija
 Sveučilište u Zagrebu,
 Agronomski fakultet
 Svetošimunska cesta 25,
 Zagreb, Hrvatska
 e-pošta: dbilandzija@agr.hr

Lucija Surić
 Sveučilište u Zagrebu,
 Agronomski fakultet
 Svetošimunska cesta 25,
 Zagreb, Hrvatska

Bilanca vode u tlu predstavlja kvantitativan izraz koji definira manjak odnosno višak vode u tlu, a njezina važna komponenta je evapotranspiracija, koja predstavlja onu količinu vode koja se gubi isparavanjem vode s površina tla i slobodnih vodenih površina te transpiracijom biljaka. Evidentno je da se s klimatskim promjenama mijenja i proces evapotranspiracije. Bilanciranje vode u tlu u ovom radu je provedeno prema metodi Thornthwaite za devet različitih lokacija u Republici Hrvatskoj kao predstavnika poljoprivrednih podregija RH i za dva klimatološka razdoblja (1961. – 1990. i 1991. – 2020.). Ovisno o analiziranoj poljoprivrednoj podregiji, odnosno regiji RH, utvrđene su različite promjene u bilanci vode u tlu tijekom recentnog klimatološkog razdoblja u odnosu na prethodno klimatološko razdoblje. S obzirom na utvrđene promjene u vodnom režimu tla i očekivanja da će u budućnosti utjecaj klimatskih promjena biti još izraženiji, bit će neophodno osigurati učinkovitije upravljanje vodnim resursima na poljoprivrednim površinama RH.

Ključne riječi: evapotranspiracija, višak vode, manjak vode, klimatske promjene, poljoprivredne regije i podregije RH

1. UVOD

Klima u Hrvatskoj je raznolika, a određuju je reljef i njezin položaj u sjevernim umjerenim širinama kao i pripadajući vremenski procesi velikih i srednjih razmjera (Gajić-Čapka i Zaninović, 2008). Modifikatori koji su najznačajniji za određivanje klime na području Hrvatske su Jadransko i šire Sredozemno more, orografija Dinarida sa svojim oblikom, nadmorskom visinom i položajem prema prevladavajućem strujanju, otvorenost sjeveroistočnih krajeva prema Panonskoj ravnici te raznolikost biljnog pokrova (Gajić-Čapka i Zaninović, 2008). U Hrvatskoj se razlikuju tri glavna tipa klime: kontinentalna, planinska i primorska klima. Kontinentalna klima prevladava u kontinentalnoj Hrvatskoj i nalazi se u cirkulacijskom pojasu umjerenih širina gdje je stanje atmosfere promjenljivo. Na višim nadmorskim visinama (Lika, Gorski kotar i dalmatinsko zaleđe) prisutna je planinska klima, a primorska klima nalazi se u području umjerenih širina (Gajić-Čapka i Zaninović, 2008).

Prema Thornthwaiteovoj klasifikaciji klime, koja se temelji na odnosu količine vode potrebne za potencijalnu evapotranspiraciju i količini oborine, prevladava pet tipova klime: od jako vlažne, odnosno perhumidne do suhe, odnosno aridne klime. U Hrvatskoj se javljaju perhumidna, humidna i subhumidna klima. U najvećem dijelu nizinskog kontinentalnog dijela Hrvatske prevladava humidna klima, a samo u istočnoj Slavoniji subhumidna klima. U gorskom području prevladava perhumidna klima, a u primorskoj Hrvatskoj pojavljuju se perhumidna, humidna i subhumidna klima (Gajić-Čapka i Zaninović, 2008).

Klima predstavlja dugoročno stanje atmosfere kroz duže vremensko razdoblje, i kada dođe do njenih dugoročnih promjena možemo govoriti o klimatskim promjenama. Klimatske promjene uzrokovane su antropogenim djelovanjem, odnosno emisijama stakleničkih plinova koji dovode do stvaranja efekta staklenika (Penzar i Penzar, 2000). Klimatske se promjene očituju u sve učestalijoj pojavi vremenskih ekstrema i elementarnih nepogoda – poput suša, toplinskih valova, intenzivnih oborina, poplava, požara i slično

– te u promjenama u sezonskoj raspodjeli klimatskih elemenata.

U RH korištenje poljoprivrednog zemljišta u ukupnoj površini razlikuje se po regijama (Bašić, 2014). Površina korištenog poljoprivrednog zemljišta u RH iznosila je 1 519 000 ha u 2023. godini (Državni zavod za statistiku, 2024). Poljoprivredne regije u RH razlikuju se s obzirom na tip klime, reljef i pedološka svojstva tla koja određuju pogodnost, odnosno privremena ili trajna ograničenja za poljoprivrednu proizvodnju. Prema Bašić (2014), na području RH razlikuju se tri poljoprivredne regije koje su podijeljene na devet podregija. Poljoprivredne regije RH su Panonska, Gorska i Jadranska. Panonska regija podijeljena je na 4 podregije (istočna, središnja, zapadna i sjeverozapadna), Gorska na 2 podregije (planinska i predplaninska), a Jadranska na 3 podregije (sjeverna, središnja i južna) (Bašić, 2014).

Vodni režim tla presudan je čimbenik u poljoprivrednoj proizvodnji i predstavlja vrlo važan indikator klimatskih promjena u sektoru poljoprivrede s obzirom da prevelika, odnosno premala količina vode u tlu uzrokuje velike štete u uzgoju pojedinih kultura, a posljedično i u gospodarstvu. Vodni režim tla analizira se proračunom bilance vode u tlu koja je pokazatelj promjene zaliha vode u tlu tijekom nekog razdoblja. Ona uključuje proces primanja vode i proces gubitka vode. Gubici vode iz tla odvijaju se procesom evapotranspiracije, procjeđivanjem ili površinskim otjecanjem, (Pandžić, 1985). Ključni proces vodnog režima tla je evapotranspiracija, odnosno hidrološki proces koji kombinira procese isparavanja vode odnosno gubitka vode prelaskom iz tekućeg u plinovito stanje s površine tla i vodenih površina (evaporacija) i isparavanje vode s biljaka (transpiracija). Klimatski čimbenici o kojima ovisi evaporacija i transpiracija su: temperatura zraka, Sunčevo zračenje, količina oborine, vlažnost zraka i vjetar (FAO). Najveća moguća evapotranspiracija naziva se potencijalna evapotranspiracija (PET) i jednaka je količini vode koja bi teoretski mogla ispariti kad bi u tlu i biljkama bilo dovoljno vlage. Stoga se zaključuje da je potencijalna evapotranspiracija jednaka isparavanju s otvorene vodene površine (Anić i Vučetić, 2021). Ako dođe do takvih vremenskih uvjeta da je oborine manje nego što su potrebe biljaka, evapotranspiracija postaje manja od potencijalne i predstavlja stvarnu evapotranspiraciju. Ukoliko nedostatak vode potraje duže, dolazi do pojave sušnih razdoblja (Anić i Vučetić, 2021). Stvarna evapotranspiracija predstavlja stvarnu količinu vode koja ispari iz tla ili ju neka biljka transpirira u stvarnim uvjetima na Zemlji.

Evapotranspiracija je ključna komponenta globalnog ciklusa vode i energije (Jung i sur., 2010). Procesom evapotranspiracije vraća se između 58 – 65 % oborine s kopna u atmosferu i uklanja latentnim prijenosom topline između 51 – 58 % površinske energije s kopna (Ok i Kanae, 2006). Promjene u evapotranspiraciji utječu na eroziju, temperaturu i druge klimatske varijable, čime

dolazi do promjena u prostorno-vremenskoj varijaciji dostupnosti vodnih resursa.

Evapotranspiraciju je moguće odrediti neposrednim (eksperimentalnim) i posrednim metodama. Neke od neposrednih metoda određivanja uključuju korištenje raznih uređaja poput evapotranspirometra (lizimetar), atmometra i evaporimetra. Posredne metode obuhvaćaju grafičko i računsko određivanje evapotranspiracije, a jedna od njih je i Thornthwaiteova metoda (Ugarković i sur., 2024). Za učinkovito gospodarenje vodom u poljoprivredi i prilagodbu poljoprivredne proizvodnje na klimatske promjene u RH, neophodno je poznavanje razdoblja kada se javlja višak odnosno manjak vode u tlu u pojedinim regijama, odnosno podregijama Republike Hrvatske.

2. MATERIJALI I METODE

2.1. Poljoprivredne regije i podregije RH

Utjecaj klimatskih promjena na bilancu vode u tlu analiziran je za pojedine regije odnosno podregije RH. Na području RH razlikujemo tri poljoprivredne regije i devet podregija (slika 1).



Slika 1: Poljoprivredne regije i podregije u Hrvatskoj (Izvor: Bašić F., 2014).

Najveća poljoprivredna regija u RH je Panonska regija koja je ujedno i najvažnija upravo zbog svojih pogodnosti za poljoprivrednu proizvodnju, a ističe se i zbog površine od 2.617.430 ha odnosno 46,2 % od ukupne kopnene površine (Bašić, 2014). Dijeli se na istočnu, središnju, zapadnu i sjeverozapadnu podregiju. Istočna panonska podregija smatra se najbogatijim dijelom, zbog tipa tla koji prevladava, a to je černozem, koji radi visoke plodnosti, daje mogućnost uzgoja velikog broja poljoprivrednih kultura (Bašić, 2014). Ova podregija obuhvaća zapadni Srijem, Baranju i dio Slavonije. Središnja panonska podregija proteže se na području zapadne Slavonije, Podravine, Bilogore i središnje Posavine. Tip tla koji prevladava u ovoj podregiji je pseudoglej te na ovom području prevladavaju intenzivni uzgoji oraničnih usjeva, uzgoj povrća, a na povišenim područjima dominira uzgoj voća i vinove loze (Bašić, 2014). Zapadna panonska podregija je najveća podregija u ovoj regiji. Zagorje, varaždinski kraj i Međimurje obuhvaća sjeverozapadna panonska podregija. Karakteristike ovog podneblja pogoduju eroziji, osobito zbog zastupljenosti višegodišnjih nasada – vinograda i voćnjaka u kojima je obrada tla usmjerena

u smjeru nagiba terena, što pogoduje erozivnim procesima (Bašić, 2014).

Gorska poljoprivredna regija se prostire od zaleđa Zrinske i Petrove gore te se nastavlja prema planinskom masivu Male i Velike Kapele, Gorskog kotara, Velebita i Dinare (Bašić, 2014). Obuhvaća dijelove pet županija, Sisačko-moslavačke, Karlovačke, Primorsko-goranske, Ličko-senjske i Šibensko-kninske županije. U gorskoj regiji prevladavaju velike količine oborine, podneblje je surovo, specifično za gorska područja što odgovara perhumidnoj klimi (Bašić, 2014). U šumskim predjelima nalaze se krška polja, koja su ispunjena šljuncima i tvore plodna i duboka humusna tla. Najveća krška polja su Ličko, Gacko, Kravavsko i Ogulinsko polje (Bašić, 2014). U ovoj regiji temeljna proizvodna grana je stočarstvo, točnije ovčarstvo, a što se tiče biljne proizvodnje prevladava uzgoj krme. Od ostalih poljoprivrednih kultura, uzgajaju se još i kukuruz, krumpir, raž, korjenasto povrće i sve vrste kupusnjača (Bašić, 2014).

Jadranska poljoprivredna regija pokriva sredozemni dio Hrvatske od Istre do Dubrovnika, odnosno Konavala na jugozapadu s otocima. Prirodnu geomorfološku i hidrogeološku posebnost ove poljoprivredne regije daje krš. Područje je prekriveno mezozojskim vapnencima i dolomitima, a veliki značaj i rasprostranjenost u cijeloj regiji ima tercijarni fliš koji predstavlja višeslojnu izmjenu tercijarnih lapora i pješčenjaka (Bašić, 2014). Na području jadranske regije prevladava tlo crvenica, na kojem se uzgajaju i uspijevaju sredozemne kulture kao što su maslina, vinova loza, smokva, agrumi, povrtna kultura, trešnje, breskve, lijeske (Bašić, 2014). Poljoprivredna područja smještena su na reljefno ravnim oblicima, uz riječne doline, visoravni i krška polja (Bašić, 2014). Od većih polja bitno je spomenuti Imotsko, Sinjsko i Vrgoračko polje. Što se tiče poljoprivrednih i gospodarskih cjelina, u Jadranskoj regiji važni su Čepić polje i dolina rijeke Mirne u Istri, Vranski bazen uz jezero i dolina rijeke Neretve u Dalmaciji (Bašić, 2014).

2.2. Klimatološki pokazatelji

Proračun bilance vode u tlu napravljen je temeljem klimatoloških podataka prikupljenih na 9 glavnih meteoroloških postaja (tablica 1) iz redovne mreže meteoroloških postaja Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ). Svaka analizirana meteorološka postaja predstavlja jednu poljoprivrednu podregiju RH, a u tablici 1. navedeni su podaci o njihovoj zemljopisnoj dužini i širini, nadmorskoj visini i poljoprivrednoj podregiji koju predstavljaju.

2.3. Proračun bilance vode u tlu i analiza podataka

Evapotranspiracija je važan dio hidrološkog ciklusa vode, kao i važna komponenta u određivanju sušnog razdoblja i planiranju navodnjavanja te odvodnji suvišnih voda. U ovome radu za potrebe određivanja bilance vode u tlu korištena je Thornthwaiteova metoda (1948). Kako bi se izračunala potencijalna evapotranspiracija metodom po Thornthwaitu potrebno je prvo izračunati mjesečni toplinski indeks (i):

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514}$$

Pri čemu je:

t – srednja mjesečna temperatura zraka

Godišnji toplinski indeks (I) se računa kao suma mjesečnih toplinskih indeksa:

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

Potencijalna evapotranspiracija (PET) se računa za svaki mjesec smatrajući da mjesec ima 30 dana i da je teoretska dužina trajanja dnevnog osvijetljenja 12 sati:

Tablica 1: Popis meteoroloških postaja

regija	podregija	Meteorološka postaja	dužina	širina	m n.v.
Panonska	istočna	Osijek	45° 30' 8"	18° 33' 42"	89
	središnja	Sl. Brod	45° 9' 33"	17° 59' 44"	88
	zapadna	Križevci	46° 1' 44"	16° 33' 13"	157
	sjeverozapadna	Varaždin	46° 16' 58"	16° 21' 50"	167
Gorska	predplaninska	Karlovac	45° 29' 37"	15° 33' 54"	110
	planinska	Gospić	44° 33' 2"	15° 22' 23"	564
Jadranska	sjeverna	Pazin	45° 14' 27"	13° 56' 43"	291
	srednja	Knin	44° 2' 27"	16° 12' 25"	255
	južna	Hvar	43° 10' 15"	16° 26' 14"	20

$$PET = 16 \left(\frac{10t}{l} \right)^\alpha$$

Pri čemu je:

PET – potencijalna evapotranspiracija
t – srednja mjesečna temperatura zraka

$$\alpha = 675 \cdot 10^{-9} \cdot I^3 - 771 \cdot 10^{-7} \cdot I^2 + 1792 \cdot 10^{-5} \cdot I + 0.49239$$

Dobivene vrijednosti se tada korigiraju prema stvarnoj dužini trajanja mjeseca i teoretskom trajanju dnevnog osvjetljenja sukladno zemljopisnoj širini:

$$PET_{cor} = PET \cdot \frac{N}{12} \cdot \frac{D}{30}$$

Pri čemu je:

PET – potencijalna korigirana evapotranspiracija
PET – potencijalna evapotranspiracija
N – teoretsko trajanje dnevnog osvjetljenja za svaki mjesec
D – broj dana u mjesecu

Nakon provedenog proračuna evapotranspiracije metodom po Thornthwaiteu i utvrđivanja vodnog režima tla za 9 postaja iz različitih poljoprivrednih podregija, provedena je analiza podataka. Analiza podataka obuhvaća usporedbu potencijalne i stvarne evapotranspiracije te manjka i viška vode u tlu za dva različita klimatološka razdoblja: referentno razdoblje 1961. – 1990. kao predstavnika klime prošlog stoljeća i suvremenog razdoblja 1991. – 2020. kao predstavnika klime ovog stoljeća, s ciljem utvrđivanja do kakvih promjena je došlo tijekom istraživanog razdoblja.

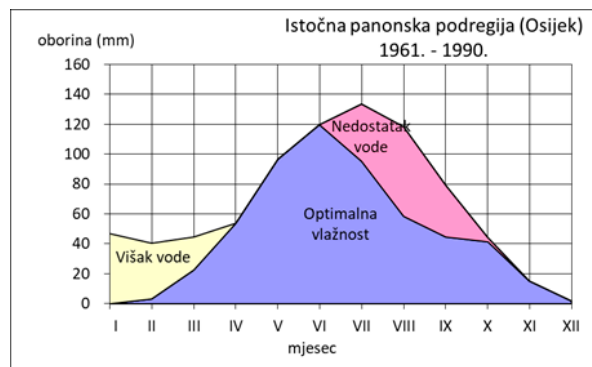
3. REZULTATI

3.1. Bilance vode po poljoprivrednim podregijama

U narednim potpoglavljima analizirana je bilanca vode istraživanih razdoblja po poljoprivrednim podregijama.

3.1.1. Istočna panonska podregija - Osijek

U razdoblju 1961. – 1990. na području Osijeka ukupna prosječna godišnja stvarna evapotranspiracija



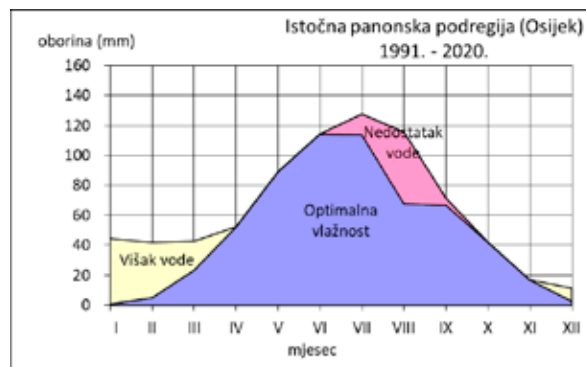
Slika 2: Bilanca vode u tlu na području istočne panonske podregije tijekom razdoblja 1961. – 1990.

iznosi 552,1 mm. Počevši od 2. mjeseca, kada je bila na razini od 3,3 mm, stvarna evapotranspiracija povećava se sve do 6. mjeseca kada dostiže razinu od 119,6 mm nakon čega se počinje smanjivati i u 12. mjesecu iznosi 1,6 mm. Ukupni prosječni godišnji manjak vode na području Osijeka iznosi 135 mm. Manjak vode se počinje javljati u 7. mjesecu u iznosu od 38,3 mm, u 8. mjesecu se javlja najveći nedostatak vode (59,6 mm) te se u 9. mjesecu manjak vode smanjuje na 34,5 mm, a u 10. mjesecu je najmanji te iznosi 2,6 mm. Ukupni prosječni godišnji višak vode na području Osijeka u navedenom razdoblju iznosi 106,2 mm. Višak vode je najizraženiji u 1. mjesecu (46,9 mm) te se u naredna dva mjeseca smanjuje i redom iznosi 36,9 mm i 22,4 mm (slika 2).

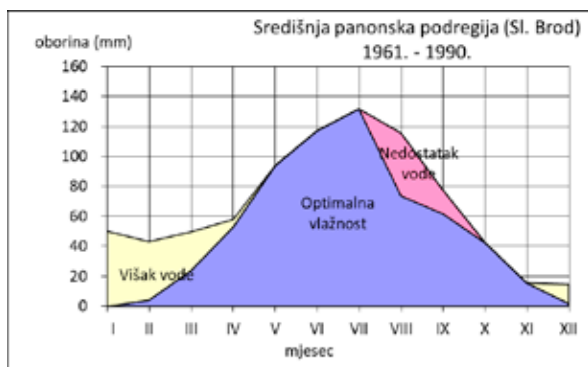
U razdoblju 1991. – 2020. na području Osijeka ukupna prosječna godišnja stvarna evapotranspiracija iznosi 594,1 mm. U ovom razdoblju, stvarna evapotranspiracija u 1. mjesecu iznosi 0,9 mm te se povećava sve do 6. mjeseca, kada dostiže razinu od 114,5 mm nakon čega se smanjuje, te u 12. mjesecu iznosi 2,8 mm. Ukupni prosječni godišnji manjak vode na području Osijeka iznosi 66 mm. Manjak vode počinje se javljati u 7. mjesecu u iznosu od 13,7 mm, u 8. mjesecu se povećava na 47,8 mm te se u 9. mjesecu smanjuje na razinu od 4,7 mm. Ukupni prosječni godišnji višak vode za područje Osijeka u navedenom razdoblju iznosi 108,2 mm. Višak vode je najizraženiji u 1. mjesecu (43,6 mm) te se u naredna dva mjeseca smanjuje na 36,8 mm tj. na 19,2 mm. Višak vode se također pojavljuje u 12. mjesecu u iznosu od 8,5 mm (slika 3).

3.1.2. Središnja panonska podregija - Slavonski Brod

Tijekom prošlog razdoblja za područje Slavonskog Broda ukupna prosječna godišnja stvarna evapotranspiracija iznosi 617,0 mm. Počevši od 2. mjeseca kada je na razini od 3,9 mm, stvarna evapotranspiracija raste sve do 7. mjeseca kada iznosi 131,4 mm nakon čega se smanjuje, te je u 12. mjesecu na razini od 1,6 mm. Ukupni prosječni godišnji manjak vode za područje Slavonskog Broda iznosi 58,0 mm. Manjak vode se javlja u 8. mjesecu u iznosu od 41,9 mm i u 9. mjesecu u iznosu od 15,7 mm. Ukupni prosječni godišnji višak vode za područje Slavonskog Broda u



Slika 3: Bilanca vode u tlu na području istočne panonske podregije tijekom razdoblja 1991. – 2020.



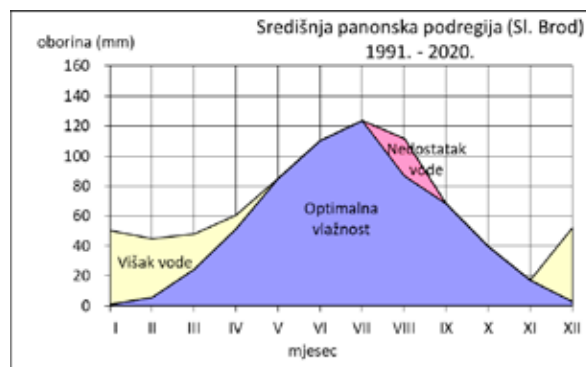
Slika 4: Bilanca vode u tlu na području središnje panonske podregije tijekom razdoblja 1961. – 1990.

navedenom razdoblju iznosi 132,8 mm. Višak vode je najizraženiji u 1. mjesecu (50 mm) te se u naredna tri mjeseca redom smanjuje na 39,2 mm, 25,5 mm i 5,0 mm. Višak vode je također zabilježen u 12. mjesecu u iznosu od 13,1 mm (slika 4).

U razdoblju 1991. – 2020. za područje Slavanskog Broda ukupna prosječna godišnja stvarna evapotranspiracija iznosi 616,4 mm. Stvarna evapotranspiracija je kao i kod prethodno analiziranog razdoblja najmanja u 1. mjesecu (1,1 mm) te raste sve do 7. mjeseca, kada doseže razinu od 123,6 mm, nakon čega se smanjuje te u 12. mjesecu iznosi 2,9 mm. Manjak vode je zabilježen samo za 8. mjesecu te iznosi 25 mm. Ukupni prosječni godišnji višak vode na području Slavanskog Broda u navedenom razdoblju iznosi 170,4 mm. Višak vode je najizraženiji u 12. mjesecu (49,5 mm) dok je u prvom mjesecu neznatno manji (49,2 mm). Od 2. mjeseca višak vode se smanjuje do travnja, a iznosi redom 39,1 mm, 23,5 i 9,2 mm (slika 5).

3.1.3. Zapadna panonska podregija - Križevci

Na području Križevaca tijekom razdoblja 1961. – 1990. prosječna godišnja stvarna evapotranspiracija iznosi 629,8 mm. Stvarna evapotranspiracija je u 2. mjesecu na razini od 3,7 mm, te raste sve do 7. mjeseca kada je najviša i iznosi 126,5 mm, nakon čega se smanjuje i u 12. mjesecu iznosi 0,7 mm. Ukupni prosječni godišnji manjak vode na području Križevaca iznosi 21 mm. Manjak vode se javlja u 8. i 9. mjesecu kada iznosi redom 16,6 mm i 4,3 mm. Ukupni prosječni



Slika 5: Bilanca vode u tlu na području središnje panonske podregije tijekom razdoblja 1991. – 2020.

godišnji višak vode na području Križevaca u navedenom razdoblju iznosi 157,9 mm. Najveći višak vode bilježi se redom u 1. mjesecu (42,6 mm), 12. mjesecu (39,9 mm), 2. mjesecu (37,1 mm), 3. mjesecu (28,0 mm) i 4. mjesecu (10,3 mm) (slika 6).

U razdoblju 1991. – 2020. na području Križevaca ukupna prosječna godišnja stvarna evapotranspiracija iznosi 605,7 mm. Stvarna evapotranspiracija je kao i kod prethodno analiziranog razdoblja u 1. mjesecu najniža (1,3 mm) te raste sve do 7. mjeseca kada dostiže razinu od 117,3 mm, nakon čega se smanjuje te je u 12. mjesecu najniža i iznosi 2,6 mm. Ukupni prosječni godišnji manjak vode na području Križevaca iznosi 12 mm. Manjak vode se javlja samo u 8. mjesecu te iznosi 11,7 mm. Ukupni prosječni godišnji višak vode za područje Križevaca u navedenom razdoblju iznosi 201,5 mm. Višak vode je najveći u 12. mjesecu (61,8 mm), a slijede ga redom 1. mjesec (41,1 mm), 2. mjesec (41 mm), 11. mjesec (33,2 mm), 3. mjesec (22,7 mm) te 4. mjesec (1,6 mm) (slika 7).

3.1.4. Sjeverozapadna panonska podregija - Varaždin

U razdoblju 1961. – 1990. na području Varaždina ukupna prosječna godišnja stvarna evapotranspiracija iznosi 656,3 mm. Počevši od drugog mjeseca kada je na razini od 3,4 mm, stvarna evapotranspiracija raste sve do 7. mjeseca kada iznosi 127,7 mm, nakon čega se smanjuje te u 12. mjesecu iznosi 0,9 mm. Prosječan godišnji manjak vode na području Varaždina u ovom razdoblju se ne javlja. Ukupni prosječni godišnji višak



Slika 6: Bilanca vode u tlu na području zapadne panonske podregije tijekom razdoblja 1961. – 1990.



Slika 7: Bilanca vode u tlu na području zapadne panonske podregije tijekom razdoblja 1991. – 2020.



Slika 8: Bilanca vode u tlu na području sjeverozapadne panonske podregije tijekom razdoblja 1961. – 1990.

vode na području Varaždina u navedenom razdoblju iznosi 222,9 mm. Višak vode je najveći u 12. mjesecu (57,0 mm), te se smanjuje redom: 1. mjesec (45 mm), 2. mjesec (42,0 mm), 3. mjesec (32,6 mm), 11. mjesec (27,5 mm) i 4. mjesec (18,9 mm) (slika 8).

U razdoblju od 1991. – 2020. za područje Varaždina ukupna prosječna godišnja stvarna evapotranspiracija iznosi 625,9 mm. Stvarna evapotranspiracija je u 1. mjesecu najmanja, na razini od 1,5 mm te raste sve do 7. mjeseca, kada dostiže razinu od 119,4 mm, nakon čega se smanjuje te je u 12. mjesecu na razini od 2,9 mm. U razdoblju od 1991. – 2020. za područje Varaždina nije zabilježen prosječni godišnji manjak vode. Ukupni prosječni godišnji višak vode za područje Varaždina iznosi 242,3 mm. Višak vode se javlja tijekom prva četiri mjeseca u godini u iznosu od 113,9 mm i tijekom posljednja tri mjeseca u godini u iznosu od 128,4 mm. (slika 9).

3.1.5. Predplaninska gorska podregija - Karlovac

Ukupna prosječna godišnja stvarna evapotranspiracija za područje Karlovca u razdoblju 1961. – 1990. iznosi 683,7 mm. Počevši od 2. mjeseca kada je na razini od 5,2 mm, stvarna evapotranspiracija postupno raste sve do 7. mjeseca kada dostiže razinu od 134,2 mm nakon čega se smanjuje i u 12. mjesecu iznosi 1,6 mm. Godišnji manjak vode na području Karlovca u ovom razdoblju se ne javlja. Ukupni prosječni godišnji višak vode za područje Karlovca u navedenom razdoblju iznosi 410,5 mm. Višak vode je najveći u



Slika 10: Bilanca vode u tlu na području predplaninske gorske podregije tijekom razdoblja 1961. – 1990.



Slika 9: Bilanca vode u tlu na području sjeverozapadne panonske podregije tijekom razdoblja 1991. – 2020.

11. mjesecu (100,5 mm) potom se smanjuje redom: 12. mjesec (83,5 mm), 1. mjesec (69,2 mm), 2. mjesec (60,5 mm), 3. mjesec (59,9 mm), 4. mjesec (35,6 mm), a najmanji je u 5. mjesecu (1,3 mm) (slika 10).

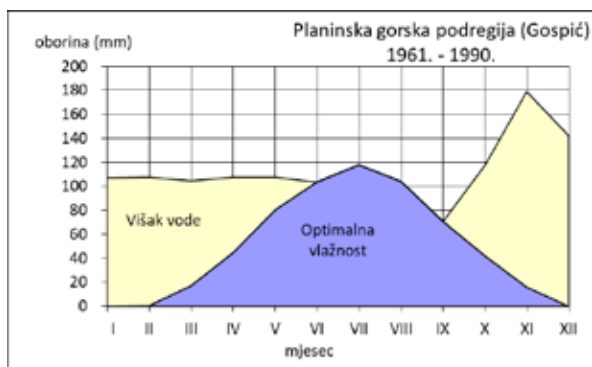
U razdoblju 1991. – 2020. za područje Karlovca ukupna prosječna godišnja stvarna evapotranspiracija iznosi 670,3 mm. Stvarna evapotranspiracija je u 1. mjesecu na razini od 1,4 mm te postepeno raste sve do 7. mjeseca, kada dostiže razinu od 131,3 mm nakon čega počinje padati, te je u 12. mjesecu na razini od 2,6 mm. U razdoblju 1991. – 2020. za područje Karlovca nije razdoblju iznosi 457,5 mm. Višak vode je najveći redom: u 11. mjesecu (95,0 mm), u 12. mjesecu (85,3 mm), 1. mjesecu (69,8 mm), 2. mjesecu (67,6 mm), 3. mjesecu (39,3 mm), 4. mjesecu (35,8 mm), 5. mjesecu (12,5 mm) (slika 11).

3.1.6. Planinska gorska podregija - Gospić

U razdoblju 1961. – 1990. ukupna prosječna godišnja stvarna evapotranspiracija na području Gospića iznosi 596,6 mm. Počevši od 2. mjeseca kada je na razini od 0,6 mm, stvarna evapotranspiracija raste sve do 7. mjeseca kada doseže razinu od 118,1 mm, nakon čega počinje padati, što se nastavlja i u 11. mjesecu kada iznosi 15,8 mm te se i dalje postupno smanjuje do 12. mjeseca. Godišnji manjak vode se kao i na području Karlovca ne javlja. Ukupni prosječni godišnji višak vode za područje Gospića u navedenom razdoblju te krajem godine od listopada do prosinca, a najizraženiji je u 11. mjesecu (163,3 mm) (slika 12).



Slika 11: Bilanca vode u tlu na području predplaninske gorske podregije tijekom razdoblja 1991. – 2020.



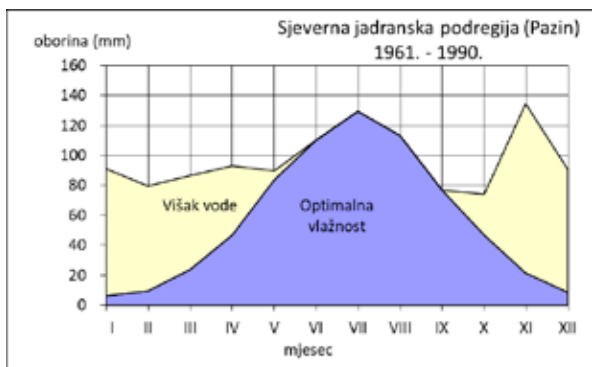
Slika 12: Bilanca vode u tlu na području planinske gorske podregije tijekom razdoblja 1961. – 1990.

U razdoblju 1991. – 2020. za područje Gospića ukupna prosječna godišnja stvarna evapotranspiracija iznosi 567,6 mm. Stvarna evapotranspiracija je u 2. mjesecu na razini od 3,1 mm te postepeno raste sve do 7. mjeseca, kada doseže razinu od 110,1 mm, nakon čega se smanjuje te u 12. mjesecu iznosi 1,9 mm. Manjak vode se na području Gospića u navedenom razdoblju ne javlja. Ukupni prosječni godišnji višak vode za područje Gospića u navedenom razdoblju iznosi 824,4 mm, a javlja se u svim mjesecima osim u razdoblju lipanj – kolovoz, a najizraženiji je u 11. mjesecu (178,3 mm) (slika 13).

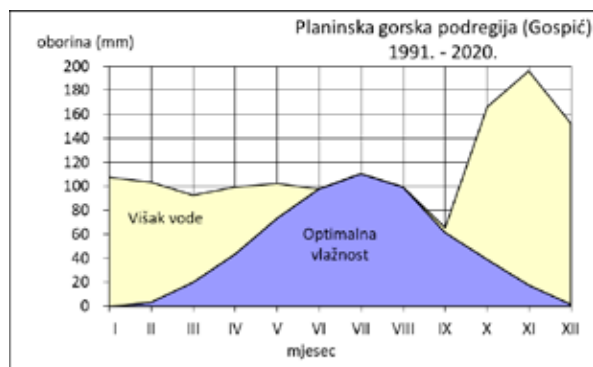
3.1.7. Sjeverna jadranska podregija - Pazin

Za područje Pazina u razdoblju 1961. – 1990. ukupna prosječna godišnja stvarna evapotranspiracija iznosi 676,7 mm. Tijekom godine, stvarna evapotranspiracija raste sve do 7. mjeseca kada doseže razinu od 129,3 mm, nakon čega se smanjuje te u 12. mjesecu iznosi 8,8 mm. Ukupni prosječni godišnji manjak vode za područje Pazina u navedenom razdoblju nije zabilježen. Ukupni prosječni godišnji višak vode za područje Pazina u navedenom razdoblju iznosi 491,1 mm. Višak vode javlja se u svim mjesecima osim u razdoblju lipanj – rujan, a najviši je u 11. mjesecu (112,7 mm) (slika 14).

U razdoblju 1991. – 2020. ukupna prosječna godišnja stvarna evapotranspiracija za područje Pazina iznosi 648,3 mm. Stvarna evapotranspiracija je u 1. mjesecu na razini od 7,5 mm te raste sve do 7. mjeseca, kada doseže maksimalnu razinu od 122,8 mm te se potom počinje



Slika 14: Bilanca vode u tlu na području sjeverne jadranske podregije tijekom razdoblja 1961. – 1990.



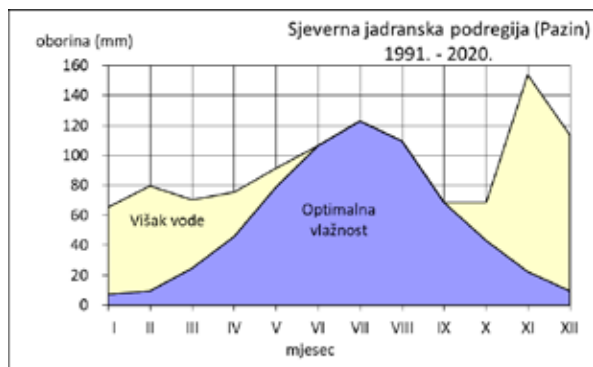
Slika 13: Bilanca vode u tlu na području planinske gorske podregije tijekom razdoblja 1991. – 2020.

smanjivati i u 12. mjesecu je na razini od 9,5 mm. U razdoblju 1991. – 2020. za područje Pazina manjak vode se ne javlja. Ukupni prosječni godišnji višak vode za područje Pazina u navedenom razdoblju iznosi 476,9 mm. Višak vode je najizraženiji u 11. mjesecu (131,3 mm), a javlja se tijekom razdoblja siječanj – svibanj te listopad – prosinac (slika 15).

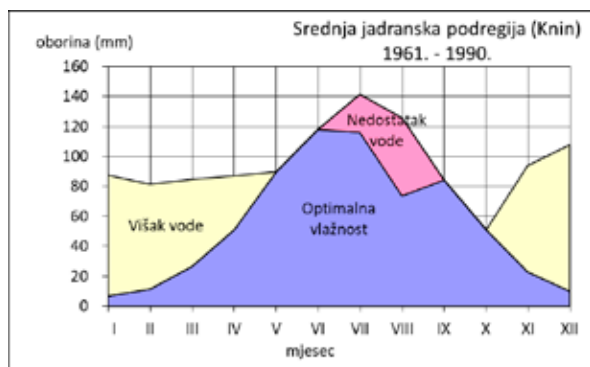
3.1.8. Srednja jadranska podregija - Knin

Za područje Knina u razdoblju 1961. – 1990. ukupna prosječna godišnja stvarna evapotranspiracija iznosi 661,4 mm. Stvarna evapotranspiracija postupno raste sve do 6. mjeseca kada doseže maksimalnu razinu od 118,0 mm nakon čega se počinje smanjivati, a u 12. mjesecu je na razini od 9,9 mm. Ukupni prosječni godišnji manjak vode za područje Knina iznosi 78,0 mm, a javlja se tijekom 7. mjeseca kada iznosi 25,5 mm i tijekom 8. mjeseca kada iznosi 52,1 mm. Ukupni prosječni godišnji višak vode za područje Knina u navedenom razdoblju iznosi 412,6 mm i najizraženiji je u 12. mjesecu (97,9 mm) (slika 16).

U razdoblju 1991. – 2020. za područje Knina ukupna prosječna godišnja stvarna evapotranspiracija iznosi 626,4 mm. Stvarna evapotranspiracija u 6. mjesecu doseže najvišu razinu od 115,8 mm, nakon čega pada te je u 12. mjesecu na razini od 10,1 mm. Ukupni prosječni godišnji manjak vode za područje Knina u navedenom razdoblju iznosi 88,0 mm. Manjak vode se uočava u 7. mjesecu kada iznosi 28,8 mm i u 8. mjesecu u iznosu od 58,9 mm. Ukupni prosječni godišnji višak vode za



Slika 15: Bilanca vode u tlu na području sjeverne jadranske podregije tijekom razdoblja 1991. – 2020.



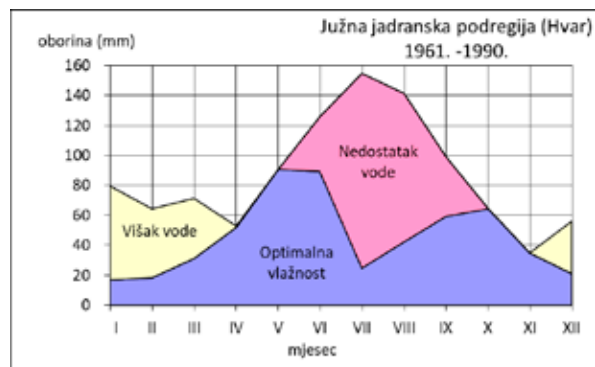
Slika 16: Bilanca vode u tlu na području srednje jadranske podregije tijekom razdoblja 1961. – 1990.

područje Knina u navedenom razdoblju iznosi 431,9 mm. Višak vode je najizraženiji u 12. mjesecu (103 mm), a ne javlja se tijekom razdoblja lipanj – listopad (slika 17).

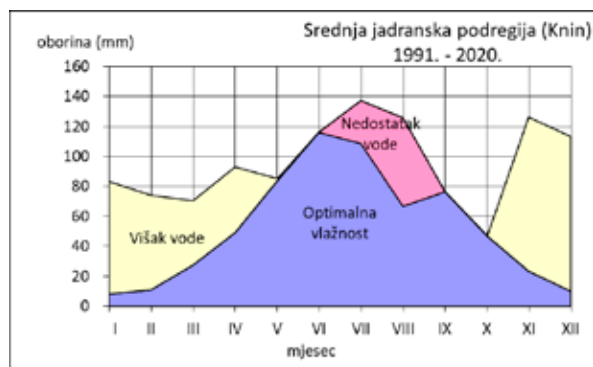
3.1.9. Južna jadranska podregija - Hvar

U razdoblju 1961. – 1990. za područje Hvara ukupna prosječna godišnja stvarna evapotranspiracija iznosi 545,7 mm. Stvarna evapotranspiracija raste sve do 5. mjeseca kada doseže maksimalnu razinu od 90,7 mm, nakon čega se počinje postupno smanjivati te je u 12. mjesecu na razini od 20,9 mm. Ukupni prosječni godišnji manjak vode za područje Hvara iznosi 304,0 mm i javlja se tijekom razdoblja lipanj - rujn. Manjak vode u 6. mjesecu iznosi 36,3 mm, a u 7. mjesecu raste na 130,0 mm, dok tijekom 8. mjeseca iznosi 98,8 mm, a tijekom 9. mjeseca 39,3 mm. Ukupni prosječni godišnji višak vode za područje Hvara u navedenom razdoblju iznosi 184,6 mm. Višak vode se javlja tijekom razdoblja siječanj – travanj i u prosincu (slika 18).

U razdoblju 1991. – 2020. (slika 19) za područje Hvara ukupna prosječna godišnja stvarna evapotranspiracija iznosi 546,1 mm. Stvarna evapotranspiracija raste sve do 6. mjeseca, kada doseže najvišu razinu od 101,8 mm. Ukupni prosječni godišnji manjak vode za područje Hvara u navedenom razdoblju je 274,0 mm i javlja se tijekom razdoblja lipanj – rujn, a najveći je u 7. mjesecu kada iznosi 126,7 mm. Ukupni prosječni godišnji višak vode za područje Hvara u navedenom razdoblju iznosi 204,1 mm i najizraženiji je u 12. mjesecu (79,6 mm).



Slika 18: Bilanca vode u tlu na području južne jadranske podregije tijekom razdoblja 1961. – 1990.



Slika 17: Bilanca vode u tlu na području srednje jadranske podregije tijekom razdoblja 1991. – 2020.

3.2. Promjene u bilanci vode po poljoprivrednim regijama

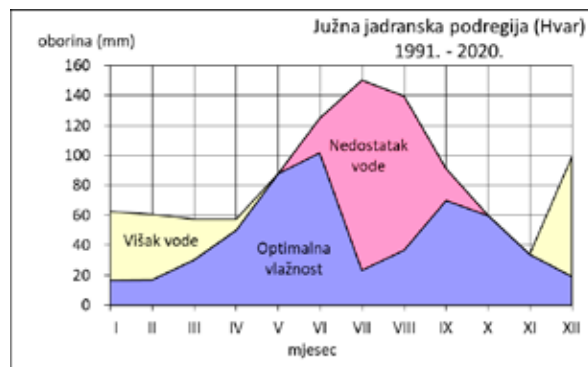
U narednim potpoglavljima analizirane su promjene u bilanci vode između istraživanih razdoblja po poljoprivrednim regijama.

3.2.1. Panonska regija

Tijekom razdoblja 1961. – 1990. na području Panonske regije ukupna prosječna godišnja stvarna evapotranspiracija iznosi 622,6 mm, rezerva vode u tlu 723,5 mm, godišnji višak vode 144,2 mm, a ukupni godišnji manjak vode iznosi 47,0 mm koji je zabilježen u razdoblju kolovoz – rujn (tablica 2). Tijekom razdoblja 1991. – 2020. na području Panonske regije ukupna prosječna godišnja stvarna evapotranspiracija iznosi 619,4 mm, rezerva vode u tlu 845,7 mm, godišnji višak vode 171,7 mm, a ukupni godišnji manjak vode iznosi 18,0 mm, koji se javlja tijekom kolovoza (tablica 2).

3.2.2. Gorska regija

Na području Gorske regije tijekom razdoblja 1961. – 1990. ukupna prosječna godišnja stvarna evapotranspiracija iznosi 639,7 mm, rezerva vode u tlu 1022,2 mm, godišnji višak vode 591,8 mm, a manjak vode se ne pojavljuje (tablica 3.). Tijekom razdoblja 1961. – 1990. na području Gorske regije ukupna prosječna godišnja stvarna evapotranspiracija iznosi 617,1 mm, rezerva vode u tlu 1029,1 mm, godišnji višak vode 642,8 mm, a manjak vode se ne pojavljuje (tablica 3.).



Slika 19: Bilanca vode u tlu na području južne jadranske podregije tijekom razdoblja 1991. – 2020.

Tablica 2: Bilanca vode u tlu za Panonsku regiju tijekom istraživanih razdoblja

1961. – 1990.													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	SUMA
R	100,0	100,0	100,0	100,0	81,6	55,1	4,2	0,0	0,0	13,7	68,9	100,0	723,5
SE	0,0	3,6	22,9	52,3	93,0	117,3	130,2	79,9	64,4	42,4	15,3	1,2	622,6
M	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,6	12,0	0,0	0,0	0,0	47
V	46,1	38,8	27,1	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,6	144,2
1991. – 2020.													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	SUMA
R	100,0	100,0	100,0	100,0	90,2	62,6	18,9	0,0	19,6	54,4	100,0	100,0	845,7
SE	1,2	5,6	24,1	51,0	85,4	111,0	122,3	91,6	67,7	39,9	17,0	2,8	619,4
M	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,5	0,0	0,0	0,0	0,0	18
V	43,0	39,8	22,5	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	56,0	171,7

R – rezerva vode u tlu, SE – stvarna evapotranspiracija, M – manjak vode, V – višak vode

Tablica 3: Bilanca vode u tlu za Gorsku regiju tijekom istraživanih razdoblja

1961. – 1990.													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	SUMA
R	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	85,4	39,9	31,7	65,2	100,0	100,0	100,0	1022,2
SE	0,0	3,3	21,3	48,8	86,5	110,0	126,1	110,5	74,2	42,7	15,9	0,4	639,7
M	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
V	88,1	83,5	73,1	49,3	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,1	133,5	113,1	591,8
1991. – 2020.													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	SUMA
R	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	82,7	37,9	14,1	94,3	100,0	100,0	100,0	1029,1
SE	0,8	4,4	22,4	47,7	81,3	107,1	120,4	107,8	65,8	39,8	17,4	2,3	617,1
M	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
V	88,6	83,7	55,8	46,1	20,9	0,0	0,0	0,0	0,0	93,1	136,7	117,8	642,8

R – rezerva vode u tlu, SE – stvarna evapotranspiracija, M – manjak vode, V – višak vode

Tablica 4: Bilanca vode u tlu za Jadransku regiju tijekom istraživanih razdoblja

1961. – 1990.													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	SUMA
R	100,0	100,0	100,0	100,0	85,7	43,8	0,0	0,0	4,0	50,8	100,0	100,0	784,2
SE	10,4	13,5	27,3	50,1	87,6	117,3	91,5	75,0	85,4	53,8	26,4	13,3	651,7
M	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	48,8	49,7	0,0	0,0	0,0	0,0	98
V	75,6	61,6	53,5	27,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,8	83,0	339,1
1991 – 2020.													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	SUMA
R	100,0	100,0	100,0	100,0	92,3	48,0	0,0	0,0	21,7	72,0	100,0	100,0	833,9
SE	10,9	12,8	27,7	48,4	82,9	114,8	91,2	63,4	77,4	49,5	26,3	13,1	618,3
M	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	43,9	59,3	0,0	0,0	0,0	0,0	103
V	59,5	58,8	38,5	26,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	79,2	96,7	359,5

R – rezerva vode u tlu, SE – stvarna evapotranspiracija, M – manjak vode, V – višak vode

3.2.3. Jadranska regija

Tijekom razdoblja 1961. – 1990. na području Jadranske regije ukupna prosječna godišnja stvarna evapotranspiracija iznosi 651,7 mm, rezerva vode u tlu 784,2 mm, godišnji višak vode 339,1 mm, a ukupni godišnji manjak vode koji se javlja tijekom srpnja i kolovoza iznosi 98,0 mm (tablica 4.).

4. RASPRAVA

Promatrajući promjene u stvarnoj evapotranspiraciji na godišnjoj razini između promatranih razdoblja po poljoprivrednim podregijama, vidljivo je da se stvarna evapotranspiracija u novijem razdoblju povećala na području istočne panonske i južne jadranske podregije, dok se u ostalim podregijama stvarna evapotranspiracija

Tablica 5: Godišnje promjene u bilanci vode u tlu prema poljoprivrednim podregijama

1961. – 1990.									
	Osijek	Sl. Brod	Križevci	Varaždin	Karlovac	Gospić	Pazin	Knin	Hvar
R	626,7	696,0	788,8	926,0	998,2	1039,2	1010,5	855,4	632,4
SE	552,1	617,0	629,8	656,3	683,7	596,6	676,7	661,4	545,7
M	135	58	21	0	0	0	0	78	304
V	106,2	132,8	157,9	222,9	410,5	772,2	491,1	412,6	184,6
1991. – 2020.									
	Osijek	Sl. Brod	Križevci	Varaždin	Karlovac	Gospić	Pazin	Knin	Hvar
R	708,0	831,7	876,1	1017,7	1027,3	1018,7	962,1	885,7	678,3
SE	594,1	616,4	605,7	625,9	670,3	567,6	648,3	626,4	546,1
M	66	25	12	0	0	0	0	88	274
V	108,2	170,4	201,5	242,3	457,5	824,4	476,9	431,9	204,1

smanjila u odnosu na prethodno klimatološko razdoblje. Rezerva vode u tlu se povećala tijekom razdoblja 1991. – 2020. na području svih podregija panonske regije, predplaninske gorske podregije te srednje i južne jadranske podregije u odnosu na razdoblje 1961. – 1990. Manjak vode se smanjio na području istočne, središnje i zapadne panonske podregije te južne jadranske podregije; na području srednje jadranske podregije se povećao dok je u ostalim podregijama ostao nepromijenjen u suvremenom razdoblju u odnosu na prethodno razdoblje. Na području svih podregija osim sjeverne jadranske podregije zabilježeno je povećanje viška vode u suvremenom razdoblju u odnosu na prethodno klimatološko razdoblje.

Pregledom literature o analizi evapotranspiracije na području RH, prema Ferini (2014) za razdoblje 1981. – 2008., najviša evapotranspiracija utvrđena je u Jadranskoj regiji, nešto niža u Panonskoj, a najmanja u Gorskoj Hrvatskoj. Uspoređujući literaturne podatke s podacima dobivenim u ovome radu za srednje vrijednosti evapotranspiracije na razini poljoprivrednih regija, može se zaključiti da je isto utvrđeno i u ovome radu za referentno razdoblje 1961. – 1990. u kojem Jadranska regija ima najveću stvarnu evapotranspiraciju, dok je najviša stvarna evapotranspiracija u novijem razdoblju 1991. – 2020. utvrđena za Panonsku regiju (tablica 5.).

Rezultati provedene analize za područje Panonske regije pokazali su da su se u suvremenom razdoblju 1991. – 2020. stvarna evapotranspiracija i manjak vode u tlu redom smanjili za 3,2 mm odnosno 29 mm, dok su se rezerva vode u tlu i višak vode povećali za redom 122,2 mm odnosno 27,5 mm u odnosu na prethodno klimatološko razdoblje (tablica 6.).

Provedenom analizom za Gorsku regiju utvrđeno je da se u suvremenom razdoblju 1991. – 2020. stvarna evapotranspiracija smanjila za 22,6 mm, dok su se rezerva vode u tlu i višak vode povećali redom za 6,9 mm, odnosno 51,0 mm u odnosu na prošlo promatrano razdoblje (tablica 5.).

Tablica 6: Godišnje promjene u bilanci vode u tlu prema poljoprivrednim regijama

1961. – 1990.			
	Panonska	Gorska	Jadranska
R	723,5	1022,2	784,2
SE	622,6	639,7	651,7
M	47	0	98
V	144,2	591,8	339,1
1991. – 2020.			
	Panonska	Gorska	Jadranska
R	845,7	1029,1	833,9
SE	619,4	617,1	618,3
M	18	0	103
V	171,7	642,8	359,5

Na području Jadranske regije u suvremenom se razdoblju stvarna evapotranspiracija smanjila za 33,4 mm, dok su se rezerva vode u tlu te višak i manjak vode povećali redom 49,7 mm, 20,4 mm i 5,0 mm u odnosu na prethodno klimatološko razdoblje (tablica 5.).

Prethodnim istraživanjima utvrđeno je da je promjena u evapotranspiraciji uglavnom određena klimatskim promjenama, promjenama u načinu korištenja zemljišta i povišenom koncentracijom ugljikovog dioksida (CO₂) u atmosferi (Piao i sur., 2007; Shi i sur., 2011).

Klimatske promjene smatraju se primarnim čimbenikom koji kontrolira promjene u hidrološkom ciklusu (Yang i sur., 2014). Glavni pokretači promjena su količina oborine i potencijalna evapotranspiracija, koji utječu na dostupnu vodu, odnosno dostupnu energiju (Troch i sur., 2013). Značajne promjene u količini oborina i potencijalnoj evapotranspiraciji utvrđene su u mnogim regijama diljem svijeta, a to se posebno odnosi na potencijalnu evapotranspiraciju tijekom posljednjih

polu stoljeća (Pan i sur., 2021). Promjene u načinu korištenja zemljišta, poput povećanja ili smanjenja obradivih i šumskih površina, utječu na vegetacijski prihvati i skladištenje oborine, albedo površine, svojstva tla te transpiraciju biljaka, što može dovesti do promjena u evapotranspiraciji. Ovi se čimbenici ne mogu kvantitativno odvojiti zbog svoje vrlo složene interakcije. Povišena koncentracija CO₂ u atmosferi može utjecati i na povećanje i na smanjenje evapotranspiracije. S jedne strane povišena koncentracija CO₂ u atmosferi smanjuje stomatalnu vodljivost, što rezultira nižom transpiracijom vode kroz lišće, tj. povećava se učinkovitost korištenja vode, a smanjuje se evapotranspiracija (Lemordant i sur., 2018). S druge strane, lisna površina vegetacije može se povećati s porastom koncentracije CO₂, što naposljetku dovodi do veće evapotranspiracije (Zeng i sur., 2018). Pregledom literature utvrđene su oprečne promjene, odnosno i smanjenje i povećanje evapotranspiracije uzrokovano povišenim koncentracijama CO₂ u različitim regijama svijeta (Cheng i sur., 2017; Gedney i sur., 2006).

5. ZAKLJUČAK

Usporedbom evapotranspiracije između razdoblja 1961. – 1990. i 1991. – 2020. (tablica 6) utvrđeno je da je došlo do promjena u vodnom režimu tla. Stvarna se evapotranspiracija u suvremenom razdoblju smanjila u sve tri poljoprivredne regije u odnosu na prethodno referentno razdoblje. Dok se u Gorskoj regiji nedostatak vode u tlu ne pojavljuje, u Panonskoj se regiji on smanjio, a u Jadranskoj regiji povećao u suvremenom razdoblju u odnosu na prethodno klimatološko razdoblje. Rezerva vode u tlu, baš kao i višak vode, u suvremenom su se razdoblju povećali u sve tri poljoprivredne regije. S obzirom na utvrđene promjene u vodnom režimu tla, i očekivanja da će u budućnosti utjecaj klimatskih promjena biti još izraženiji, neophodno je osigurati akumulacijske kapacitete za navodnjavanje i sustave za odvodnju suvišnih voda na poljoprivrednim površinama Republike Hrvatske.

Također, važno je napomenuti da konvencionalni pokazatelji agroklimatskih obilježja, koji za ulazne podatke uzimaju prosjek mjesečne količine oborine i prosječne mjesečne temperature zraka, nisu dostatni za pouzdanu ocjenu opskrbljenosti usjeva vodom. Oni ne daju uvid u intenzitet pojedinačnih oborina koji određuje mogućnost infiltracije vode u tlo, a posljedično i vodozračni režim tla, površinsko otjecanje i erozivnost oborine. U te pokazatelje također bi trebalo uvrstiti i svojstva tla, poput kapaciteta tla za vodu i infiltracijsku sposobnost glavnih tipova tala na području istraživanih podregija i regija. U bilanciranje vode bi također trebalo uključiti i kapilarno-ascendentno dizanje vode iz dubljih slojeva tla i supstrata u zonu rizosfere, koje bi hidropedološkim i lizimetrijskim istraživanjima trebalo utvrditi, a računalnim modelima omogućiti projekcije učinka na vodnu bilancu tla svake pojedinačne oborine.

POPIS LITERATURE

1. Anić M., Vučetić V. (2021): *Agroklimatski atlas Hrvatske u razdobljima (1981.–2010. i 1991.–2020.)*. Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ), Zagreb.
2. Bašić F. (2014): Regionalizacija hrvatske poljoprivrede u zajedničkoj poljoprivrednoj politici EU / The regionalisation of Croatian agriculture in the common agricultural policy of the EU. UDK/UDC 631(497.5) Izvorni znanstveni članak / Original scientific paper. Pristupljeno 15. ožujka 2024.
3. Cheng L., Zhang L., Wang Y.P., Canadell J.G., Chiew F.H.S., Beringer J., Li L., Miralles D.G., Piao S., Zhang Y. (2017): Recent increases in terrestrial carbon uptake at little cost to the water cycle. *Nature Communication*, 24;8(1):110. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-00114-5>
4. Državni zavod za statistiku (2024): <https://podaci.dzs.hr/2023/hr/75168>. Pristupljeno dana 27.9.2024.
5. FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Chapter 1 – Introduction to Evapotranspiration. [https://www.fao.org/4/x0490e/x0490e04.htm#evapotranspiration%20\(et\)](https://www.fao.org/4/x0490e/x0490e04.htm#evapotranspiration%20(et)) Pristupljeno 20. srpnja 2024.
6. FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Chapter 2 - Measurement of effective rainfall. <https://www.fao.org/4/x5560e/x5560e03.htm#2.1%20soil%20moisture%20changes> Pristupljeno 20. srpnja 2024.
7. Ferina J. (2014): *Evapotranspiracija i zaliha vode u tlu*. Državni hidrometeorološki zavod, Grič 3, Zagreb.
8. Gajić-Čapka M., Zaninović K. (2008): *Klima / Climate*. U Zaninović K. (ur.) Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961-1990, 1971-2000. Državni hidrometeorološki zavod / Meteorological and Hydrological Service (DHMZ), Zagreb, Hrvatska. 11-15. http://klima.hr/razno_e.php?id=news¶m=atlas
9. Gedney N., Cox P.M., Betts R.A., Boucher O., Huntingford C., Stott P.A. (2006): Detection of a direct carbon dioxide effect in continental river runoff records, *Nature*, 439(7078), 835–838, <https://doi.org/10.1038/nature04504>.
10. Jung M., Reichstein M., Ciais P., Seneviratne S.I., Sheffield J., Goulden M.L., Bonan G., Cescatti A., Chen J., de Jeu R., Dolman A.J., Eugster W., Gerten D., Gianelle D., Gobron N., Heinke J., Kimball J., Law B.E., Montagnani L., Mu Q., Mueller B., Oleson K., Papale D., Richardson A.D., Rouspard O., Running S., Tomelleri E., Viovy N., Weber U., Williams C., Wood E., Zaehle S., Zhang K. (2010): Recent decline in the global land evapotranspiration trend due to limited moisture supply. *Nature* 467, 951–954. <https://doi.org/10.1038/nature09396>
11. Lemordant L., Gentile P., Swann A.S., Scheff J. (2018): Critical impact of vegetation physiology on the continental hydrologic cycle in response to increasing CO₂. *Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences*, 115 (16) 4093-4098, <https://doi.org/10.1073/pnas.1720712115>

12. Oki T., Kanae S. (2006): Global hydrological cycles and world water resources, *Science*, 313(5790), 1068–1072, <https://doi.org/10.1126/science.1128845>
13. Pan N., Wang S., Liu Y., Li Y., Xue F., Wei F., Yu H., Fu B. (2021): Rapid increase of potential evapotranspiration weakens the effect of precipitation on aridity in global drylands, *Journal of Arid Environments*, 186, 04414, ISSN 0140-1963, <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104414>.
14. Pandžić K. (1985): Bilanca vode na istočnom primorju Jadrana, *Republički hidrometeorološki zavod SRH*, Zagreb
15. Penzar I., Penzar B. (2000): *Agrometeorologija*. Školska knjiga, Zagreb.
16. Piao S., Friedlingstein P., Ciais P., de Noblet-Ducoudré N., Labat D., Zaehle S. (2007): Changes in climate and land use have a larger direct impact than rising CO₂ on global river runoff trends, *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A.*, 104(39), 15242–15247.
17. Shi X., Mao J., Thornton P.E., Hoffman F.M., Post W.M. (2011): The impact of climate, CO₂, nitrogen deposition and land use change on simulated contemporary global river flow, *Geophysical Research Letters*, 38(8), 1–6, <https://doi.org/10.1029/2011GL046773>
18. Thornthwaite C.W. (1948): An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1), 55–94.
19. Tomasović Š. (2020): *Metode određivanja bilance vode u tlu*. Diplomski rad, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split.
20. Troch P.A., Berne A., Bogaart P., Harman C., Hilberts A.G.J., Lyon S.W., Paniconi C., Pauwels V.R.N., Rupp D.E., Selker J.S., Teuling A.J., Uijlenhoet R., Verhoest N.E.C. (2013): The importance of hydraulic groundwater theory in catchment hydrology: The legacy of Wilfried Brutsaert and Jean-Yves Parlange, *Water Resource Research*, 49, 5099–5116, <https://doi.org/10.1002/wrcr.20407>
21. Ugarković D., Džeko M., Tikvić I., Blažević I. (2024): Usporedba metoda izračuna potencijalne evapotranspiracije u različitim klimatskim tipovima i vegetacijskim pojasevima. *Šumarski list*, Vol. 148 No. 7-8: 389–402.
22. Yang Q., Tian H., Li X., Tao B., Ren W., Chen G., Lu C., Yang J., Pan S., Banger K. (2014): Spatiotemporal patterns of evapotranspiration along the North American east coast as influenced by multiple environmental changes, *Ecohydrology*, 1–12, <https://doi.org/10.1002/eco.1538>
23. Zeng Z., Piao S., Li L.Z.X., Wang T., Ciais P., Lian X., Yang Y., Mao J., Shi X., Myneni R.B. (2018): Impact of Earth Greening on the Terrestrial Water Cycle. *Journal Climate*, 31, 2633–2650, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0236.1>.

THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON SOIL-WATER BALANCE

Abstract. Soil water balance is a quantitative measure that defines a deficit or a surplus of water in the soil, with evapotranspiration as its key component. Evapotranspiration represents the amount of water lost through evaporation from soil and free water surfaces, as well as through plant transpiration. It is evident that climate change affects the process of evapotranspiration as well. In this paper, soil water balance was calculated using the Thornthwaite method for 9 locations in the Republic of Croatia that represent agricultural subregions for 2 climatological periods (1961–1990 and 1991–2020). Depending on the agricultural subregion or region analysed, different changes in the soil water balance were observed during the recent climatological period compared to the previous one. Given the identified changes in the soil water regime and the expectation that the impact of climate change will become even more pronounced in the future, it will be necessary to ensure a better management of water resources on agricultural land in the Republic of Croatia.

Key words: evapotranspiration, water surplus, water deficit, climate change, agricultural regions and subregions in the Republic of Croatia.

DIE AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF DEN BODENWASSERHAUSHALT

Zusammenfassung. Der Bodenwasserhaushalt ist ein quantitativer Ausdruck, der das Defizit oder den Überschuss an Wasser im Boden definiert. Seine wichtigste Komponente ist die Evapotranspiration, die die Wassermenge darstellt, die durch Verdunstung von Bodenoberflächen und freien Wasseroberflächen sowie durch Transpiration von Pflanzen verloren geht. Es ist offensichtlich, dass sich der Prozess der Evapotranspiration mit dem Klimawandel verändert. Die Bodenwasserbilanzierung wurde in dieser Untersuchung nach der Thornthwaite-Methode für neun verschiedene Standorte in der Republik Kroatien und für zwei klimatologische Perioden (1961-1990 und 1991-2020) durchgeführt. Je nach der analysierten landwirtschaftlichen Teilregion bzw. Region Kroatiens wurden im Laufe der jüngsten Klimaperiode im Vergleich zur früheren Klimaperiode unterschiedliche Veränderungen im Bodenwasserhaushalt festgestellt. In Anbetracht der festgestellten Veränderungen im Bodenwasserhaushalt und der Erwartung, dass die Auswirkungen des Klimawandels in Zukunft noch deutlicher zutage treten werden, wird es notwendig sein, ein besseres Wasserressourcenmanagement in den landwirtschaftlichen Gebieten Kroatiens sicherzustellen.

Schlüsselwörter: Evapotranspiration, Wasserüberschuss, Wasserknappheit, Klimawandel, landwirtschaftliche Regionen und Teilregionen der Republik Kroatien