

Održivo upravljanje podzemnim vodama za potrebe navodnjavanja u ekološkoj poljoprivredi

DRAGOLJUB I. BAJIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Univerzitet u Banjoj Luci,

Rudarski fakultet, Banja Luka, Bosna i Hercegovina

ORCID: 0000-0002-4839-1093,

MATIJA P. STOJANOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

ŽELJKO D. ĆIRIĆ, Aqua Pro Energy, preduzeće za inženjering
i tehničko savetovanje, Beograd

Originalni naučni rad

UDC: 626.8:502.131.1

628.112:626.8

DOI: 10.5937/tehnika2604349B

Održivo navodnjavanje predstavlja jedan od ključnih uslova stabilne i dugoročno odgovorne poljoprivredne proizvodnje, naročito u uslovima klimatske promenljivosti, sve češćih sušnih epizoda i povećanog pritiska na vodne resurse. U ekološkoj poljoprivredi, pitanje navodnjavanja dodatno dobija na značaju, jer se proizvodnja ne zasniva samo na kvantitativnom povećanju prinosa, već i na očuvanju zemljišta, kvaliteta vode, biodiverziteta i prirodnih procesa u agroekosistemu. Sprovedeno istraživanje analizira mogućnost održivog korišćenja podzemnih voda za navodnjavanje na primeru izvorišta „Login Eko“ u Mužliji, na teritoriji grada Zrenjanina. Rezultati pokazuju izvorište „Login Eko“ može predstavljati funkcionalnu hidrogeološku osnovu za održivo navodnjavanje, ali samo ukoliko se eksploatacija vode sprovodi u skladu sa potvrđenim rezervama, uz kontinuirani monitoring količine i kvaliteta vode, kontrolu uticaja na zemljište i primenu principa preciznog navodnjavanja. U širem smislu, studija slučaja pokazuje da održivo navodnjavanje u ekološkoj poljoprivredi mora biti zasnovano na integraciji hidrogeološke sigurnosti, agroekološke odgovornosti i tehnološki kontrolisanog upravljanja resursima.

Ključne reči: vodni resursi; agroekosistem; rezerve podzemnih voda; tehnološki kontrolisano upravljanje navodnjavanjem

1. UVOD

Voda je jedan od osnovnih proizvodnih faktora u poljoprivredi, ali istovremeno i jedan od najosetljivijih prirodnih resursa. U tradicionalnim modelima intenzivne poljoprivrede navodnjavanje je često posmatrano pretežno kroz prizmu povećanja prinosa i smanjenja rizika od suše. Međutim, savremeni koncept održive poljoprivrede zahteva znatno šire razumevanje uloge vode. Ona više nije samo ulazni proizvodni resurs, već deo složenog sistema koji obuhvata zemljište, biljku, mikrobiološku aktivnost, podzemne vode, površinske tokove, klimatske faktore i ljudsko upravljanje.

Savremena istraživanja sve više ukazuju na to da ekološka poljoprivreda ima značajnu ulogu u ostvarivanju održivosti poljoprivrednih sistema, posebno kroz očuvanje zemljišta, smanjenje negativnih uticaja na životnu sredinu i jačanje otpornosti agroekosistema. Gamage et al. [1] ističu da organska proizvodnja doprinosi smanjenju ekoloških pritisaka savremene poljoprivrede i očuvanju prirodnih ciklusa, dok Renzaho et al. [2] kroz sistematski pregled i metaanalizu ukazuju na značaj održive organske poljoprivrede u kontekstu sigurnosti hrane.

Posebno relevantna za ovaj rad jesu istraživanja koja povezuju organsku proizvodnju i upravljanje vodom. Sharma et al. [3] naglašavaju da organska poljoprivreda može doprineti optimizaciji korišćenja vode u aridnim i semiaridnim područjima kroz unapređenje zdravlja zemljišta, poroznosti, strukture i sadržaja organske materije, dok Velasco-Muñoz et al.

Adresa autora: Dragoljub Bajić, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, Đušina 7

e-mail: dragoljub.bajic@rgf.bg.ac.rs

Rad primljen: 03.06.2026.

Rad prihvaćen: 25.06.2026.

[4] pokazuju da održivo navodnjavanje postaje sve značajnije istraživačko polje u globalnoj naučnoj produkciji. Ovi nalazi potvrđuju potrebu za interdisciplinarnim pristupom u kojem se navodnjavanje ne posmatra izolovano, već kao deo šireg sistema koji povezuje vodne resurse, zemljište, biljnu proizvodnju, klimatsku adaptaciju i dugoročnu održivost agroekosistema.

U ekološkoj poljoprivredi ovaj odnos je još osetljiviji. Budući da se proizvodnja zasniva na smanjenju ili izostavljanju sintetičkih hemijskih sredstava, očuvanju biološke aktivnosti zemljišta i usklađivanju sa prirodnim procesima, voda mora biti korišćena na način koji ne narušava ekološku ravnotežu.

Prekomerno navodnjavanje može dovesti do ispiranja hraniva, narušavanja strukture zemljišta, pojave anaerobnih uslova u zoni korena, sekundarnog zaslanjivanja, alkalizacije ili mobilizacije neželjenih elemenata. Nedovoljno navodnjavanje, s druge strane, može ograničiti rast biljaka, smanjiti prinos i ugroziti ekonomsku održivost proizvodnje.

Proizvodni kontekst privrednog društva „Login Eko“ predstavlja relevantan primer savremenog pristupa ekološkoj ratarskoj proizvodnji, u kojoj se navodnjavanje ne posmatra samo kao tehnička mera povećanja prinosa, već kao deo šire strategije održivog upravljanja zemljištem, vodom i proizvodnim rizicima. Koncept proizvodnje se zasniva na razvoju ekološki odgovorne poljoprivrede na velikim površinama, bez upotrebe hemijskih proizvoda, genetski modifikovanih organizama i životinjskog đubriva, uz oslanjanje na savremenu tehnologiju i informacione sisteme za praćenje stanja na poljima.

Za ostvarenje takvog modela neophodno je stabilno i kontrolisano snabdevanje vodom. Izrada istražno-eksploatacionog bunara B-1/21 bila je obezbeđenje vode za navodnjavanje useva, odnosno poljoprivrednih površina koje se koriste u okviru proizvodnog sistema „Login Eko“. Time se izvorište podzemnih voda neposredno povezuje sa potrebama ekološke ratarske proizvodnje, u kojoj je stabilno snabdevanje vodom posebno značajno u uslovima sušnih perioda, neravnomernog rasporeda padavina i rastuće klimatske neizvesnosti. U tom smislu, predmetno izvorište ne predstavlja samo lokalni hidrogeološki objekat, već funkcionalni element proizvodnog sistema u kojem se podzemne vode koriste za navodnjavanje useva uz istovremenu potrebu očuvanja kvaliteta zemljišta i dugoročne raspoloživosti vodnog resursa.

Predmet ovog rada jeste naučna interpretacija navedenih podataka sa aspekta održivog navodnjavanja. Cilj rada nije samo da prikaže raspoloživu količinu vode, već da proceni pod kojim uslovima

eksploatacija podzemnih voda može biti kompatibilna sa principima ekološke poljoprivrede.

2. METODOLOGIJA

Metodologija rada zasniva se na terenskom reko-gnosciranju i analitičko-sintetičkom pristupu [5]. Istraživanja obuhvataju analizu i sintezu hidrogeoloških, klimatskih, hidroloških, tehničkih i agroekoloških podataka koji se najpre razmatraju zasebno, a zatim se povezuju u jedinstvenu ocenu održivosti sistema navodnjavanja. Metodološki postupak u ovom radu obuhvata pet nivoa analize.

Prvi nivo je analiza klimatskog okvira. Razmatrani su podaci o padavinama i temperaturi vazduha, jer oni određuju prirodnu vlažnost zemljišta, potrebe za dopunskim navodnjavanjem i potencijalno prihranjivanje plitkih izdani. Za širi prostor istraživanja korišćeni su podaci klimatološke stanice „Zrenjanin“ za period 1983-2024. godine. Drugi nivo predstavljaju hidrogeološka terenska istraživanja. Ona uključuje identifikaciju tipa izdani, litološkog sastava vodonosne sredine, dubine vodonosnog horizonta, odnosa padavina i nivoa podzemnih voda, kao i procenu hidrodinamičkih karakteristika. Treći nivo je analiza vodozahvatnog objekta i testova crpenja. Istražno-eksploatacioni bunar B-1/21 izveden je radi obezbeđenja vode za navodnjavanje useva.

Testovi crpenja omogućili su procenu kapaciteta bunara, depresije, stabilizacije nivoa i hidrauličkih parametara porodne sredine. Četvrti nivo je analiza kvaliteta vode. U održivom navodnjavanju nije dovoljno znati samo količinu podzemnih voda, već i kakav je njen hemijski sastav. Voda koja je pogodna za navodnjavanje može, ukoliko se dugoročno koristi bez kontrole, dovesti do promene hemijskih osobina zemljišta. Zbog toga su kvalitativne karakteristike podzemnih voda interpretirane u odnosu na njenu upotrebu za navodnjavanje. Peti nivo je sinteza održivosti. U ovoj fazi povezuju se hidrogeološki kapacitet, kvalitet vode, agroekološki rizici i potreba za monitoringom. Održivo navodnjavanje se u radu definiše kao režim korišćenja vode koji zadovoljava potrebe useva, ali ne ugrožava obnovljivost resursa, kvalitet zemljišta, hemijsku stabilnost agroekosistema i dugoročnu funkcionalnost izvorišta.

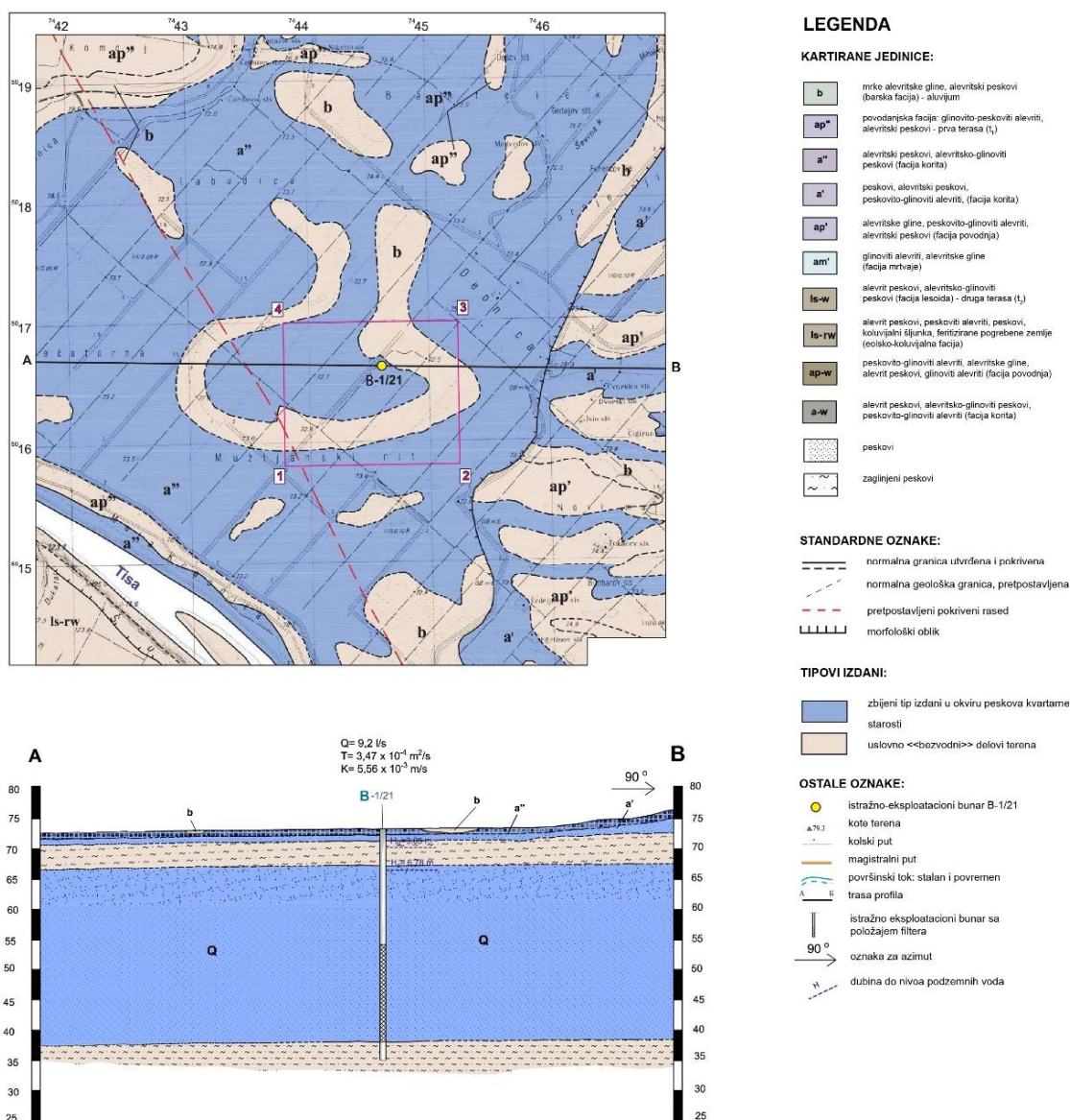
Na završnom nivou metodološke interpretacije, održivost se razmatra kroz prizmu višekriterijumskog odlučivanja i integralnog upravljanja podzemnim vodama. Ovakvo usmerenje je u skladu sa savremenim istraživanjima Bajić et al. [6], u kojima je naglašeno da izbor održivog plana zaštite i upravljanja izvorištem podzemnih voda zahteva holistički pristup, integraciju hidrodinamičkog modeliranja i višekriterijumskih metoda odlučivanja, kao i proveru osetljivosti najuti-

cajnijih kriterijuma. Takav koncept potvrđuje da dugoročna održivost izvorišta ne zavisi isključivo od izdašnosti vodonosne sredine, već od ukupnog odnosa između prirodnih uslova, tehničkih rešenja, zaštitnih mera, kvaliteta vode, rizika od zagađenja i načina upravljanja.

U ovom radu navedeni princip je prilagođen kontekstu ekološke poljoprivrede, pa se održivost navodnjavanja procenjuje kroz povezivanje hidrogeoloških karakteristika, kapaciteta vodozahvatnog objekta, kvaliteta podzemnih voda, agroekoloških rizika, zaštite zemljišta i potrebe za kontinuiranim monitoringom. Time metodologija dobija interdisciplinarni karakter i omogućava da se izvorište „Login Eko“ analizira kao deo šireg sistema održivog upravljanja vodnim resursima u poljoprivredi.

3. ISTRAŽNO PODRUČJE

Istražno područje nalazi se u Mužlji, koja administrativno pripada gradu Zrenjaninu, u AP Vojvodini. Mužlja se nalazi na desnoj strani reke Begej, oko 5 km od centra Zrenjanina, na prosečnoj nadmorskoj visini od 75 do 78 m. Ovakav položaj svrstava područje u tipičan ravničarski ambijent Banata, gde su hidrogeološki uslovi u velikoj meri povezani sa kvartarnim sedimentima, rečnim i barskim facijama, kao i složenim odnosima površinskih i podzemnih voda. Hidrogeološku osnovu istražnog područja čine zbijeni tip izdani formiran u peskovima kvartarne starosti. Na hidro-geološkoj karti šire okoline istražnog prostora prikazani su peskoviti, alevritsko-peskoviti i glinovito-peskoviti sedimenti, kao i uslovno „bezvodni“ delovi terena (slika 1).



Slika 1 - Hidrogeološka karta i profil istražnog područja

Za potrebe održivog navodnjavanja posebno je značajno razlikovanje plitkih izdani sa slobodnim nivoom od dubljih izdani pod pritiskom. Ističe se činjenica da padavine imaju najveći direktan uticaj na pripovršinske vodonosne horizonte, dok se dublje izdani pod pritiskom prihranjuju daleko izvan istražnog prostora. Ova činjenica je veoma važna.

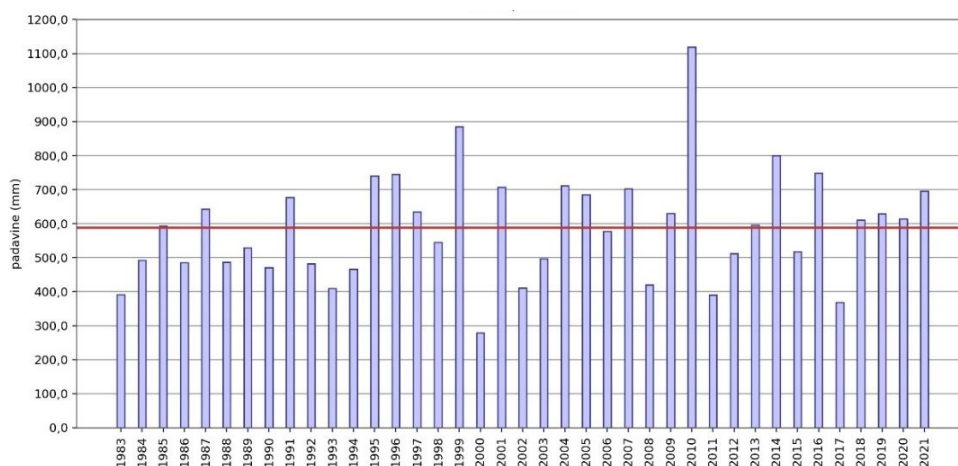
Ako eksploatisani vodonosni horizont nije direktno i brzo zavisao od lokalnih padavina, onda se kratkoročno povećanje padavina ne sme automatski tumačiti kao povećanje raspoloživih rezervi. Isto tako, sušna godina ne mora odmah dovesti do naglog pada nivoa u dubljoj izdani, ali dugoročna neravnoteža između zahvatanja i obnavljanja može imati posledice. Zato se održivost mora procenjivati kroz višegodišnji monitoring, a ne samo kroz jednu sezonu.

Centralni objekat izvorišta je istražno-eksploatacioni bunar B-1/21. Bunar se zato može posmatrati kao hidrogeološki i tehnički čvor čitavog sistema navodnjavanja.

Njegova uloga nije samo zahvatanje vode, već i omogućavanje kontrole režima izdani. Kroz merenje statičkog i dinamičkog nivoa, praćenje depresije i povratka nivoa, bunar postaje instrument za procenu ponašanja hidrogeološkog sistema pod eksploatacionim opterećenjem.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

Analizom i sintezom klimatskih podataka zaključuje se da se područje istraživanja karakteriše umereno-kontinentalnom klimom, sa jasno izraženim godišnjim dobima, umereno hladnim zimama i suvim letima. Takav klimatski režim ima direktan značaj za poljoprivredu. U letnjem periodu, kada su potrebe biljaka za vodom najveće, često dolazi do smanjenja efektivnih padavina i povećanja evapotranspiracije. Time se povećava potreba za dopunskim navodnjavanjem. Prosečna godišnja količina padavina za period 1983-2021. iznosi 587,0 mm. Najveća prosečna mesečna količina padavina javlja se u junu, 83,5 mm, a najmanja u februaru, 35,0 mm. Godišnje sume padavina u posmatranom periodu variraju u veoma širokom rasponu, od 278,5 mm do 1118,6 mm, što ukazuje na izraženu međugodišnju promenljivost (slika 2). Ova promenljivost ima veliki značaj za planiranje navodnjavanja. U godinama sa niskim padavinama, oslanjanje samo na atmosfersku vodu nije dovoljno za stabilnu proizvodnju. U godinama sa viškom padavina, navodnjavanje mora biti redukovano da bi se izbegla prekomerna vlažnost zemljišta. Dakle, održivo navodnjavanje ne sme biti fiksni režim, već adaptivni sistem koji se menja u skladu sa realnim stanjem vlage u zemljištu i meteorološkim uslovima.



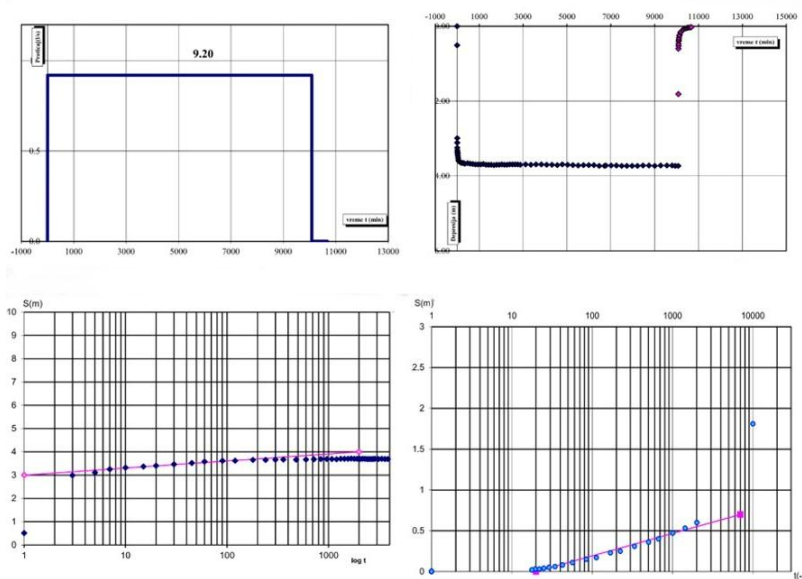
Slika 2 - Analiza padavina na istražnom području

Najvažniji kvantitativni rezultat istraživanja jeste utvrđena količina bilansnih rezervi. Predložene su bilansne rezerve podzemnih voda u količini od 9,2 l/s. Ova vrednost predstavlja osnovu za planiranje navodnjavanja. Međutim, sa stanovišta održivosti, 9,2 l/s ne treba posmatrati kao količinu koju je moguće nekontrolisano koristiti u svakom trenutku i pod svim uslovima. Ona predstavlja stručno definisanu količinu u okviru određenog hidrogeološkog modela, pri poznatim uslovima ispitivanja. Praktična održivost zavisi od rasporeda crpljenja, trajanja rada sistema, sezonske dinamike, potreba useva i reakcije izdani na eksplo-

ataciju. S druge strane, testovi crpenja daju dodatnu sigurnost u oceni kapaciteta. Ovi podaci su važni jer ukazuju na odnos između proticaja bunara i depresije. U održivom upravljanju izvorištima podzemnih voda nije dovoljno znati maksimalni mogući protok. Važnije je izabrati radni režim koji ne izaziva preveliko sniženje nivoa, ne povećava rizik od zahvatanja sitnih čestica, ne narušava filtracionu stabilnost i ne ubrzava starenje bunarske konstrukcije. Hidrodinamički gledano, bunar B-1/21 pokazuje sposobnost da pri projektovanom i testiranom kapacitetu obezbedi stabilan dotok vode. Međutim, stabilnost bunara nije

samo funkcija trenutnog kapaciteta, već i funkcija transmisivnosti vodonosne sredine, koeficijenta filtracije, granulometrijskog sastava peskova, kvaliteta filterskog zasipa i režima eksploatacije. Sa aspekta održivog navodnjavanja, najpovoljniji režim bio bi onaj koji se ne približava gornjim granicama opterećenja bunara. Drugim rečima, sistem treba projektovati tako da normalni rad bude ispod kritičnih kapaciteta, a da se maksimalni kapacitet koristi samo povremeno i kontrolisano. Time se smanjuje rizik od prekomerne depresije, povećanog ulaska finih čestica, smanjenja efikasnosti bunara i destabilizacije lokalne hidrodinamičke mreže.

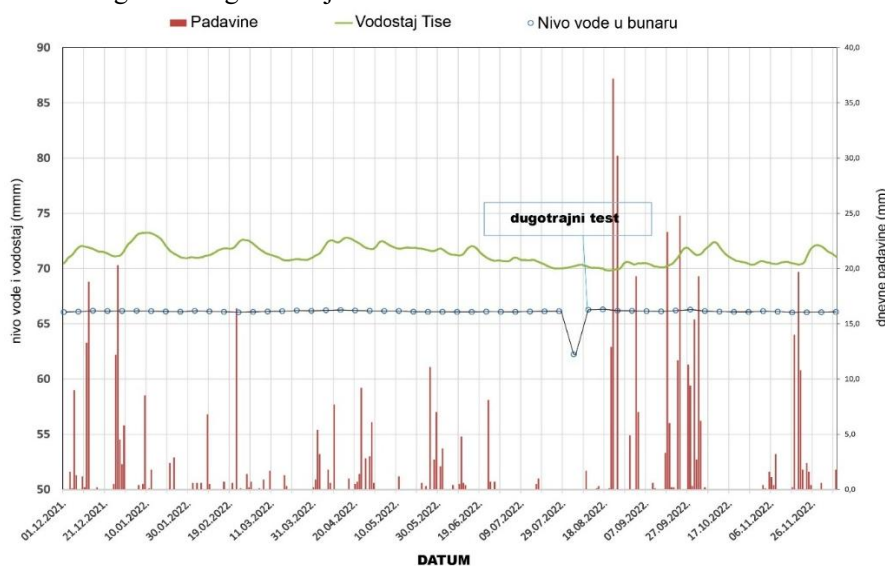
Na osnovu rezultata dugotrajnog testa crpljenja pri kapacitetu od 9,2 l/s (slika 3), vrednosti koeficijenta filtracije vodonosne sredine kreću se od $2,61 \times 10^{-4}$ do $3,47 \times 10^{-4}$ m/s, dok transmisivnost iznosi od $4,18 \times 10^{-3}$ do $5,56 \times 10^{-3}$ m²/s. Proračunom na osnovu povratka nivoa dobijene su uporedive vrednosti koeficijenta filtracije od $3,11 \times 10^{-4}$ do $3,80 \times 10^{-4}$ m/s i transmisivnosti od $4,99 \times 10^{-3}$ do $6,20 \times 10^{-3}$ m²/s. Relativno mala odstupanja između rezultata crpenja i povratka nivoa potvrđuju pouzdanost interpretacije i ukazuju na dobru vodopropusnost peskovite vodonosne sredine, odnosno povoljne uslove za stabilan dotok podzemne vode ka bunaru.



Slika 3 - Hidrogram, nivogram i dijagrami testa crpljenja i povratka nivoa podzemnih voda

S druge strane, uporedni dijagram dnevnih padavina, nivoa vode u bunaru B-1/21 i vodostaja reke Tise za analizirani period omogućava sagledavanje odnosa

između meteoroloških, hidroloških i hidrogeoloških faktora u zoni istražnog prostora (slika 4).



Slika 4 - Uporedni prikaz dnevnih količina padavina, nivoa reke Tise i nivoa podzemnih voda

Prikazani podaci ukazuju da nivo podzemne vode u bunaru B-1/21 pokazuje relativno stabilan režim, bez naglih i direktnih reakcija na pojedinačne padavinske događaje. Takvo ponašanje upućuje na činjenicu da vodonosni horizont nema izrazito brzu i neposrednu vezu sa kratkoročnim atmosferskim padavinama. Istovremeno, promene vodostaja Tise ne pokazuju jasnu sinhronu zavisnost sa oscilacijama nivoa vode u bunaru, što ukazuje da režim podzemnih voda na predmetnom izvoru nije dominantno kontrolisan kratkoročnim kolebanjima rečnog vodostaja. Ovakav odnos je značajan za ocenu stabilnosti izvorišta, jer sugerise da se bunar B-1/21 nalazi u hidrogeološkom sistemu čije ponašanje zavisi od šireg režima prihranjivanja i pražnjenja izdani, a ne isključivo od lokalnih padavina ili trenutnog stanja površinskih tokova. Sa aspekta održivog navodnjavanja, dijagram potvrđuje potrebu da se eksploatacija podzemnih voda ne planira samo na osnovu trenutnih meteoroloških uslova, već na osnovu kontinuiranog praćenja nivoa podzemnih voda, kapaciteta bunara i dugoročnih hidrogeoloških trendova. Relativna stabilnost nivoa vode u bunaru predstavlja povoljan indikator eksploatacionog potencijala izvorišta, ali istovremeno naglašava važnost nastavka monitoringa, posebno tokom sušnih perioda i intenzivnije sezone navodnjavanja.

Područje Mužlje ima prosečnu godišnju količinu padavina od 587,0 mm, ali je raspored padavina nerav-

nomeran, a godišnje varijacije su velike. To znači da prosečna godišnja suma sama po sebi nije dovoljan pokazatelj dostupnosti vode za useve. Za poljoprivredu je često važnije kada padavine padaju nego koliko ih ukupno ima. Ako se veći deo padavina javi van vegetacionog perioda, njihov efekat na useve može biti ograničen. Ako se intenzivne padavine jave u kratkom vremenu, deo vode može oteći, ispariti ili se infiltrirati ispod zone korena.

Nasuprot tome, dugotrajni sušni periodi u fazama intenzivnog rasta mogu značajno smanjiti prinos. Zbog toga se navodnjavanje iz podzemnih voda može posmatrati kao instrument klimatske adaptacije. Međutim, taj instrument mora biti precizan. Najbolji pristup nije navodnjavanje po unapred fiksanom rasporedu, već navodnjavanje prema realnoj potrebi biljke i zemljišta. To podrazumeva upotrebu senzora vlažnosti zemljišta, meteoroloških podataka, procene evapotranspiracije i faze razvoja useva. U takvom sistemu bunar B-1/21 ne bi radio kao stalni izvor maksimalnog crpenja, već kao deo inteligentnog režima upravljanja vodom. Time se smanjuje ukupna količina zahvaćene vode, čuva izdan i povećava efikasnost korišćenja svake jedinice vode.

S druge strane, kvalitet vode je jedan od presudnih elemenata održivog navodnjavanja. Osnovni parametri relevantni za ocenu pogodnosti vode za navodnjavanje prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1. Osnovni kvalitativni pokazatelji

Parametar	Jedinica	Vrednosti parametara
pH	-	7,5
Specifična električna provodljivost (EC)	μS/cm	1.925
Suvi ostatak	mg/L	1.281
Ukupna mineralizacija	mg/L	1.888
Na ⁺	mg/L	406,2
K ⁺	mg/L	2,9
Ca ²⁺	mg/L	85,4
Mg ²⁺	mg/L	29,3
HCO ₃ ⁻	mg/L	1.226,0
Cl ⁻	mg/L	68,76
SO ₄ ²⁻	mg/L	<0,04
SAR	(mmolc/L) ^{1/2}	9,67
RSC	meq/L	13,42

Odnos glavnih jona potvrđuje da su vode pripadaju hidrokarbonatno-natrijumskom (Na-HCO_3) tipu.

Za procenu rizika od natrijumizacije izračunat je odnos adsorpcije natrijuma (SAR), pri čemu su koncentracije izražene u meq/L. Dobijena vrednost ukazuje na izražen sodni potencijal zemljišta, naročito kada se razmatraju zajedno sa povišenim sadržajem Na^+ i dominacijom HCO_3^- . Istovremeno, EC ukazuje na umeren do povišen salinitetni pritisak, pa dugoročna primena može dovesti do akumulacije soli u zoni korena ukoliko ispiranje nije dovoljno i ukoliko drenažni uslovi nisu povoljni.

Zbog visokog sadržaja hidrogenkarbonata izračunat je i rezidualni natrijum-karbonat (RSC). Dobijena vrednost veoma je visoka i ukazuje na mogućnost taloženja kalcijuma i magnezijuma u obliku karbonata, čime se relativno povećava udeo natrijuma u zemljišnom rastvoru. Posledice mogu biti disperzija glinenih čestica, smanjenje stabilnosti agregata, stvaranje pokorice i postepeno pogoršanje infiltracione sposobnosti zemljišta.

Na osnovu zajedničkog razmatranja EC, SAR i RSC, voda iz bunara B-1/21 može se koristiti za navodnjavanje samo uslovno i uz kontrolisan režim primene. Procena mora biti povezana sa teksturom, mineraloškim sastavom i dreniranošću konkretnog zemljišta, kao i sa tolerancijom gajenih kultura na salinitet i natrijum. Posebno su osetljiva teža, glinovita i slabije drenirana zemljišta, na kojima je rizik od degradacije strukture veći.

Svakako se preporučuje integrisani hidrohemijski i agropedološki monitoring koji bi obuhvatio najmanje sezonsko određivanje EC, pH, Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , SAR i RSC u vodi, kao i praćenje EC zasićenog ekstrakta zemljišta, izmenljivog natrijuma, procenta izmenljivog natrijuma (ESP), pH, stabilnosti agregata i infiltracione sposobnosti zemljišta. Uzorkovanje zemljišta treba sprovoditi pre i nakon sezone navodnjavanja, na više dubina u zoni korena i uz kontrolne parcele koje se ne navodnjavaju. Ovakav pristup omogućava da se potencijalni negativni efekti uoče pre nego što postanu ograničavajući faktor proizvodnje.

Takođe, zaštita izvorišta je neodvojivi deo održivog korišćenja podzemnih voda. Iako se voda koristi za navodnjavanje, a ne za javno vodosnabdevanje, zaštitne mere ostaju važne. Kontaminacija izvorišta može ugroziti useve, zemljište, opremu za navodnjavanje i širi hidrogeološki sistem. U ekološkoj poljoprivredi zaštita izvorišta je dodatno važna jer se proizvodni model oslanja na odsustvo hemijskih kontaminanata i očuvanje prirodnih procesa.

Mere zaštite treba da obuhvate kontrolu aktivnosti u neposrednoj zoni bunara, sprečavanje unošenja zagađujućih materija, pravilno održavanje bunarske glave,

zaštitu od površinskog oticanja, redovno servisiranje opreme i kontrolu eventualnih izvora mikrobiološkog zagađenja. U praksi, zona oko bunara mora biti tretirana kao strogo kontrolisana tehnička i ekološka tačka sistema.

Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da se održivo navodnjavanje na primeru „Login Eko“ zasniva na četiri međusobno povezane ravni održivosti. Prva je hidrogeološka održivost, koja podrazumeva da se voda zahvata u količinama koje ne prelaze utvrđene rezerve i koje ne izazivaju nepovoljne promene nivoa podzemnih voda. Druga je tehnička održivost, koja se odnosi na bunar, pumpnu opremu, cevovode i sistem distribucije, koji moraju biti projektovani tako da smanjuju gubitke, omogućavaju precizno doziranje i rade u režimu koji ne preopterećuje bunar. Treća je agroekološka održivost, koja podrazumeva da se voda koristi na način koji ne pogoršava kvalitet zemljišta i ne narušava mikrobiološku i hemijsku ravnotežu agroekosistema. Četvrta je upravljačka održivost, koja se zasniva na podacima, monitoringu, analizi i stalnom prilagođavanju.

Bez kontinuiranog praćenja nivoa vode, kvaliteta vode, vlažnosti zemljišta i stanja useva, navodnjavanje može preći iz održive mere u faktor pritiska na prirodne resurse.

5. ZAKLJUČAK

Studija slučaja izvorišta podzemnih voda „Login Eko“ u Mužlji potvrđuje da podzemne vode mogu predstavljati strateški resurs za održivo navodnjavanje u ekološkoj poljoprivredi, ali samo ukoliko se njihovo korišćenje zasniva na naučno utemeljenom, kontrolisanom i adaptivnom modelu upravljanja. Istražno-eksploatacioni bunar B-1/21 izveden je sa ciljem obezbeđenja vode za navodnjavanje useva, a rezultati testova crpenja i režimskih osmatranja ukazuju na njegov realan eksploatacioni potencijal.

Rezultati rada pokazuju da održivost navodnjavanja ne može biti svedena samo na pitanje raspoložive količine vode. Ona zavisi od hemijskog sastava vode, reakcije zemljišta na dugoročno navodnjavanje, efikasnosti sistema za distribuciju vode i sposobnosti korisnika da režim navodnjavanja prilagođava realnim klimatskim i proizvodnim uslovima.

U tom smislu, voda u ekološkoj poljoprivredi mora biti korišćena po principu „precizno, odgovorno i proverljivo“, što podrazumeva navodnjavanje zasnovano na potrebama biljaka, merenju vlažnosti zemljišta, praćenju meteoroloških uslova i redovnoj kontroli kvaliteta vode i zemljišta. Posebnu pažnju zahteva hidrokarbonatno-natrijumski tip vode, sa EC od 1925 dS/m, SAR od 9,67 i RSC od 13,42 meq/L, jer dugoročna upotreba može dovesti do salinizacije,

natrijumizacije i smanjenja infiltracione sposobnosti zemljišta, naročito u nepovoljnim drenažnim uslovima. Kvalitativna analiza pokazuje da se voda može koristiti za navodnjavanje poljoprivrednih površina, uz potrebu kontinuiranog praćenja njenog hemijskog sastava i mogućih dugoročnih efekata na zemljište.

Naučni doprinos ovog rada ogleda se u integrisanom sagledavanju podzemnih voda ne samo kao hidrogeološkog resursa, već kao aktivnog činioca agroekološkog sistema. Time se prevazilazi usko tehničko razumevanje navodnjavanja kao prostog zahvatanja i distribucije vode, i uvodi širi koncept u kojem se hidrogeološki parametri, kvalitet vode, osobine zemljišta, potrebe biljaka i klimatska promenljivost razmatraju kao međusobno zavisni elementi održive poljoprivredne proizvodnje.

Ovakav pristup posebno je značajan za akademsku zajednicu, jer otvara prostor za interdisciplinarna istraživanja na preseku hidrogeologije, agroekologije, pedologije, upravljanja vodnim resursima i klimatske adaptacije.

Primer „Login Eko“ pokazuje da održivo navodnjavanje nije samo agrotehnička mera, već naučno zasnovan instrument upravljanja agroekosistemom. Kada je oslonjeno na hidrogeološka istraživanja, potvrđene rezerve, zaštitu izvorišta, monitoring kvaliteta vode i precizno upravljanje, navodnjavanje može doprineti stabilnoj proizvodnji hrane, očuvanju zemljišta i racionalnom korišćenju podzemnih voda.

U suprotnom, isti resurs može postati ograničavajući faktor razvoja i potencijalni izvor dugoročnog pritiska na životnu sredinu. Zbog toga se ključna srž ovog rada može formulisati u smislu da budućnost ekološke poljoprivrede ne zavisi samo od načina obrade zemljišta i izbora useva, već i od sposobnosti da se vodni resursi razumeju, štite i koriste u skladu sa njihovom prirodnom dinamikom.

Povezivanje hidrogeologije i ekološke poljoprivrede predstavlja neophodan naučni i praktični pravac za razvoj klimatski otpornijih, resursno efikasnijih i ekološki odgovornijih sistema proizvodnje hrane.

6. ZAHVALNICA

Ovo istraživanje podržalo je Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije. Autori sa zahvalnošću ističu podršku Ministarstva naučnim istraživanjima, kao važan doprinos razvoju društva zasnovanog na znanju. Rad je realizovan u okviru Ugovora o realizaciji i finansiranju naučno-istraživačkog rada na Rudarsko-geološkom fakultetu u 2026. godini, broj 451-03-34/2026-03/200126.

LITERATURA

- [1] Gamage A, Gangahagedara R, Gamage J, Jayasinghe N, Kodikara N, Suraweera P, Merah O. Role of organic farming for achieving sustainability in agriculture, *Farming System*, 1:1, 100005, <https://doi.org/10.1016/j.farsys.2023.100005>, 2023.
- [2] Renzaho A. M. N, Abdulai R, Rahaman K. S, Kumar Das S, Noor R, Salami B, Chitekwe S. The impact of sustainable organic agriculture on food security in sub-Saharan Africa: a mixed methods systematic review with meta-analysis. *Agric & Food Secur* 14, 31 <https://doi.org/10.1186/s40066-025-00554-z>, 2025.
- [3] Sharma S, Yost M. A, Reeve J. R. Roles of Organic Agriculture for Water Optimization in Arid and Semi-Arid Regions. *Sustainability*, 17: 5452. <https://doi.org/10.3390/su17125452>, 2025.
- [4] Velasco-Muñoz J. F, Aznar-Sánchez J. A, Batlles-de la Fuente A, Fidelibus, M. D, *Sustainable Irrigation in Agriculture: An Analysis of Global Research*. *Water* 2019, 11, 1758. <https://doi.org/10.3390/w11091758>
- [5] Brassington R. *Field hydrogeology*, 3rd edn., 276 pp. Chichester: John Wiley & Sons, 2007.
- [6] Bajić D, Pamučar D, Stepanović M. & Polomčić D. A holistic approach towards multiple-criteria decision-making for selecting the sustainable groundwater source protection management plan. *Water Resources Management*, <https://doi.org/10.1007/s11269-025-04331-2>, 2025.

SUMMARY

SUSTAINABLE GROUNDWATER MANAGEMENT FOR IRRIGATION IN ORGANIC AGRICULTURE

Sustainable irrigation is one of the key prerequisites for stable and long-term responsible agricultural production, particularly under conditions of climatic variability, increasingly frequent drought episodes, and growing pressure on water resources. In organic agriculture, irrigation assumes even greater importance, as production is not based solely on the quantitative increase of yields, but also on the preservation of soil, water quality, biodiversity, and natural processes within the agroecosystem. The present study analyzes the potential for the sustainable use of groundwater for irrigation, using the "Login Eko" groundwater source in Mužlja, within the territory of the City of Zrenjanin, as a case study. The results indicate that the "Login Eko" source may provide a functional hydrogeological basis for sustainable irrigation, but only if groundwater abstraction is carried out in accordance with the confirmed reserves, accompanied by continuous monitoring of water quantity and quality, assessment of impacts on soil, and the application of precision irrigation principles. In a broader sense, this case study demonstrates that sustainable irrigation in organic agriculture must be founded on the integration of hydrogeological reliability, agroecological responsibility, and technologically controlled resource management.

Key words: *water resources; agroecosystem; groundwater reserves; technologically controlled irrigation management*