

Monitoring podzemnih voda na području Kopačkog rita

Šošić, Petar

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:333068>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-21**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij geološkog inženjerstva

MONITORING PODZEMNIH VODA NA PODRUČJU KOPAČKOG RITA
Diplomski rad

Petar Šošić
GI454

Zagreb, 2023



KLASA: 602-01/23-01/109
URBROJ: 251-70-15-23-2
U Zagrebu, 3. 7. 2023.

Petar Šošić, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/23-01/109, URBROJ: 251-70-15-23-1 od 28. 6. 2023. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

MONITORING PODZEMNIH VODA NA PODRUČJU KOPAČKOG RITA

Za mentora ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Izv. prof. dr. sc. Željko Duić nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentor:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Željko Duić

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Doc. dr. sc. Zoran Kovač

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Borivoje
Pašić

(titula, ime i prezime)

MONITORING PODZEMNIH VODA NA PODRUČJU KOPAČKOG RITA

Petar Šošić

Diplomski rad izrađen je: Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

U radu su prikazani i analizirani podaci razina podzemne vode u istražno-piezometarskim bušotinama na području Parka prirode Kopački rit te podaci dnevnih vodostaja rijeka Dunava i Drave na pet postaja koji su detaljnije obrađeni u programu WinSitu 5 te MS Excelu. Obrada podataka te interpretacija odabranih parametara na temelju količinskog stanja podzemnih voda daje temelj za izradu studije za revitalizaciju podzemnih voda što će omogućiti dugoročno i kvalitetno upravljanje vodnim ekosustavima Kopačkog rita. Osim monitoringa podzemnih voda u radu je prikazana recentna sedimentacija i erozija u Parku prirode Kopački rit.

Ključne riječi: Kopački rit, podzemna voda, piezometri, Dunav, Drava

Diplomski rad sadrži: 37 stranica, 1 tablicu, 38 slika i 27 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Željko Duić, izvanredni profesor RGNF

Pomoć pri izradi: Dr. sc. Ivica Pavičić, docent RGNF

Ocjenjivači: Dr. sc. Željko Duić, izvanredni profesor RGNF

Dr. sc. Ivica Pavičić, docent RGNF

Dr. sc. Davor Pavelić, redoviti profesor RGNF

Faculty of mining, Geology and Petroleum engineering

GROUNDWATER MONITORING IN THE AREA OF KOPAČKI RIT

Petar Šošić

Thesis completed at: Faculty of mining, Geology and Petroleum engineering
Department of geology and geological engineering
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

The paper presents and analyses data on groundwater levels in exploratory piezometer wells in the area of Kopački rit Nature park, as well as data on daily water levels of Danube and Drava rivers at five stations which were processed in more detail in WinSitu 5 and MS Excel. Data processing and interpretation of selected parameters based on the quantitative state of groundwater provides the basis for the preparation of a study for the revitalization of groundwater, which will enable long term and high quality management of the water ecosystems of Kopački rit. In addition to groundwater monitoring, the paper presents recent sedimentation and erosion in the Kopački rit Nature Park.

Key words: Kopački rit, groundwater, piezometer, Danube, Drava

Thesis contains: 37 pages, 1 table, 38 figures and 27 references

Original in: Croatian

Archived in: Faculty of mining, Geology and Petroleum engineering, Pierottijeva 6 Zagreb

Supervisor: Associate Professor Željko Duić, PhD

Developmental help: Assistant Professor Ivica Pavičić, PhD

Reviewers: Associate Professor Željko Duić, PhD

Assistant Professor Ivica Pavičić, PhD

Full Professor Davor Pavelić, PhD

Defence date: July 7, 2023, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA.....	2
2.1. Geološke i geomorfološke značajke	2
2.2. Hidrološke i hidrogeološke značajke	4
3. ISTRAŽNI RADOVI	7
3.1. Izvođenje i tehnologija bušenja kod piezometarskih bušotina	7
3.2. Ugradnja tehničke konstrukcije i osvajanje bušotine.....	7
3.3. Izrada plitkih istražno-piezometarskih bušotina	10
3.4. Terenske lokacije piezometara	11
3.5. Uzorkovanje i obrada sedimentacijskih i erozijskih podataka.....	19
4. KORIŠTENE METODE I SOFTVERI	23
5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA.....	24
5.1. Rezultati istraživanja količinskog monitoringa	24
5.2. Rezultati istraživanja recentne sedimentacije i erozije.....	33
6. ZAKLJUČAK.....	36
7. LITERATURA.....	37

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Položaj Parka prirode Kopački rit.....	2
Slika 2.2. Geomorfološki prikaz naslaga Kopačkog rita.....	3
Slika 2.3. Prostorni plan Parka prirode Kopački Rit.....	5
Slika 3.1. Presjek piezometra.....	8
Slika 3.2. Shema ugradnje zatvorenog loggера.....	9
Slika 3.3. Lokacije piezometara uključenih u količinski monitoring.....	13
Slika 3.4. Piezometar PPKR-1.....	14
Slika 3.5. Piezometar PPKR-2.....	14
Slika 3.6. Piezometar PPKR-3.....	15
Slika 3.7. Piezometar PPKR-4.....	15
Slika 3.8. Piezometar PPKR-5.....	16
Slika 3.9. Piezometar PPKR-6.....	16
Slika 3.10. Piezometar PPKR-7.....	17
Slika 3.11. Piezometar PPKR-8.....	17
Slika 3.12. Piezometar PPKR-9.....	18
Slika 3.13. Piezometar DPKR-1.....	18
Slika 3.14. Lokacija mjernog stupića NVS-44.....	19
Slika 3.15. Pristup mjernim lokacijama NVS-43 i NVS-44.....	20
Slika 3.16. Očitavanje mjerne lokacije NVS-5.....	20
Slika 3.17. Karta mjernih postaja recentne sedimentacije/erozije M1:100 000.....	21
Slika 4.1. Win-Situ 5 - Baro Merge.....	22
Slika 5.1. Korigirana razina u piezometru PPKR-1.....	23
Slika 5.2. Korigirana razina u piezometru PPKR-2.....	24
Slika 5.3. Korigirana razina u piezometru PPKR-3.....	24
Slika 5.4. Korigirana razina u piezometru PPKR-4.....	25
Slika 5.5. Korigirana razina u piezometru PPKR-5.....	25
Slika 5.6. Korigirana razina u piezometru PPKR-6.....	26
Slika 5.7. Korigirana razina u piezometru PPKR-7.....	26
Slika 5.8. Korigirana razina u piezometru PPKR-8.....	27
Slika 5.9. Korigirana razina u piezometru PPKR-9.....	27
Slika 5.10. Korigirana razina u piezometru PPKR-9.....	28
Slika 5.11. Dnevni vodostaji na postaji Osijek-Drava.....	28
Slika 5.12. Dnevni vodostaji na postaji Aljmaš-Dunav.....	29

Slika 5.13. Dnevni vodostaji na postaji Petreš – Dunav.....	29
Slika 5.14. Dnevni vodostaji na postaji Siga – Dunav.....	29
Slika 5.15. Dnevni vodostaji na postaji Batina – Dunav.....	30
Slika 5.16. Dijagram sedimentacije i erozije od 29.1.2021. do 17.11.202.....	33
Slika 5.17. Raspodjela frekvencije iznosa taloženja i erozije.....	34

POPIS TABLICA

Tablica 3-1. Koordinate istražno-piezometarskih bušotina.....	12
--	----

1. UVOD

Kopački rit je poplavno područje na sjeveroistoku Hrvatske između rijeka Dunav na istoku i Drave na jugu. To je jedno od najbolje očuvanih poplavnih područja u Europi. Ovisno o vodostaju, vode tih dviju rijeka neprestano mijenjaju izgled rita stvarajući mozaik jezera, kanala, greda i bara, poplavnih šuma i vlažnih livada. Veza između toka Dunava i Drave su kanali, a postoji i splet kanala koji čine veze unutar čitavog rita. Od jezera se mogu istaknuti najdublje Sakadaš te Kopačko jezero koje je površinom najveće. Geološka građa i hidrogeološki odnosi rezultiraju složenošću hidrogeološkog sustava na području Kopačkog rita. Zemljopisno se Kopački rit prostire između $45^{\circ} 32'$ i $45^{\circ} 47'$ sjeverne geografske širine te $18^{\circ} 45'$ i $18^{\circ} 59'$ istočne geografske dužine. Nadmorske visine cjelokupnog područja Baranje ne prelaze 250 m dok se Park prirode nalazi na njegovom najnižem dijelu, gdje se nadmorske visine terena kreću od 78 m (dno Kopačkog jezera) do 86 m.

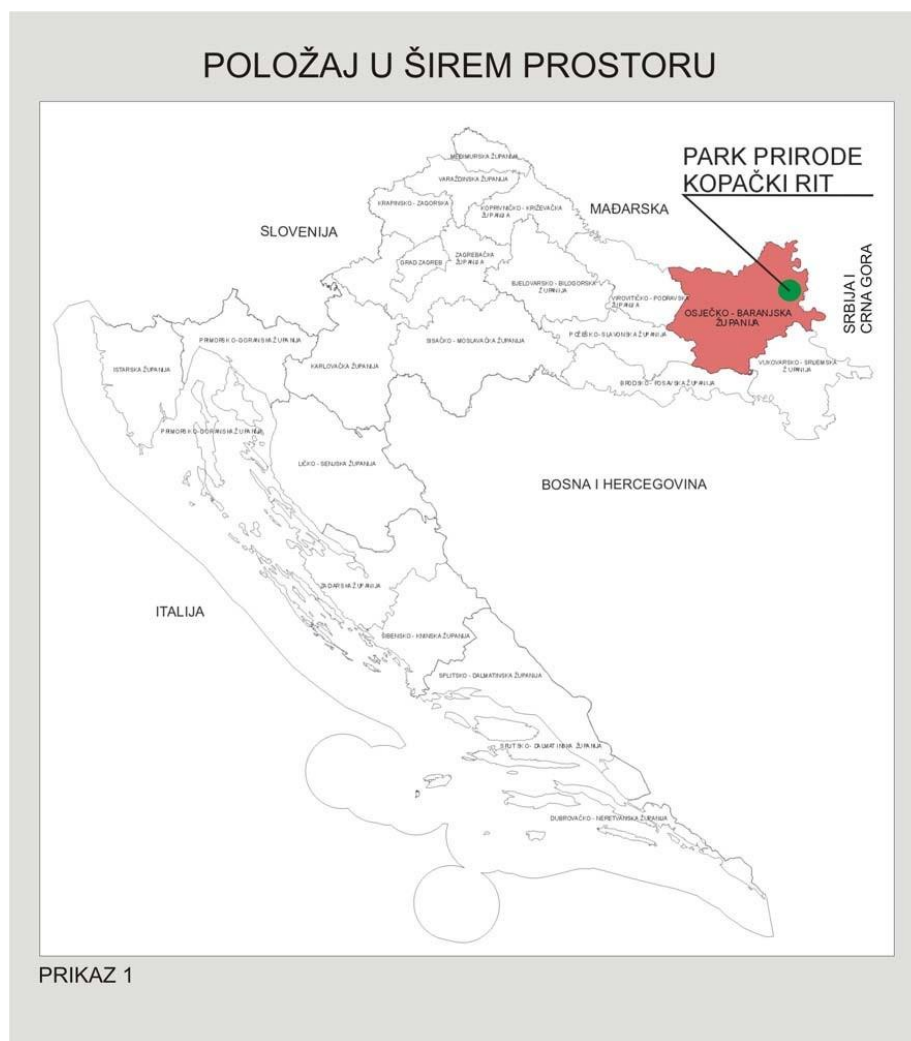
Podlogu za rad čini projekt Naturavita koji između ostaloga uključuje monitoring stanja voda, podzemnih voda, staništa i faune. Za potrebu hidrogeološkog monitoringa izvedeno je deset piezometara i jedna duboka bušotina u koje su ugrađeni automatski mjerači razine podzemne vode, poznatiji kao loggeri, koji imaju i mogućnost registriranja elektrovodljivosti i temperature s jednostatnom rezolucijom. Projekt Naturavita također ima za zadatak postaviti opažačku mrežu te kroz tri godine mjeriti eroziju i recentnu sedimentaciju na ključnim mjestima Parka prirode Kopački rit.

Cilj rada je interpretacija i monitoring rezultata količinskog stanja podzemnih voda te monitoring recentne sedimentacije i erozije što će omogućiti dugoročno i kvalitetno upravljanje vodenim ekosustavima Kopačkog rita. Za interpretaciju su korišteni programi WinSitu 5 i Excel.

2. ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

2.1. Geološke i geomorfološke značajke

Park prirode Kopački rit nastao je tijekom pleistocena i holocena te predstavlja jednu od najvažnijih prirodno očuvanih močvara u Europi. Smješten je u kutu što ga rijeka Drava zatvara s Dunavom (Slika 2.1.). U geološkom sastavu površinskog dijela prevladavaju sedimenti holocenske starosti od kojih se mogu izdvojiti fluvijalni pijesci i pjeskovite ilovače, fluvijalne pjeskovite ilovače i pijesci, te fluvijalnomočvarne glinovite ilovače i gline. Rijeka Drava usijecala je plitku erozijsku udubinu koju je naknadno ispunila taložinama nakon starijeg virna, kada je utjecajem tada formirane Apatinsko-kopačevske subsidencije skrenula u današnji smjer otjecanja napuštajući područje sjeverozapadno od Banskog Brda. (Benčina i dr., 2011)



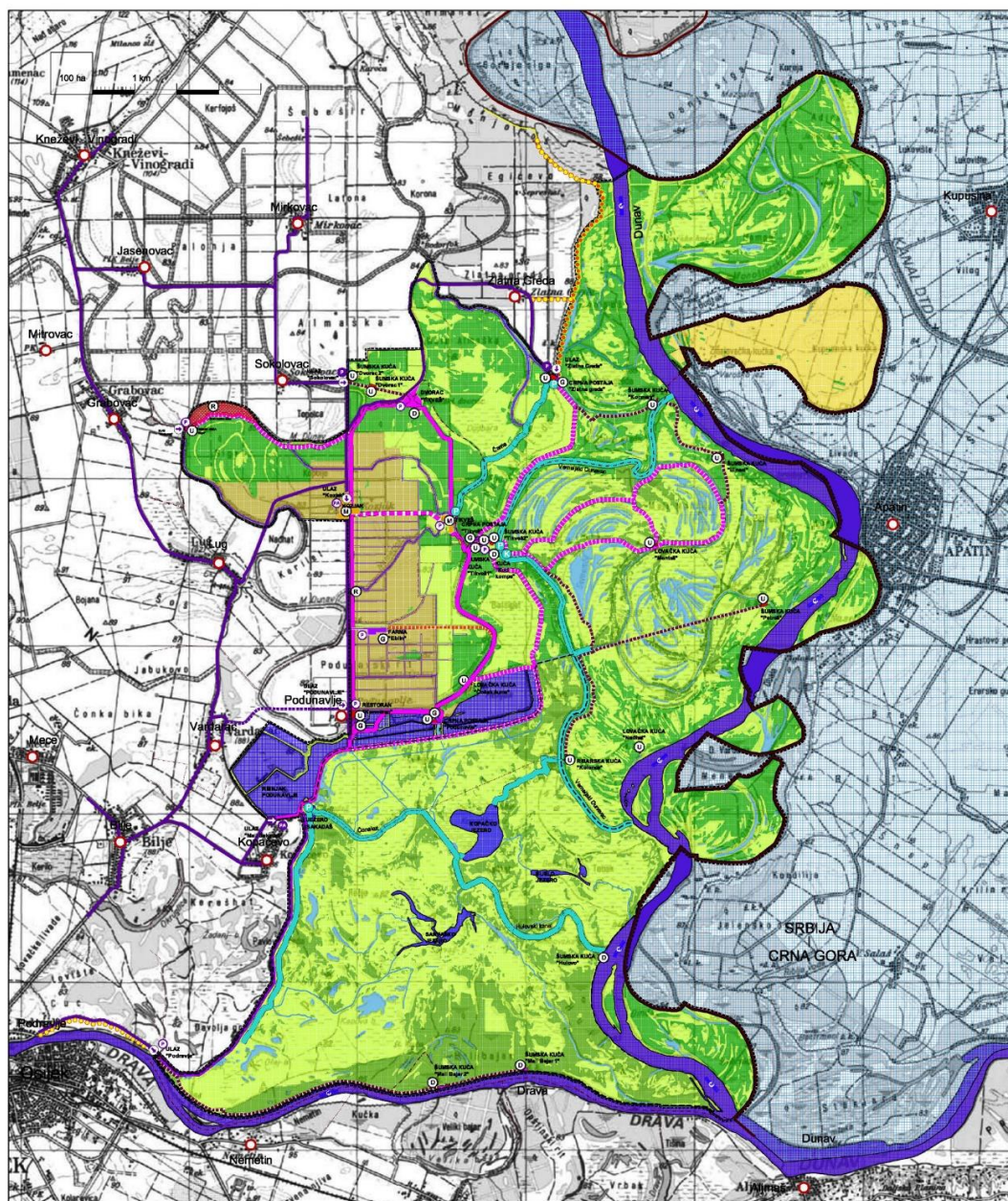
Slika 2.1. Položaj Parka prirode Kopački rit (Grigić i dr., 2006)

2.2. Hidrološke i hidrogeološke značajke

Park prirode Kopački rit jedinstven je po očuvanju ekosustava poplavnih nizina i raznolikosti života te predstavlja ujedno močvaru, poplavno područje Dunava i Drave i unutarnju deltu. Poplavno-riječni ekosustavi prirodni su fragmentirani sustavi s periodičkim hidrološkim vezama. Ukupna površina Parka prirode Kopački rit je 18 000 ha, a ukupna duljina kanala unutar Kopačkog rita iznosi 965 km (Tadić, 2014).

Na području Baranje mali je broj raspoloživih podataka za prikaz vodonosnih horizonata. Raspoloživi podaci ukazuju na jedinstveni šljunkovito-pjeskoviti horizont koji je vjerojatno nastavak vodonosnog horizonta istočnog dijela Republike Hrvatske, dok su nanosi šljunka vezani za kvartarne šljunkovite naslage u Republici Hrvatskoj. Dokazi navedenoga su podaci o crpljenju vode u sjevernoj Baranji (najveći kapacitet od 9 l/s ostvaren u okolini Baranjskog brda), što navodi na zaključak da vodonosni horizont na području Baranje ima jednoličan litološki sastav na kojem se mogu postići visoke izdašnosti crpljenja vode. Kopački rit dobiva vodu pritjecanjem iz rijeka Drave i Dunava, oborinama, pritjecanjem podzemnih voda, kondenzacijom vodene pare na površini vode i pritjecanjem iz stare Drave. Najznačajniji utjecaj za režim voda imaju rijeke Dunav i Drava. Obje rijeke imaju maksimum protoka za vrijeme topljenja snijega dok se pod utjecajem dugotrajnih i obilnih kiša javljaju poplave koje su moguće u svim godišnjim dobima. Zbog čestog kolebanja vodostaja Drave i Dunava, područje Kopačkog rita nije uvijek jednakom površinom pod vodom. U razdoblju sušnih godina, uz ravnomjernu raspoređenost oborina tijekom godine, poplave su rijetke i kraće, a ponekad i izostaju (Grigić i dr., 2006).

Dinamika oblikovanja korita Dunava i Drave jako se razlikuje od svog prvotnog prirodnog stanja. Regulacijom vodotoka, on je skraćen i hidraulički gradijenti su povećani što je dovelo do intenzivnijih erozijskih procesa. Također, ovisno o količini vode i intenzitetu plavljenja, mijenjaju se komponente ravnoteže vodne bilance. Tijekom visokih vodostaja dotjecanja i otjecanja (na koji većim dijelom utječe Dunav, a manjim rijeka Drava) dominantne su horizontalne sastavnice bilance vode. Tijekom prosječnih i manjih vodostaja dominantne su vertikalne komponente bilance kao što su oborine, transpiracija i evaporacija (Tadić, 2014).



Slika 2.3. Prostorni plan Parka prirode Kopački Rit (www.mpgi.gov.hr)

Osim Dunava i Drave hidrografsku mrežu čine Hulovski kanal, Novi kanal, Čonakut, Renovo, Nadhat te Bijelo, Kopačko i Sakadaško jezero. Bare i jezera su većim dijelom ostaci nekadašnjih korita rijeka, ali postoje i takve koje su nastale erozijskim djelovanjem prilikom povlačenja vode s poplavnog područja. Kopačko jezero je povezano s Dunavom preko Hulovskog kanala, a preko kanala Čonakut sa Sakadašom što se može vidjeti na prostornom planu Parka prirode Kopački rit (Slika 2.3.). Na osnovu višegodišnjih promatranja utvrđeno je kako se napajanje rezervata vodom vrši prvenstveno preko Hulovskog kanala i Nadhat foka iz Dunava i kanala Renova iz Drave. Hulovski kanal je

jako erodiran zbog širokih raspona brzina tečenja koje su rezultat stvaranja umjetnih barijera u samom kanalu te se zbog toga smatra glavnim kanalom za dotjecanje i otjecanje vode u Kopačkom ritu. Kanal Čokanut je također odgovoran za dotjecanje i otjecanje vode, ali ovdje erozija nije toliko izražena jer je širina kanala mnogo veća. Kanalom Renova voda otječe u rijeku Dravu te se može zaključiti da se pražnjenje vrši skoro isključivo preko Hulovskog kanala i Renova. Najveće brzine u vodotoku se pojavljuju neposredno prije prelijevanja. Nakon toga brzine se naglo smanjuju zbog povećanja istjecajnog profila koje je praćeno taloženjem nanosa. Pad razine vode uzrokuje kretanje vode natrag u vodeno korito i zatim dolazi do povećanja brzine protoka. Iz navedenog se može zaključiti da intenzitet pražnjenja i posljedično tome brzina protoka ovise o smanjenju razine vodostaja rijeke Dunav. Zbog činjenice da Park prirode Kopački rit postoji zbog rijeka Dunava i Drave te plavljenja Dunava, praćenje vodostaja i maksimalnih protoka je od izuzetne važnosti. Sva biološka raznolikost je također rezultat izmjene plavljenja i povlačenja vode te duljina trajanja poplava i povlačenja vode imaju znatan utjecaj na život svih prisutnih vrsta u Parku (Grigić i dr., 2006).

3. ISTRAŽNI RADOVI

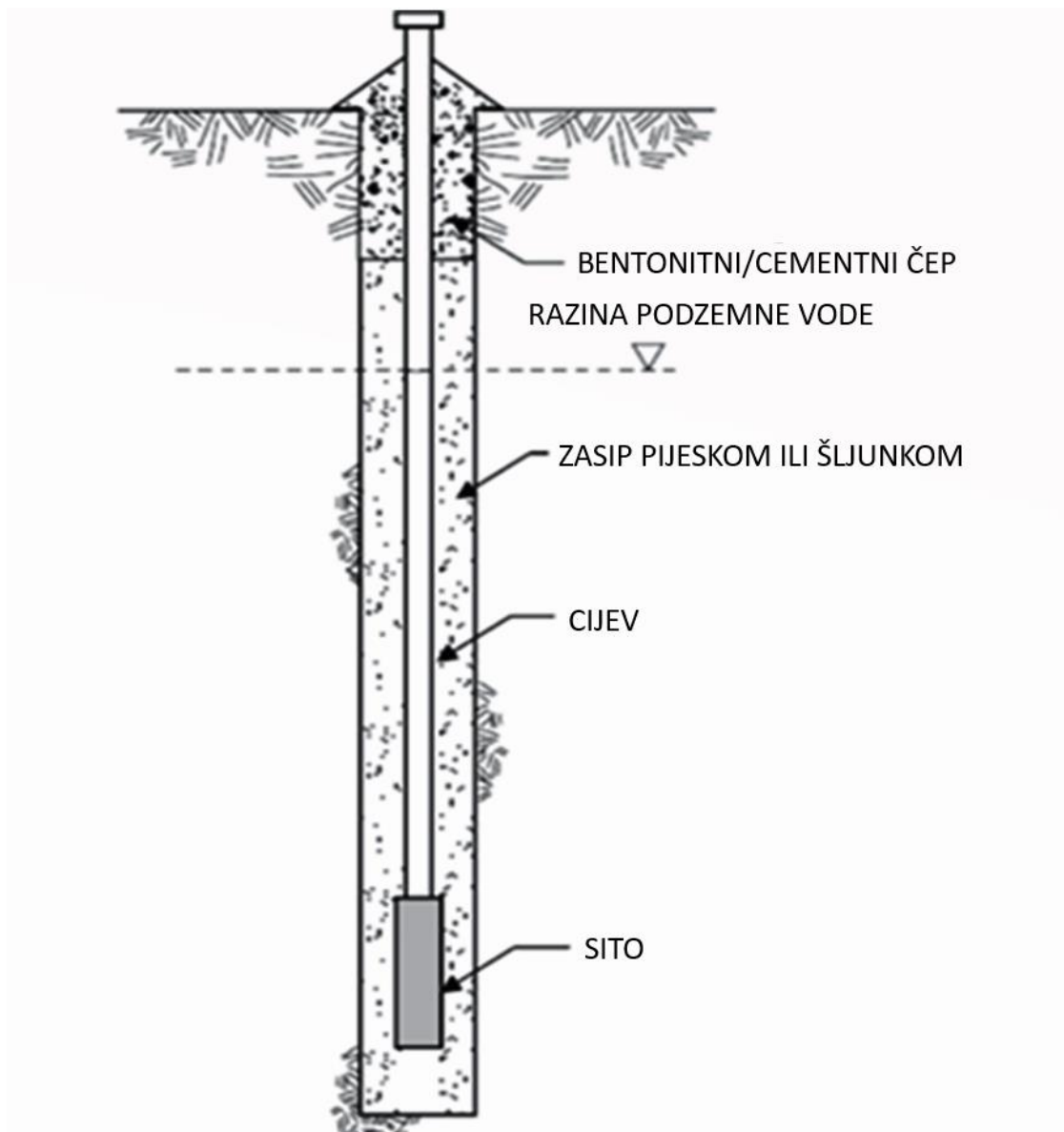
3.1. Izvođenje i tehnologija bušenja kod piezometarskih bušotina

Podzemna voda jedan je od najvažnijih prirodnih resursa. Kako bi dobili uvid u kvalitetu i količinu podzemne vode koriste se piezometarske bušotine. Piezometarske bušotine služe za praćenje razine podzemnih voda, određivanje parametara vodonosnika kao što su transmisivnost, hidraulička vodljivost i uskladištenje. Također, daju mogućnost uzorkovanja podzemne vode za potrebe provedbe kemijskih i mikrobioloških analiza. Svi navedeni parametri kasnije služe kao podloga za projekt zdenca za potrebe vodoopskrbe, navodnjavanja ili industrijske potrebe, ekološke studije i studije utjecaja na okoliš te projekte zaštite i remedijacije (čišćenja) podzemnih voda.

Piezometarske bušotine se mogu izvesti raznim metodama bušenja kao što su kontinuirano jezgrovanje, direktna i reversna metoda bušenja te rotacijska metoda bušenja u stijenskoj masi uz istovremeni ispuh materijala komprimiranim zrakom. Najpouzdanije podatke o litološkoj građi dobivamo kontinuiranim jezgrovanjem, jer se jezgra nabušena u tijeku bušenja pohranjuje u sanduke za jezgru duljine jednog metra tako da dubinski ekvivalent jezgre od jednog metra bude u jednom odjeljku sanduka.

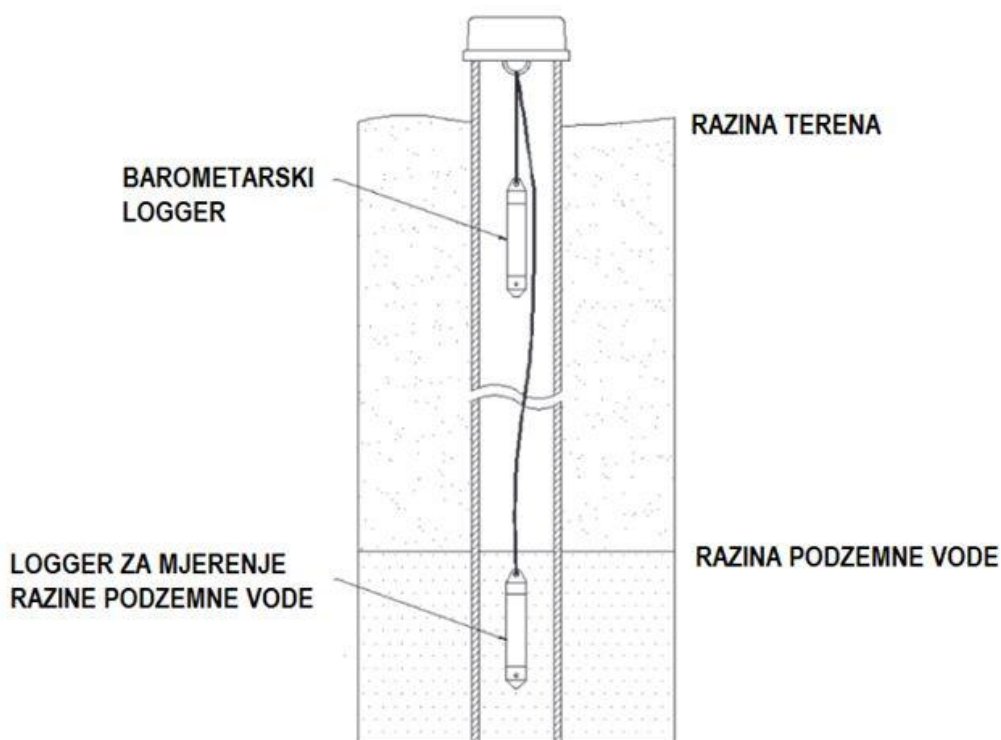
3.2. Ugradnja tehničke konstrukcije i osvajanje bušotine

U izbušenu bušotinu potrebno je ugraditi tehničku konstrukciju, odnosno cijevi kako bi se omogućilo korištenje piezometra (Slika 3.1.). Tehnička konstrukcija može biti od čelika, željeza zaštićenog antikorozivnim premazom ili od PVC-a, a materijal se bira ovisno o svrsi i dubini piezometra. Postoje tri vrste cijevi, a to su pune cijevi, taložnik i perforirane (filtarske) cijevi. Taložnik se ugrađuje na dno piezometra i služi za taloženje sitnih čestica ako ih ima. Filtarske cijevi ugrađuju se u vodonosni sloj ili u slojeve koji su zanimljivi za provođenje ispitivanja. Nakon ugradnje piezometarske konstrukcije i bušotine potrebno je ugraditi granulirani šljunak do dubine minimalno dva metra iznad filtarske sekcije. Iznad samog šljunka ugrađuje se glineno-bentonitni čep od kvalitetne gline do površine terena kako bi se spriječila infiltracija oborina i potencijalnih onečišćivača u vodonosnik.



Slika 3.1. Presjek piezometra (Novoselec, 2018)

Mjerenje razine podzemne vode i simultano mjerenje temperature vode izvodi se postavljanjem mikroprocesorskih automatskih mjerača razine vode (water level logger). Loggeri mjere temperaturu i tlak vode iznad instrumenta te su ovješeni na konopu odgovarajuće duljine, ovisno o dubini izvedbe piezometra ili zdenca (Slika 3.2.). Mogući intervali mjerenja kreću se od 1 sekunde do 18 sati te se biraju ovisno o vrsti projekta i dužini mjerenja razine podzemne vode.



Slika 3.2. Shema ugradnje zatvorenog loggера (www.geotech.hr)

Nakon procesa ugradnje tehničke konstrukcije i zasipa potrebno je očistiti i ukloniti pijesak i sitne čestice koji bi imali potencijalni utjecaj na rad pumpe. Čišćenje i osvajanje se provodi air liftom i kompresorom. Air lift ima dva načina rada, a to su šutiranje i miran način rada te njihova kombinacija. Šutiranje predstavlja naglo otvaranje i zatvaranje kompresora nakon kojeg slijedi miran način rada. Prilikom šutiranja u tehničku konstrukciju unosi se veća količina sitnih čestica i pijeska iz filtarskog zasipa. Piezometar se čisti i osvaja do prestanka iznošenja pijeska i do izbistrenja vode. U uvjetima mirnog načina rada kompresor daje konstantan volumen zraka i voda kontinuirano izlazi iz air-lift konstrukcije. Piezometri u hidrogeologiji daju mogućnost praćenja kakvoće i stanja podzemnih voda kroz neki vremenski interval i služe za izradu strategije upravljanja podzemnim vodama i zaštite iste.

3. 3. Izrada plitkih istražno-piezometarskih bušotina

U razdoblju od 23. studenog do 6. prosinca provedeni su radovi na 8 plitkih istražno-piezometarskih bušotina (PPKR-1,2,3,4,6,7,8,9). Transportom opreme i bušaće garniture na određenu lokaciju započela je izrada svake bušotine. Nakon transporta izvršeno je početno zabušenje „na suho“ do dubine od jednog metra i ugradnja uvodne kolone promjera 200 mm. Ostatak svake bušotine izveden je rotacijskim načinom bušenja trokrilnim dlijetom promjera 180 mm uz korištenje direktne cirkulacije vode kao isplake za iznos materijala. Dubina svih istražno-piezometarskih bušotina iznosila je 16m uključujući i podbušenje osim na lokaciji PPKR-6 gdje je dubina iznosila 22 m zbog nešto debljih pokrovnih naslaga te dubljeg zalijeganja vodonosnog horizonta. U bušotine su ugrađene PVC konstrukcije promjera 88,9/78 mm, tipa Plafondplast, koje se sastoje od punih visokotlačnih PVC cijevi i PVC sita otvora veličine 1 mm, omotanih gustom filtarskom mrežicom filtracijskog otvora 0,2 mm. Debljina stijenki PVC cijevi i sita iznosi 5 mm, a spajani su originalnim navojima. Raspored i količina ugrađenih sita ovisili su o nabušnim vodonosnim naslagama na pojedinim lokacijama, pri čemu se vodilo računa da sita ne ostanu „na suhom“ u hidrološkim uvjetima niskih voda. Nakon ugradnje pojedine konstrukcije svaki piezometar je osvajan metodom „air-lifta“ pomoću kompresora i tlačnog gumenog crijeva, te naknadno crpljenjem potopnom crpkom MP-1 snage 1,3 kW, do konačnog izbistrenja vode. Vrijeme trajanja čišćenja pojedinog piezometra ovisilo je o izdašnostima koje su varirale od veoma izdašnih (vodonosnik karakteriziran srednjezrnim do krupnim pijescima) do manje izdašnih (sitni, prašinski pijesci) koji su ispirani čistom vodom.

Izrada bušotina s kontinuiranim jezgrovanjem provedena je u razdoblju od 16. prosinca 2020. godine do 4. ožujka 2021. godine. Bušenje je vršeno na suho, jezgrenim aparatom promjera 146 mm, uz popratno utiskivanje zaštitnih kolona promjera 152 mm. Postignute dubine bušotina s kontinuiranim jezgrovanjem iznose 20 m za bušotinu PPKR-5 i 72 m za bušotinu DPKR-1. U bušotine su ugrađene PVC konstrukcije s ugrađenim sitima s istim karakteristikama kao i kod plitkih bušotina. Nakon ugradnje oba piezometra su osvojena air-liftom do prestanka iznošenja krupnih čestica i izbistrenja vode.

Nakon izvođenja svih radova, konstrukcije piezometara osigurane su čeličnim zaštitnim cijevima promjera 125 mm s poklopcem, lokotom i signalnom šipkom, pri tlu osiguranim masivnim betonskim blokovima čije su dimenzije ovisile o visinama čeličnih cijevi. Visina zaštitnih cijevi ovisila je o maksimalnim vodostajima očekivanim za lokacije pojedinih

piezometara, odnosno u područjima „branjenim“ od poplava ona iznosi 1 m od razine tla s blokom dimenzija 0,5 x 0,5 x 0,3 m, dok se u plavljenim područjima njihova visina kreće i do 5 m iznad tla s betonskim blokovima većih dimenzija. Kod piezometara s višim zaštitnim cijevima, unutar samih cijevi je dodatno nadograđena originalna PVC konstrukcija do konačne visine piezometra kako bi se spriječio eventualni prodor površinskih voda u periodima visokih vodostaja. Na visokim zaštitnim cijevima s vanjske strane su izrađene ljestve do vrha kako bi se omogućilo nesmetano mjerenje i uzorkovanje voda i u suhom periodu i za vrijeme visokih voda.

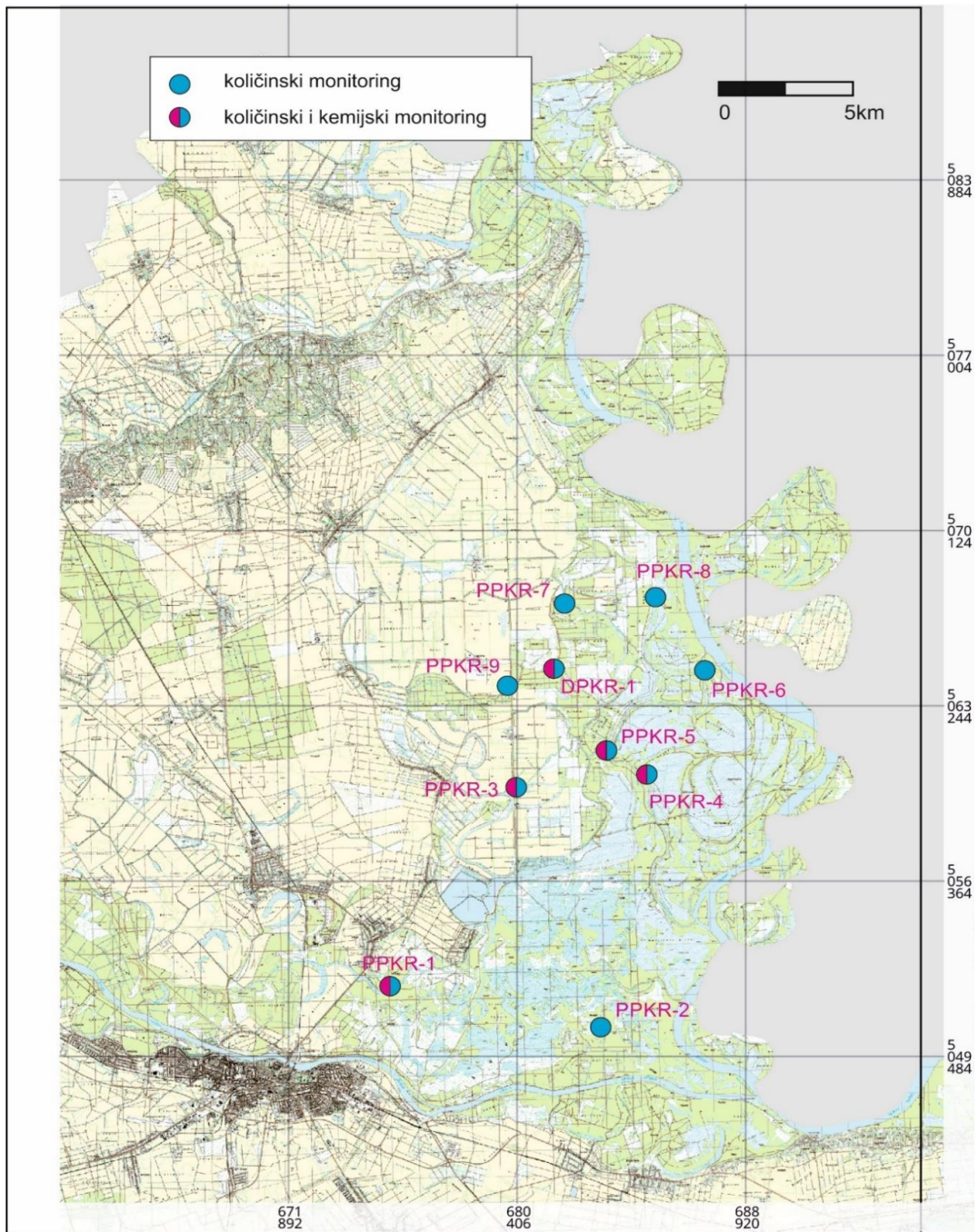
3.4. Terenske lokacije piezometara

Za potrebu hidrogeološkog monitoringa, u okviru projekta „Bušenje istražno-piezometarskih bušotina“, izvedeno je 10 piezometara - 9 plitkih (PPKR-1 do PPKR-9) i jedna duboka bušotina (DPKR-1) u koje su ugrađeni automatski mjerači razine podzemne vode, koji, osim razina podzemne vode, registriraju elektrovodljivost i temperaturu s jednosatnom rezolucijom. Za kompenziranje atmosferskog tlaka koristi se jedan automatski mjerač tlaka postavljen na zaštićenoj lokaciji. Terenske lokacije istražno-piezometarskih bušotina prikazane su na slici 3.3.

Nakon izvedbe piezometara, 3. i 4. ožujka 2021. godine izvršeno je geodetsko iskolčenje istražno-piezometarskih bušotina. Ukupno je snimljeno 11 točaka u HTRS96/TM koordinatama E, N i z (kota terena i kota vrha zaštitne cijevi). Za većinu piezometara izmjerena je samo kota z terena budući da mjerenje na vrhu zaštitnih cijevi dimenzija 3 i više metara nije bilo izvedivo, no za navedene piezometre posebno je izmjerena visina zaštitnih cijevi koja je dodana na kotu visine terena. Koordinate pojedinih istražno-piezometarskih bušotina (E, N i z) prikazane su u tablici 3-1.

Tablica 3-1. Koordinate istražno-piezometarskih bušotina:

Bušotina	E koordinata	N koordinata	z m.n.v. (tlo)	z m.n.v. (vrh)
PPKR-1	675778,52	5052213,39	82,67	83,67
PPKR-2	683618,19	5049688,00	82,63	85,83
PPKR-3	680291,37	5060142,03	81,55	82,55
PPKR-4	684280,07	5061222,08	82,21	86,11
PPKR-5	683689,27	5061351,61	82,34	85,34
PPKR-6	685994,66	5064270,15	82,96	86,06
PPKR-7	682163,36	5067217,55	80,62	82,12
PPKR-8	685594,58	5067559,43	82,24	87,24
PPKR-9	680099,86	5063749,39	82,48	83,48
PPKR-10	685975,77	5069934,91	85,77	-
DPKR-1	681950,81	5064545,01	82,40	83,40



Slika 3.3. Lokacije piezometara uključenih u količinski monitoring (Duić i dr., 2021)

Piezometar PPKR-1 (Slika 3.4.) nalazi se izvan granica PP Kopački rit, nedaleko od naselja Bilje. Izbušen je do dubine 16 m, a sito je ugrađeno u intervalu 5,30-11,30 m ispod kojeg sa nalazi taložnik dužine 3,5 m. U piezometar je ugrađen automatski mjerac (logger) razine, elektrovodljivosti i temperature.



Slika 3.4. Piezometar PPKR-1 (Duić i dr., 2021)

Piezometar PPKR-2 (Slika 3.5.) smješten je u inundacijskom području unutar PP Kopački rit na lokalitetu Mali Bajar. Izbušen je do dubine 16 m, a sito je ugrađeno u intervalu 8,30-14,30 m ispod kojeg sa nalazi taložnik dužine 0,5 m. U piezometar je ugrađen automatski mjerac (logger) razine, elektrovodljivosti i temperature.



Slika 3.5. Piezometar PPKR-2 (Duić i dr., 2021)

Piezometar PPKR-3 (Slika 3.6.) smješten je uz lokalnu prometnicu. Izbušen je do dubine 16 m, a sito je ugrađeno u intervalu 8,30-11,30 m ispod kojeg sa nalazi taložnik dužine 3,5 m. U piezometar je ugrađen automatski mjerač (logger) razine, elektrovodljivosti i temperature.



Slika 3.6. Piezometar PPKR-3 (Duić i dr., 2021)

Piezometar PPKR-4 (Slika 3.7.) smješten je nedaleko bare Semeča. Izbušen je do dubine 16 m, a sito je ugrađeno u intervalu 8,30-14,30 m ispod kojeg sa nalazi taložnik dužine 0,5 m. U piezometar je ugrađen automatski mjerač (logger) razine, elektrovodljivosti i temperature.



Slika 3.7. Piezometar PPKR-4 (Duić i dr., 2021)

Piezometar PPKR-5 (Slika 3.8.) smješten je uz Vemeljski Dunavac, nedaleko od crpne stanice Tikveš. Izbušen je uz kontinuirano jezgrovanje do dubine 20 m, a sito je ugrađeno u intervalu 9,00-15,00 m ispod kojeg sa nalazi taložnik dužine 1 m. U piezometar je ugrađen automatski mjerač (logger) razine, elektrovodljivosti i temperature.



Slika 3.8. Piezometar PPKR-5 (Duić i dr., 2021)

Piezometar PPKR-6 (Slika 3.9.) smješten je u inundacijskom području uz Vemeljski Dunavac, na lokalitetu Kormanj. Izbušen je do dubine 22 m, a sito je ugrađeno u intervalu 17,30-20,30 m ispod kojeg sa nalazi taložnik dužine 0,5 m. U piezometar je ugrađen automatski mjerač (logger) razine, elektrovodljivosti i temperature.



Slika 3.9. Piezometar PPKR-6 (Duić i dr., 2021)

Piezometar PPKR-7 (Slika 3.10.) smješten je uz prometnicu koja od Tikveškog dvorca vodi prema Zlatnoj gredi. Izbušen je do dubine 16 m, a sito je ugrađeno u intervalu 5,30-11,30 m ispod kojeg sa nalazi taložnik dužine 3,5 m. U piezometar je ugrađen automatski mjerač (logger) razine, elektrovodljivosti i temperature.



Slika 3.10. Piezometar PPKR-7 (Duić i dr., 2021)

Piezometar PPKR-8 (Slika 3.11.) smješten je u inundacijskom području uz nasip nedaleko lugarske kuće. Izbušen je do dubine 16 m, a sito je ugrađeno u intervalu 8,30-14,30 m ispod kojeg sa nalazi taložnik dužine 0,5 m. U piezometar je ugrađen automatski mjerač (logger) razine, elektrovodljivosti i temperature.



Slika 3.11. Piezometar PPKR-8 (Duić i dr., 2021)

Piezometar PPKR-9 (Slika 3.12.) smješten je uz prometnicu Kozjak-Sokolovac. Izbušen je do dubine 16 m, a sito je ugrađeno u intervalu 8,30-14,30 m ispod kojeg sa nalazi taložnik dužine 0,5 m. U piezometar je ugrađen automatski mjerač (logger) razine, elektrovodljivosti i temperature.



Slika 3.12. Piezometar PPKR-9 (Duić i dr., 2021)

Piezometar DPKR-1 (Slika 3.13.) smješten je uz Tikveški dvorac. Izbušen je uz kontinuirano jezgrovanje do dubine 72 m, a sito je ugrađeno u intervalu 50,00-65,00 m ispod kojeg sa nalazi taložnik dužine 3,0 m. U piezometar je ugrađen automatski mjerac (logger) razine, elektrovodljivosti i temperature.



Slika 3.13. Piezometar DPKR-1 (Duić i dr., 2021)

3.5. Uzorkovanje i obrada sedimentacijskih i erozijskih podataka

Projekt Naturavita osim opisanog količinskog monitoringa ima za zadatak postaviti opažačku mrežu te kroz tri godine mjeriti eroziju i recentnu sedimentaciju. Područje Parka prirode predstavlja izuzetno kompleksan i dinamičan taložni sustav rijeke Drave i Dunava. Neprestana kolebanja razina vodostaja tih dviju rijeka, klimatske promjene i ljudski utjecaji uzrokuju promjene u riječnim i taložnim režimima koje mogu biti i negativne. Zaštićeno područje Parka prirode izrazito je osjetljivo te je uz dugoročni negativni trend, upitna opstojnost Kopačkog rita u ovakvom stanju. Stoga je napravljena opažačka mreža s gustoćom mjernih lokacija na temelju očekivanja najsnažnijih djelovanja sedimentacije i erozije. Isto tako, mjerne lokacije su postavljene i na područjima Parka u kojima se očekuje manji utjecaj taloženja i erozije.

Opažačka mreža postavljena je od 26.1.2021. do 19.3.2021. te je načinjeno 50 mjernih postaja. Očitavanja recentne sedimentacije obavljena su u dvije etape, prva od 12.7.2021. do 16.7.2021. te druga od 14.11.2021. do 19.11.2021. U prvoj etapi postavljanja postavljeno je pet mjernih postaja, jedna u kanalu Čonakut te četiri u Kopačevskom jezeru kako bi se potvrdilo da će dizajn mjernih postaja odgovarati svim vremenskim i hidrološkim uvjetima u Parku prirode. Ostalih 45 mjernih postaja postavljeno je u drugoj etapi. Očitavanja recentne sedimentacije predviđena su i obavljena četiri puta godišnje. Dio mjernih postaja ima pristup s kopna (Slike 3.14. i 3.15.) dok se do nekih postaja moralo doći čamcem (Slika 3.16.).



Slika 3.14. Lokacija mjernog stupića NVS-44 (Pavelić i dr. 2021)

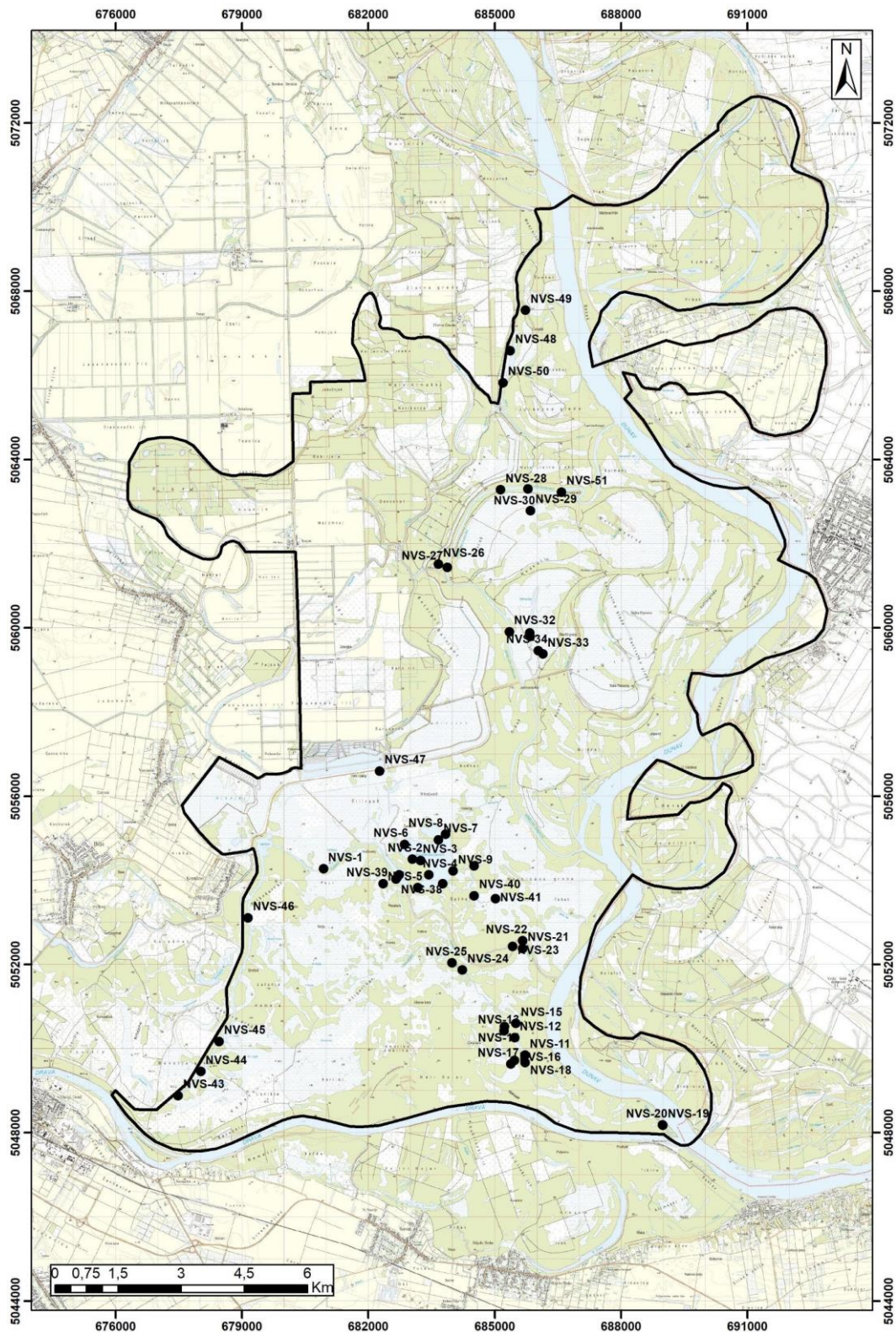


Slika 3.15. Pristup mjernim lokacijama NVS-43 i NVS-44 (Pavelić i dr. 2021)



Slika 3.16. Očitavanje mjerne lokacije NVS-5 (Pavelić i dr. 2021)

Lokacije svih mjernih postaja vidljive su na slici 3.17.



Slika 3.17. Karta mjernih postaja recentne sedimentacije/erozije M1:100 000 (Pavelić i dr. 2021)

4. KORIŠTENE METODE I SOFTVERI

BaroMerge softver (Slika 4.1.) je dio programskog paketa softvera Win-Situ 5 koji se koristi za naknadnu korekciju podataka senzora apsolutne razine kako bi se eliminirali učinci barometarskog tlaka iz mjerenja. Softveru BaroMerge se može pristupiti putem izbornika Win-Situ 5 softverskih alata. BaroMerge nudi tri opcije za ispravljanje podataka:

1. Fiksna korekcija – jedna vrijednost pomaka primjenjuje se na sve odabrane loggerske podatke. Ova opcija se koristi ako je poznat barometarski tlak na mjestu ispitivanja i ako taj tlak ostane nepromijenjen.
2. Ručni unos – navode se dvije ili više vrijednosti korekcije koje će se primijeniti na podatke loggера. Ova opcija se koristi ako se želi ručno unijeti skup podataka o vrijednostima barometarskog tlaka.
3. Baro TROLL Log file – točke podataka senzora apsolutne razine pojedinačno se korigiraju kako bi odražavale promjene barometarskog tlaka koje je zabilježio Baro TROLL instrument tijekom određenog vremenskog razdoblja.



Slika 4.1. Win-Situ 5 - Baro Merge

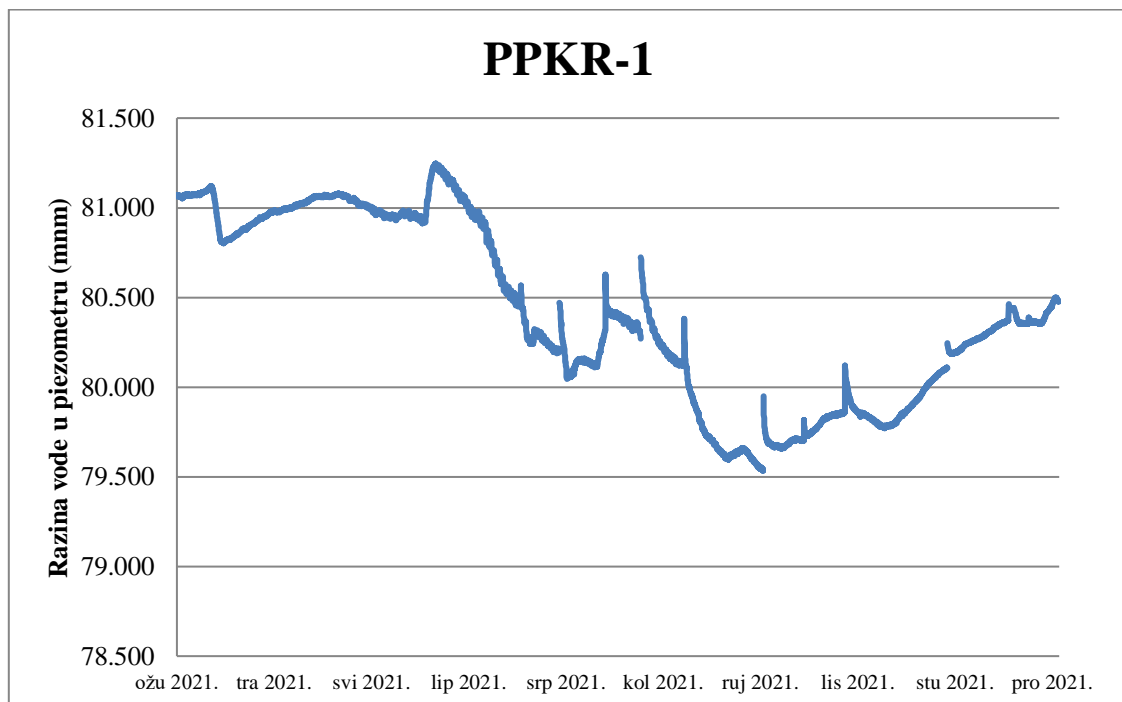
5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

5.1. Rezultati istraživanja količinskog monitoringa

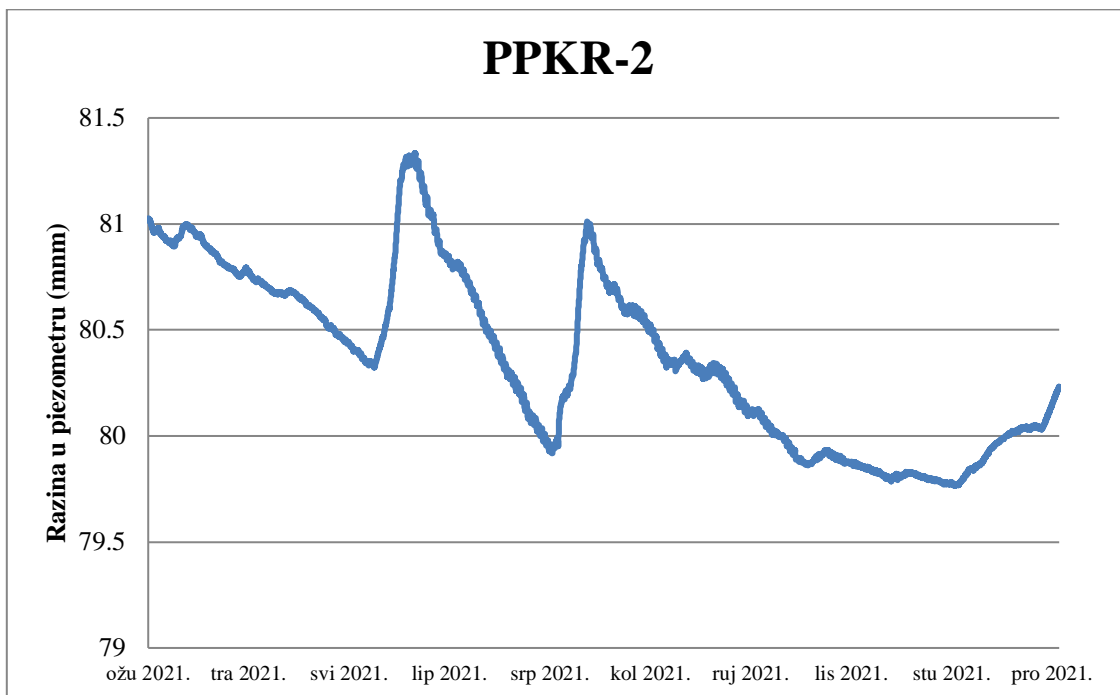
Istražni radovi na području Kopačkog rita provedeni su u svrhu studije revitalizacije ekosustava podzemnih voda. Obavljene su aktivnosti koje obuhvaćaju monitoring podzemnih voda te je bilo predviđeno odrediti dinamiku podzemnih voda, njihovo stanje na temelju količinskih pokazatelja, hidrogeološke parametre te povezanost podzemnih i površinskih voda.

U radu je fokus stavljen na odnos podzemnih i površinskih voda te uzorkovanje količinskih pokazatelja što zapravo uključuje motrenje razine podzemne vode u piezometrima u koje su ugrađeni loggeri. Koriste se In-Situ loggeri modela AquaTROLL 200 s pripadajućim programskim rješenjem za prikupljanje i obradu podataka Win-Situ.

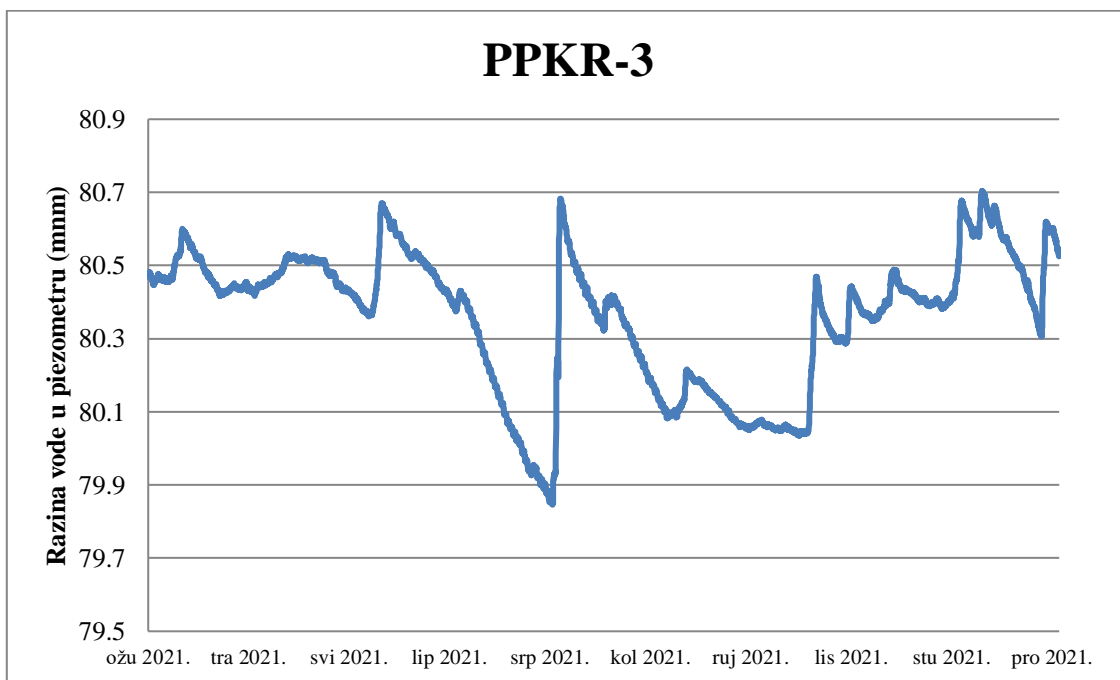
U nastavku su prikazani dijagrami razina podzemnih voda u svim piezometrima u kojima se nalaze loggeri (Slike 5.1.-5.9.). Loggeri automatski mjere razine podzemne vode te se podaci prebacuju u program Microsoft Excel. Sva mjerenja razina u piezometrima prikazana su u metrima nadmorske visine. Podaci su prikazani za razdoblje od 4. ožujka do 31. prosinca 2021. godine.



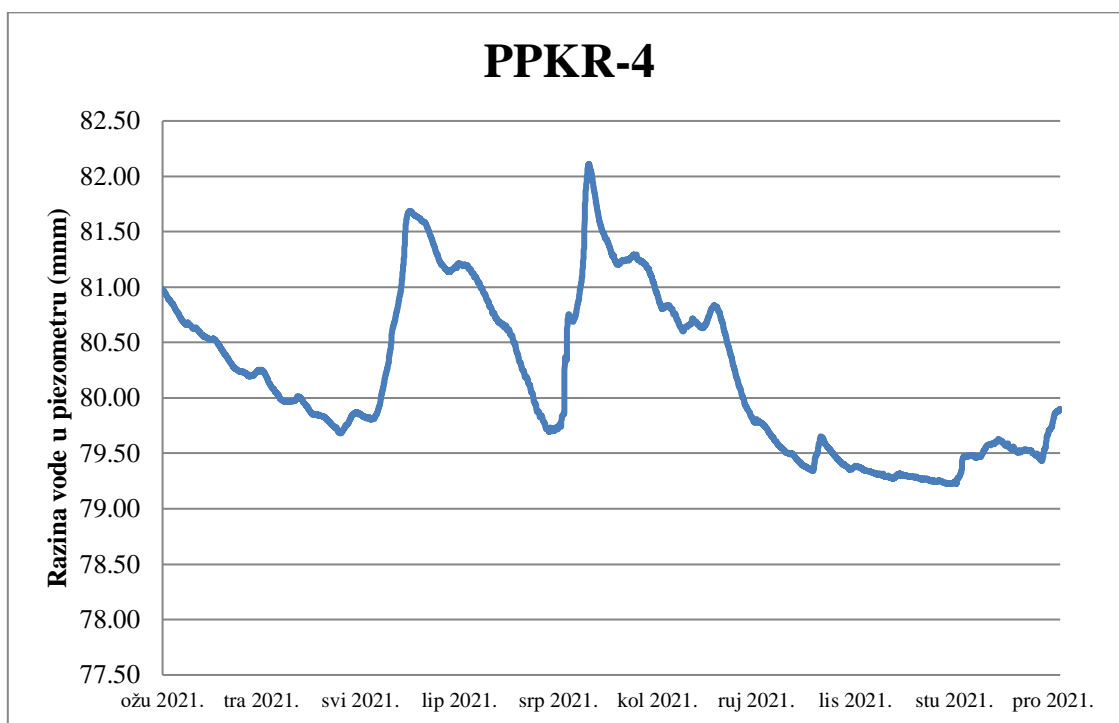
Slika 5.1. Korigirana razina u piezometru PPKR-1



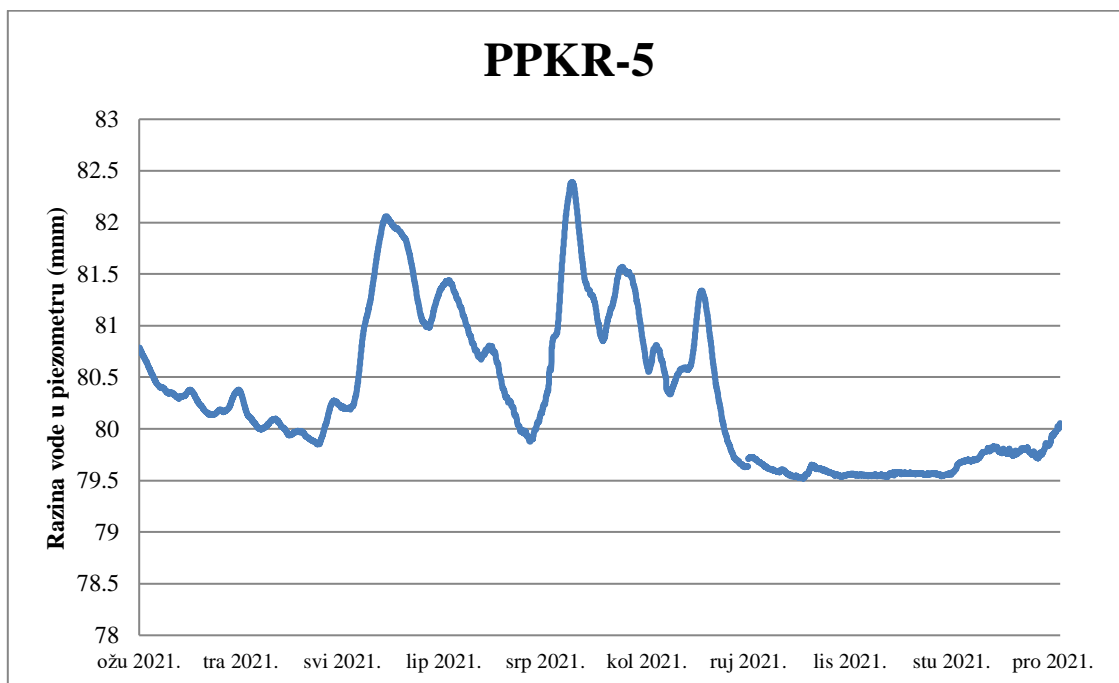
Slika 5.2. Korigirana razina u piezometru PPKR-2



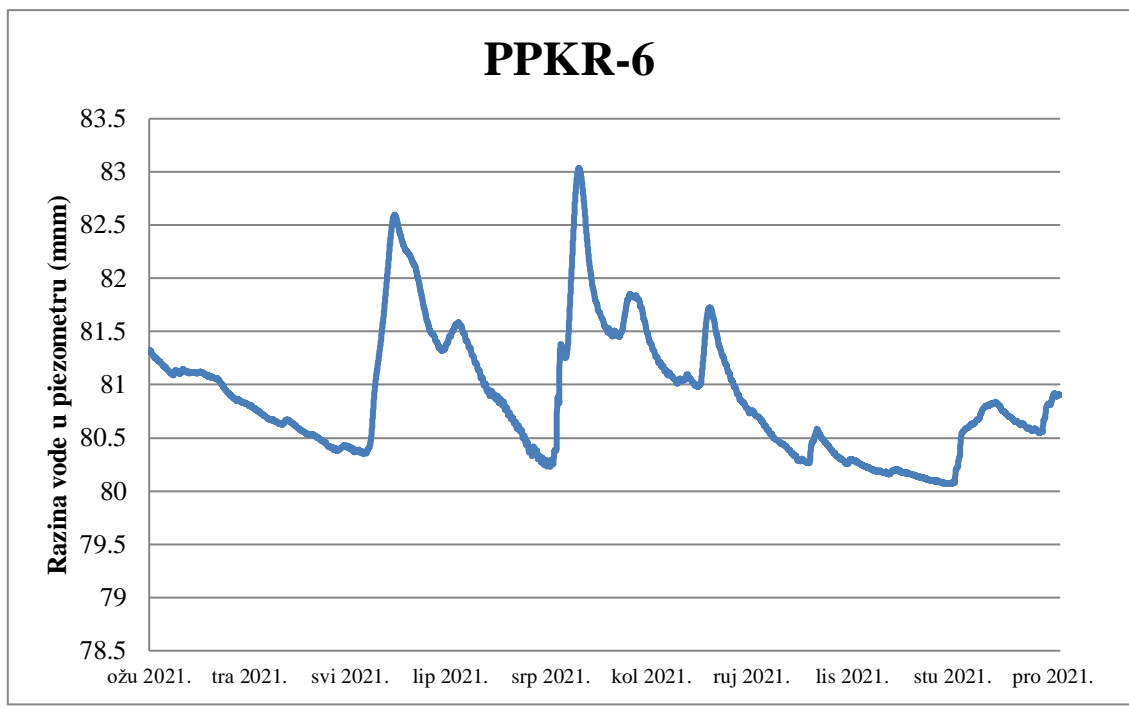
Slika 5.3. Korigirana razina u piezometru PPKR-3



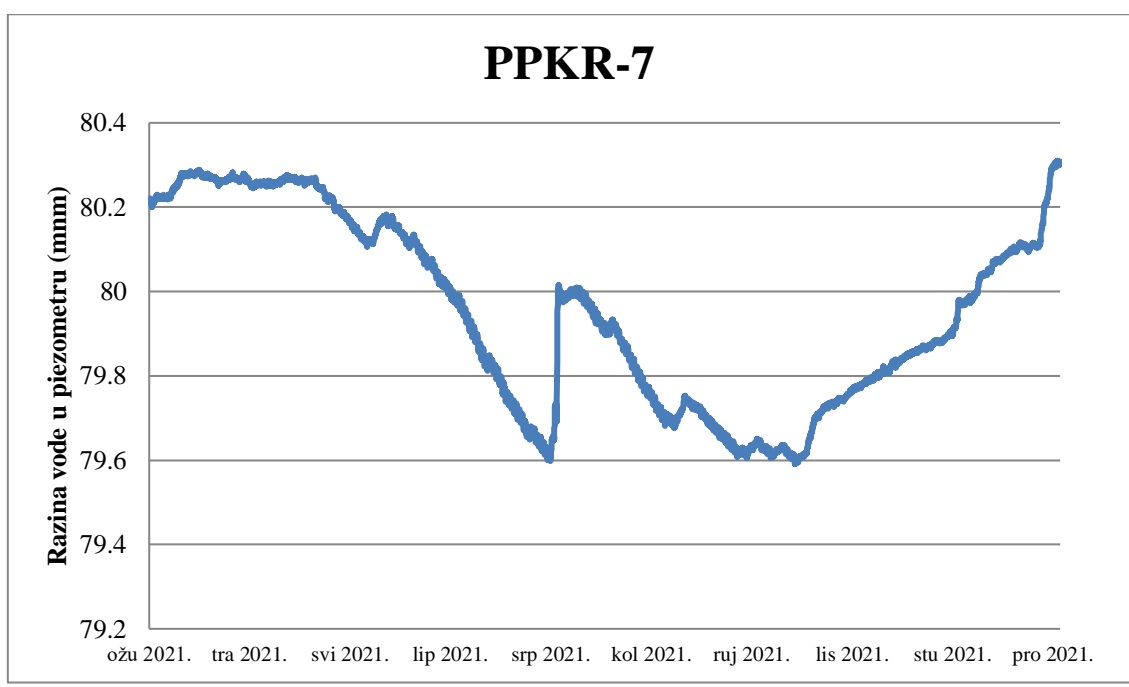
Slika 5.4. Korigirana razina u piezometru PPKR-4



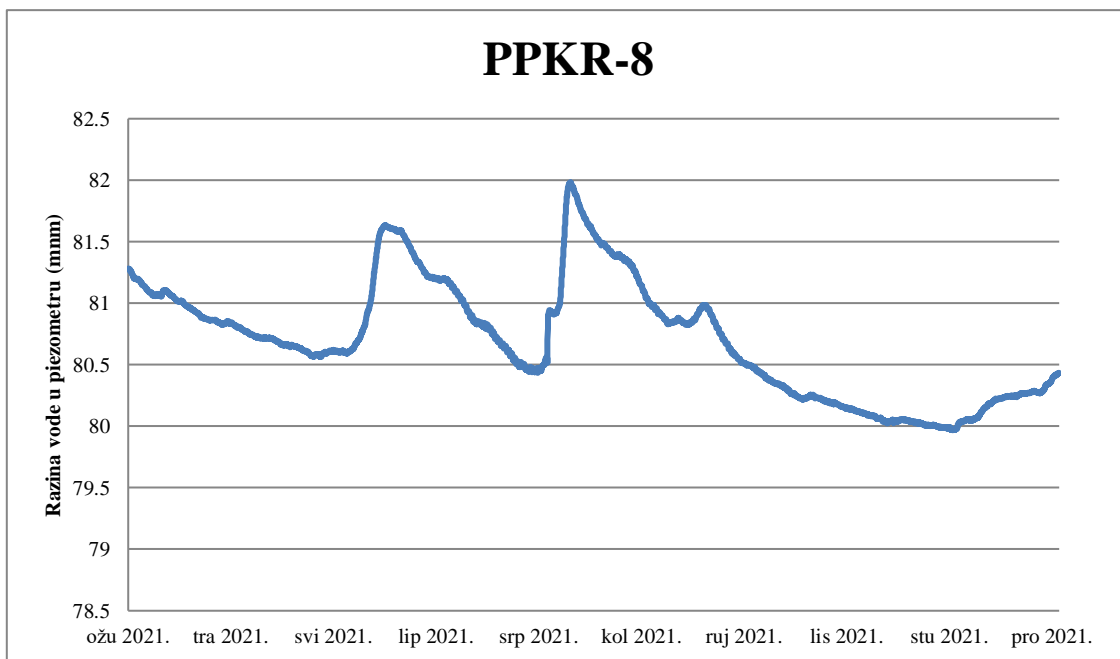
Slika 5.5. Korigirana razina u piezometru PPKR-5



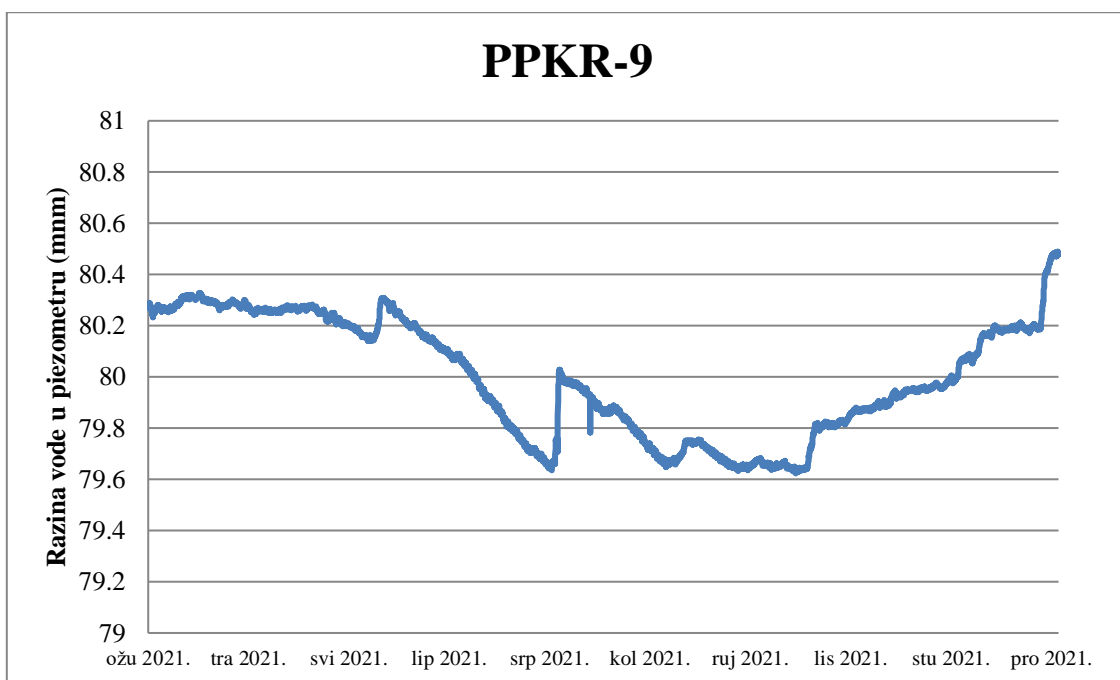
Slika 5.6. Korigirana razina u piezometru PPKR-6



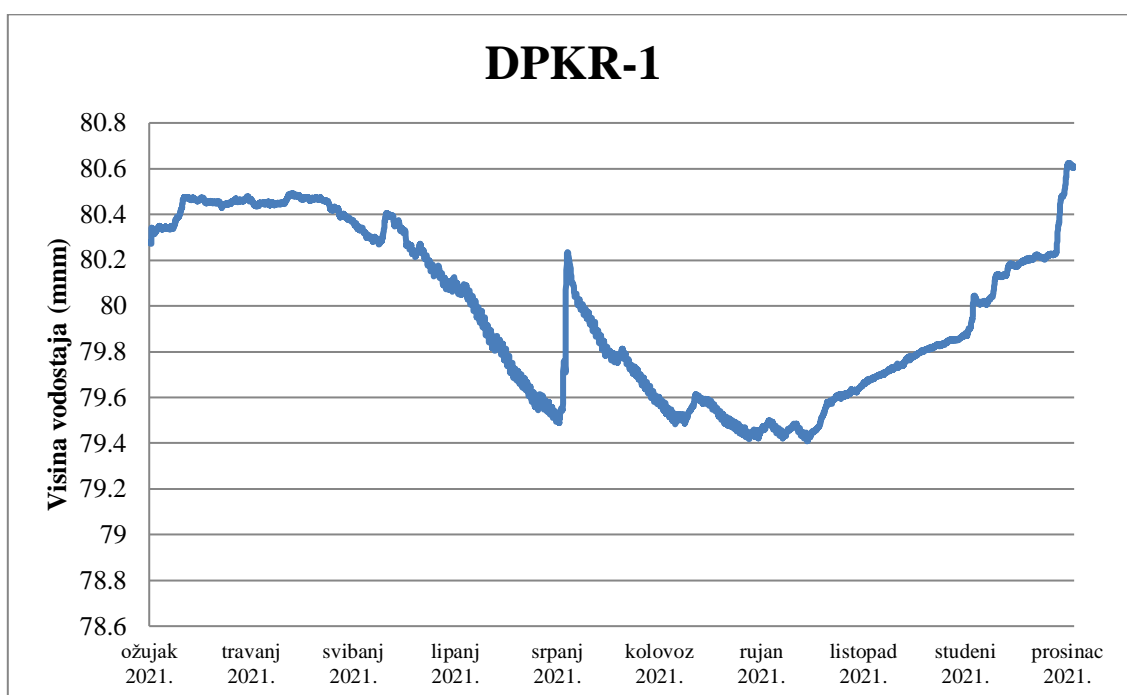
Slika 5.7. Korigirana razina u piezometru PPKR-7



Slika 5.8. Korigirana razina u piezometru PPKR-8

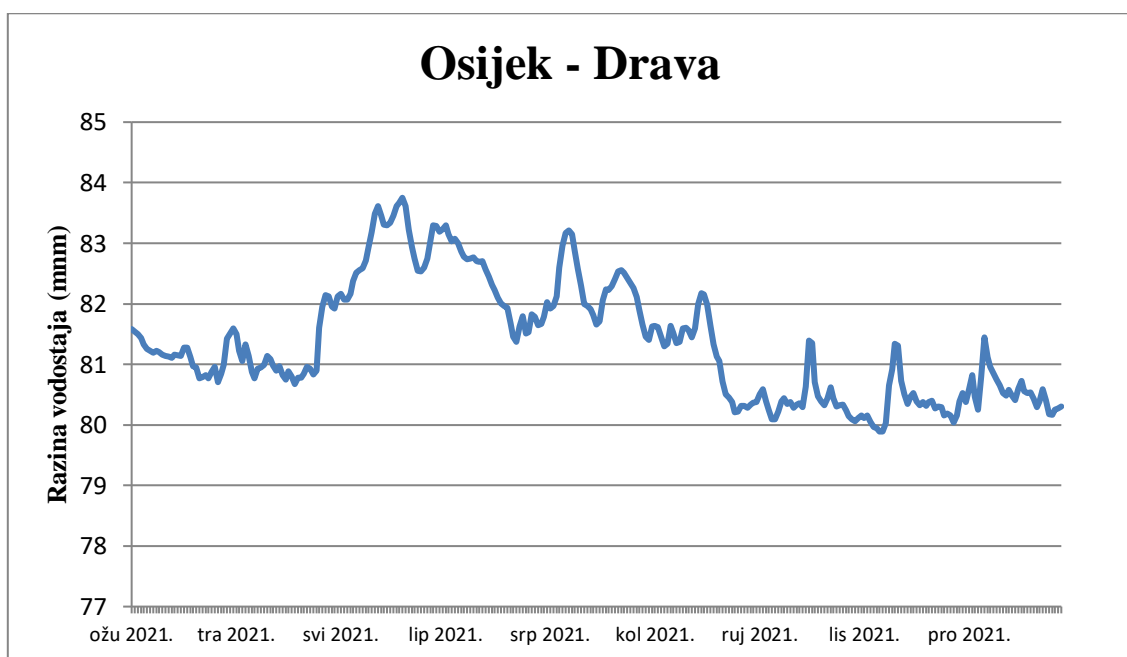


Slika 5.9. Korigirana razina u piezometru PPKR-9

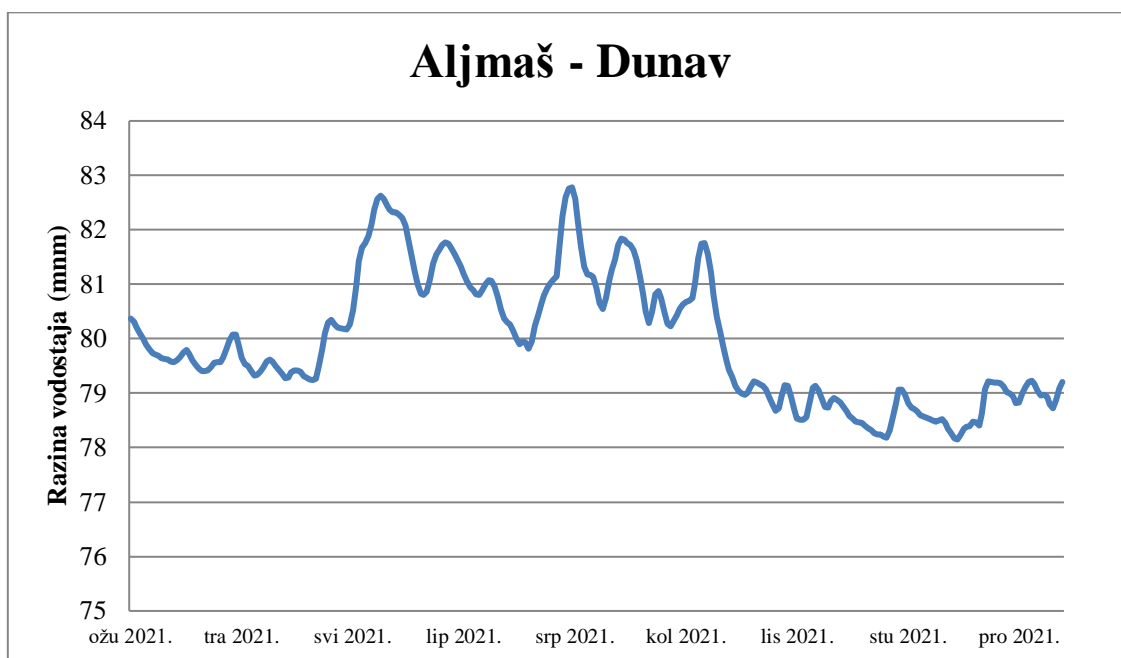


Slika 5.10. Korigirana razina u piezometru PPKR-9

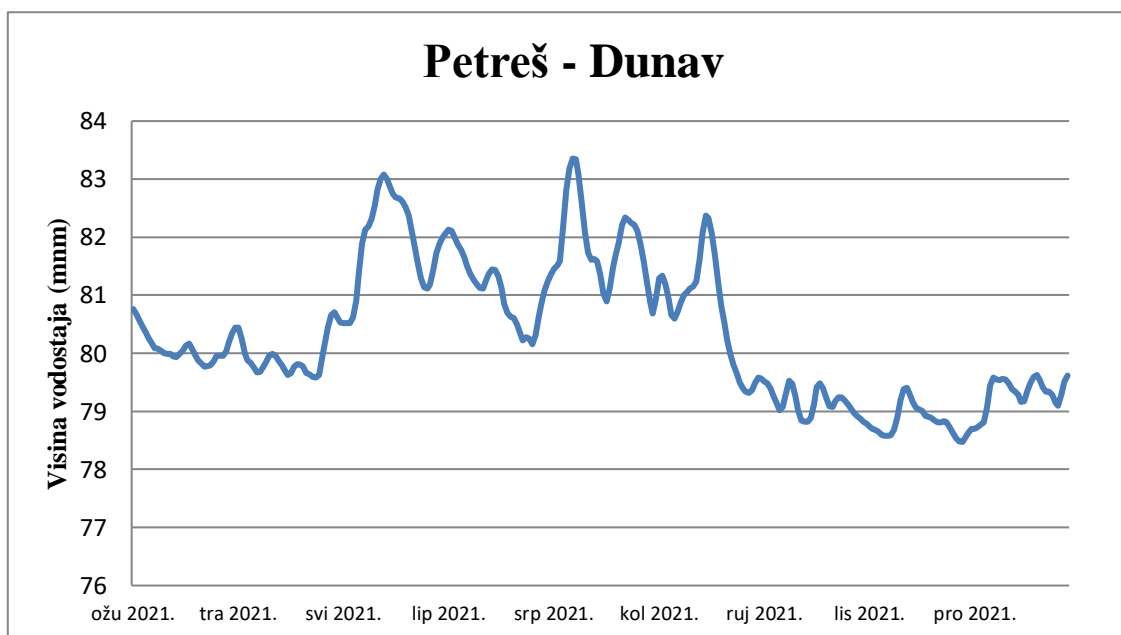
U sljedećim grafovima su prikazani dnevni vodostaji korigirani za kotu „0“ na pet stanica: Osijek – Drava, Aljmaš – Dunav, Petreš – Dunav, Siga – Dunav i Batina – Dunav (Slika 5-10.-5-13.). Podaci su prikazani za razdoblje od 4. ožujka do 31. prosinca 2021. godine.



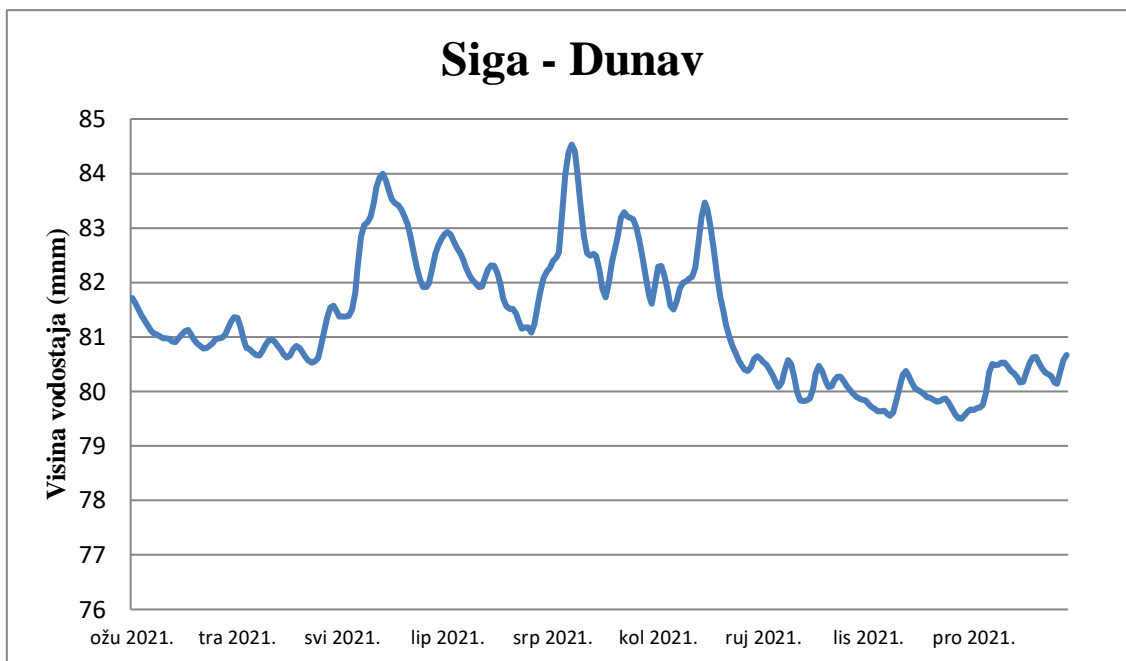
Slika 5.11. Dnevni vodostaji na postaji Osijek-Drava



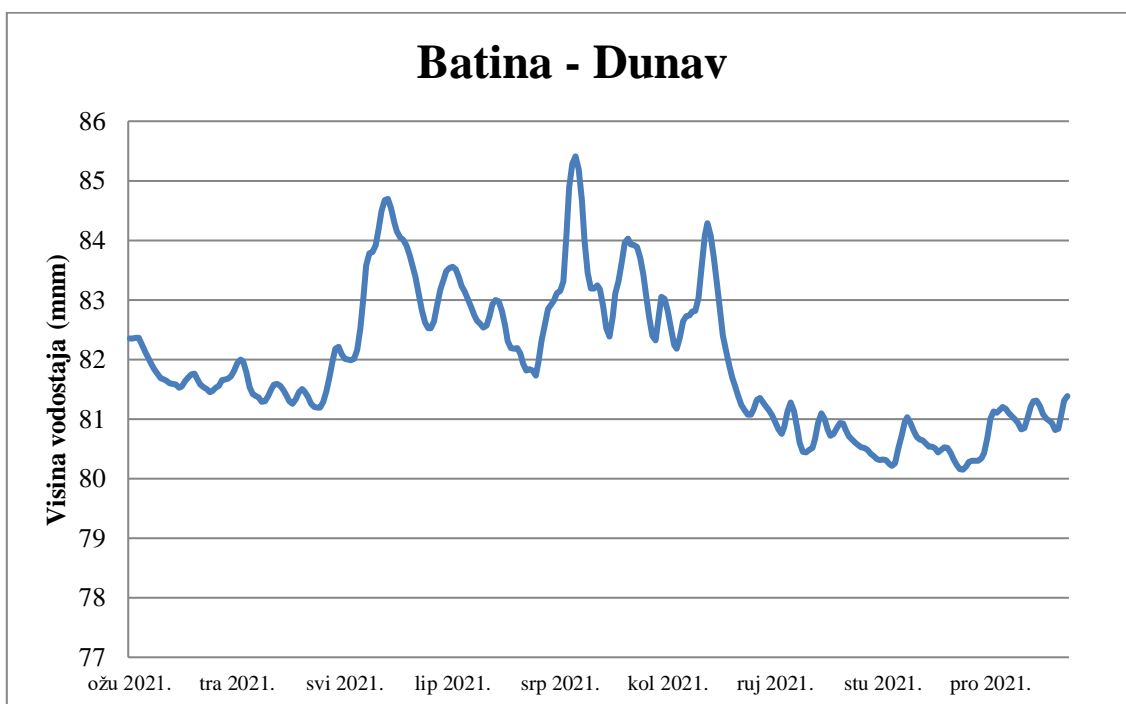
Slika 5.12. Dnevni vodostaji na postaji Aljmaš-Dunav



Slika 5.13. Dnevni vodostaji na postaji Petreš – Dunav



Slika 5.14. Dnevni vodostaji na postaji Siga – Dunav



Slika 5.15. Dnevni vodostaji na postaji Batina – Dunav

Rezultati istraživanja količinskog monitoringa daju uvid u stanje razina vodostaja rijeka Dunava i Drave na temelju dnevnih podataka s vodomjernih postaja te stanje razina podzemne vode na temelju automatskog mjerenja pomoću loggera ugrađenih u piezometre.

Navedeni podaci daju uvid u dosadašnje stanje razina te se na temelju istih može predvidjeti vremensko razdoblje kad bi se mogli pojaviti minimumi i maksimumi. Monitoringom vodostaja rijeka Drave i Dunava u razdoblju od početka ožujka do kraja prosinca utvrđeno je da se lokalni maksimumi pojavljuju tijekom svibnja i traju sve do rujna. Razlog pojavljivanja maksimuma u proljetnim i ljetnim mjesecima je topljenje snijega u Alpama koje uzrokuje povećanje razina u rijekama te posljedično tome plavljenja u Parku prirodne Kopački rit.

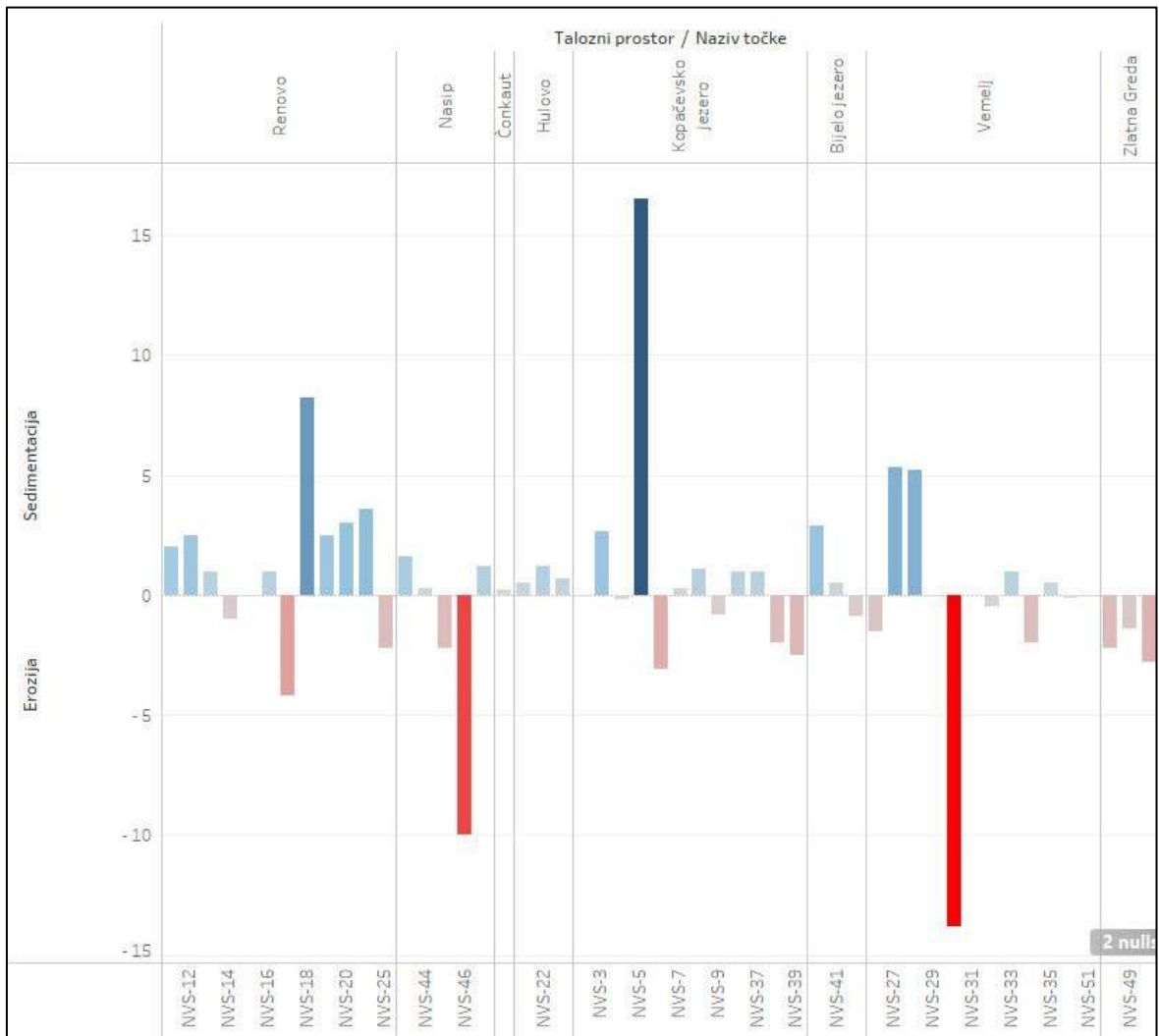
Količinskim monitoringom podzemnih voda u piezometrima također je utvrđena sličnost pojava lokalnih maksimuma i minimuma iz čega se može zaključiti da razina u piezometrima ovisi o razinama vodostaja rijeka Drave i Dunava. Prema dobivenim podacima može se zaključiti da je vrhunac vodenog vala u svibnju, a razine podzemne vode ostaju visoke do kraja ljetnih mjeseci kada počinje sniženje razina.

5.2. Rezultati istraživanja recentne sedimentacije i erozije

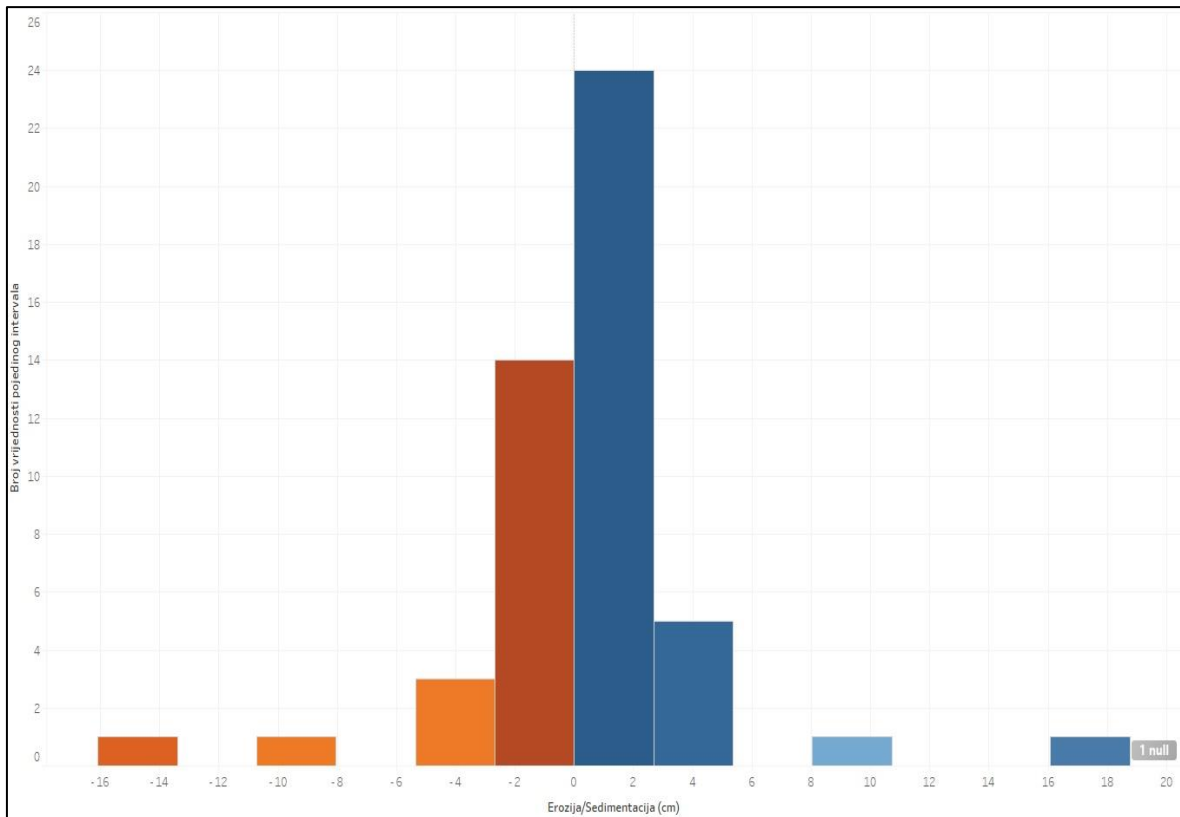
Recentna sedimentacija opisana je od Zlatne Grede na sjeveru do Renovskog kanala na jugu. Na području Zlatne Grede postavljene su tri mjerne postaje NVS-49, NVS-48 i NVS-50 koje bilježe blagu eroziju u rasponu od 1,4 cm do 2,8 cm, idući od sjevera prema jugu. Najznačajnija erozija i vrlo visoke vrijednosti taloženja uočene su u Vemeljskom Dunavcu. Glavni uzrok erozije je jednostavno premještanje materijala s jednog mjesta na drugo, što potvrđuje distribucija erozije i taloženja. Skoro 14 cm erozije uočeno je na mjernoj postaji NVS-30, koja je trenutno najistočnija postaja u Vemeljskom Dunavcu na kojoj su bila moguća mjerenja. Stanica NVS-31, koja se također nalazi na velikom pješčanom sprudu istočno od postaje NVS-30, nije pronađena na zadanoj lokaciji i vjerojatno ju je odnijela jaka energija vode tijekom poplave. Ova stanica je zamijenjena stanicom NVS-51. Dalje, uz Vemeljski Dunavac prema Tikvešu, na postajama NVS-28 i NVS-27 bilježi se taloženje pijeska od cca 5 cm (Slike 5.15. i 5.16.).

Na području Semenča uočavaju se blage promjene i taloženja i erozije, s maksimalnim vrijednostima od 2 cm (Slike 5.15. i 5.16.). U kanalu Čonakut bilježi se blagi porast akumulacije nanosa od 0,2 cm (mjerna stanica NVS-1). Najveća količina taloga zabilježena je na ulazu kanala Čonakut u Kopačevsko jezero i iznosi 16,5 cm. Taloženje od 1 cm zabilježeno je u Čonakutu, s druge strane Kopačevskog jezera prema "Ribarskoj kući", ali erozija od 2 cm i 2,5 cm uočena je u poplavnim lokvama na zapadu (NVS-38 i NVS-39). Na području Kopačevskog jezera dominira talog s maksimalnom vrijednošću od 2,65 cm. Erozija se bilježi na nekoliko mjernih postaja, a najveća se javlja u sjeverozapadnom dijelu jezera na postaji NVS-6 i iznosi 3,1 cm (Slike 5.15. i 5.16.). Bijelo jezero je također izloženo taloženju, s mjerenjima od 2,9 cm i 0,5 cm zabilježenim na postajama NVS-40 i NVS-41.

U Hulovskom kanalu primjećuju se blage naslage, uglavnom manje od 1 cm. Unutar kanala, nedaleko od ušća Drave u Dunav, na obje postaje (NVS-19 i NVS-20) bilježi se talog od 2,5 cm (Slike 5.15. i 5.16.). U Renovskom kanalu dominira taloženje pijeska koje se kreće od juga prema sjeveru. Najveća količina taloga zabilježena je na postaji NVS-18 i iznosi 8,2 cm (Slike 5.15. i 5.16.). U Crnoj Bari je nešto veća erozija uočena na stanici NVS-17, koja iznosi 4,2 cm (Slike 5.15. i 5.16.), dok je u Renovskoj Bari relativno nisko taloženje (1 cm na stanici NVS-13).



5.16. Dijagram sedimentacije i erozije od 29.1.2021. do 17.11.2021. (Pavelić i dr. 2021)



Slika 5.17. Raspodjela frekvencije iznosa taloženja i erozije (Pavelić i dr. 2021)

6. ZAKLJUČAK

U sklopu projekta NATURAVITA – Provedba istražnih radova, uspostava sustava i provedba monitoringa s interpretacijom rezultata – Bušenje istražno piezometarskih bušotina na području PP Kopački rit u suradnji s Rudarsko-geološko-naftnim fakultetom, provedeni su radovi na izvedbi 11 istražnih bušotina (PPKR-1 do PPKR-9). Većina piezometarskih bušotina (PPKR-1,2,3,4,6,7,8,9) izvedena je rotacijskim bušenjem uz korištenje direktne cirkulacije vode kao isplake za iznos materijala dok su dvije bušotine (PPKR-5 i DPKR-1) kao i jedna istražna bušotina (PPKR-10) izvedene metodom bušenja s kontinuiranim jezgrovanjem. Osvajanje piezometara izvedeno je najprije otvorenim air-liftom, a zatim podvodnom crpkom do izbistrenja vode.

Za područje Parka prirode od osobite su važnosti kvaliteta vode i vodni režim. Zbog toga je od ključne važnosti provođenje istražnih radova pomoću kojih je moguće pratiti i bilježiti stanje podzemne vode u Parku prirode Kopački rit. Kako bi se interpretirali parametri količinskog stanja podzemnih voda u piezometre su ugrađeni In-Situ loggeri koji automatski mjere razine podzemne vode. Za kompenziranje atmosferskog tlaka korišten je BaroMerge softver koji daje korigirane podatke apsolutnih razina.

U radu su također prikazani dnevni vodostaji na postajama rijeka Dunava i Drave u neposrednoj blizini Parka prirode te istražno-piezometarskih bušotina iz kojih se jasno vidi utjecaj promjene vodostaja na razine podzemne vode.

Rijeka Dunav jedna je od većih rijeka u Europi, predstavlja prirodni izvor vode, obnavlja podzemnu vodu infiltracijom i pridonosi ukupnoj ravnoteži vode u Kopačkom ritu. U razdobljima viših vodostaja, razine podzemne vode u piezometarskim bušotinama su više, a u razdobljima nižih vodostaja niže. Rijeka Drava opskrbljuje Kopački rit vodom te također utječe na ukupni hidrološki režim Parka prirode. Promjene vodostaja rezultiraju fluktuacijama u razinama podzemnih voda koje su od velike važnosti za održavanje ekološke ravnoteže te očuvanja raznolikih močvarnih staništa i vrsta u Kopačkom ritu. Vrhunac vodenog vala je u svibnju i traje sve do kraja ljetnih mjeseci kada se voda počinje povlačiti iz Kopačkog rita što rezultira i sniženje razina u piezometrima.

Rezultati mjerenja recentne sedimentacije i erozije ukazuju na povećanu sedimentaciju u većini Kopačkog rita s maksimumom u Kopačevskom jezeru koji iznosi 16,5 cm. Analiza bilance sedimenata na svim mjernim postajama pokazuju kumulativnu količinu sedimenata od 14,05 cm što ukazuje na veću sedimentaciju u odnosu na eroziju.

7. LITERATURA

BENČINA, L., ROŽAC, V., BOLŠEC, B. (2011): Plan upravljanja Parkom prirode Kopački rit

DUIĆ, Ž., NAKIĆ, Z., PARLOV, J., KOVAČ, Z. (2021): Provedba istražnih radova, uspostava sustava i provedba monitoringa s interpretacijom rezultata (Aktivnost 7.2.) Monitoring stanja voda, podzemnih voda, recentne sedimentacije, staništa i faune

GRIGIĆ O., (2006): Prostorni plan Parka prirode Kopački rit

JAZAVAC I., HOST, I. (2021): Tehničko izvješće o izvedbi istražno-piezometarskih bušotina na području Parka prirode Kopački rit – Projekt NATURAVITA

NOVOSELEC I. (2018), Elaborat zaštite okoliša; Crpljenje vode za tehnološke potrebe na k.č.br.2369/1 k.o. Novoselec

PAVELIĆ D., DUIĆ Ž., PAVIČIĆ I., PAVLIN I., ŠIPEK S. (2021): Projekt NATURAVITA- Provedba istražnih radova, uspostava sustava i provedba monitoringa s interpretacijom rezultata (Aktivnost 7.2.) Monitoring stanja voda, podzemnih voda, recentne sedimentacije, staništa i faune.

POSAVEC, K. (2006): Cross-correlation Modelling of Surface Water – Groundwater Interaction Using the Excel Spreadsheet Application

TADIĆ, L., BONACCI, O., DADIĆ, T. (2014): Dynamics of the Kopački Rit (Croatia) wetland floodplain water regime

URUMOVIĆ, K. (1973): Hidrogeološke značajke Baranje

Online sadržaji :

www.geotech.hr/izvodenje-piezometarske-busotine (13.1.2023.)