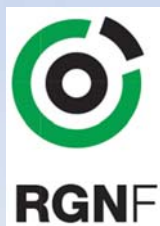


**ZNANSTVENO-
ISTRAŽIVAČKI PROJEKT:**

**Kvantifikacija efektivne infiltracije oborina i identifikacija
hidrauličkih parametara nesaturirane zone zagrebačkog
vodonosnika uspostavom istraživačkog poligona**

Pilot područje – vodocrpilište Velika Gorica

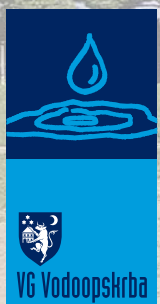
NOSITELJ PROJEKTA:



Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-
naftni fakultet
Pierottijeva 6
Zagreb

ISTRAŽIVAČKI POLIGON

PARTNER PROJEKTA:



VG Vodoopskrba d.o.o.
Ulica kneza Ljudevita
Posavskog 45
Velika Gorica



O PROJEKTU ISTRAŽIVAČKOG POLIGONA

Podzemna voda zagrebačkog vodonosnika strateški je resurs Republike Hrvatske i predstavlja glavni izvor pitke vode za građane grada Zagreba i Zagrebačke županije. Održivo korištenje strateškog resursa zahtijeva detaljnu identifikaciju i kvantifikaciju svih izvora prihranjivanja vodonosnika, posebice u uvjetima kontinuiranog negativnog trenda razina podzemne vode kakav je danas prisutan u zagrebačkom vodonosniku. Za postizanje jednog od tih ciljeva, tj. identifikacije i kvantifikacije prihranjivanja zagrebačkog vodonosnika iz oborina, uspostavljen je istraživački poligon na vodocrpilištu Velika Gorica 2018. godine (Slika 1), u suradnji između tvrtke VG Vodoopskrba d.o.o. (VGV) iz Velike Gorice i Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (RGNF).

Istraživački poligon sastoji se od okna dubine 3,25 m, vanjskih tlocrtnih dimenzija 3,4 × 3,4 m (unutrašnje dimenzije 3 × 3 m), u koje su ugrađene staklene stijene koje omogućuju vizualni pregled profila nesaturirane zone, sonde koje mjere električnu vodljivost, temperaturu i sadržaj vlage te usisne čašice (engl. *Suction Cups*) koje sakupljaju uzorke vode iz tla za potrebe kemijskih i izotopnih analiza. Svi podaci pohranjuju se kontinuirano na uređaje za pohranu podataka. Na površini istraživačkog poligona instalirana je meteorološka stanica koja mjeri količinu oborina, solarno zračenje, vlažnost zraka, jačinu i smjer vjetera te temperaturu zraka 2 m iznad tla, a podaci se bežičnim putem pohranjuju na uređaj za pohranu podataka instaliran u samom oknu.

Slika 1. Istraživački poligon (okno i meteorološka stanica)



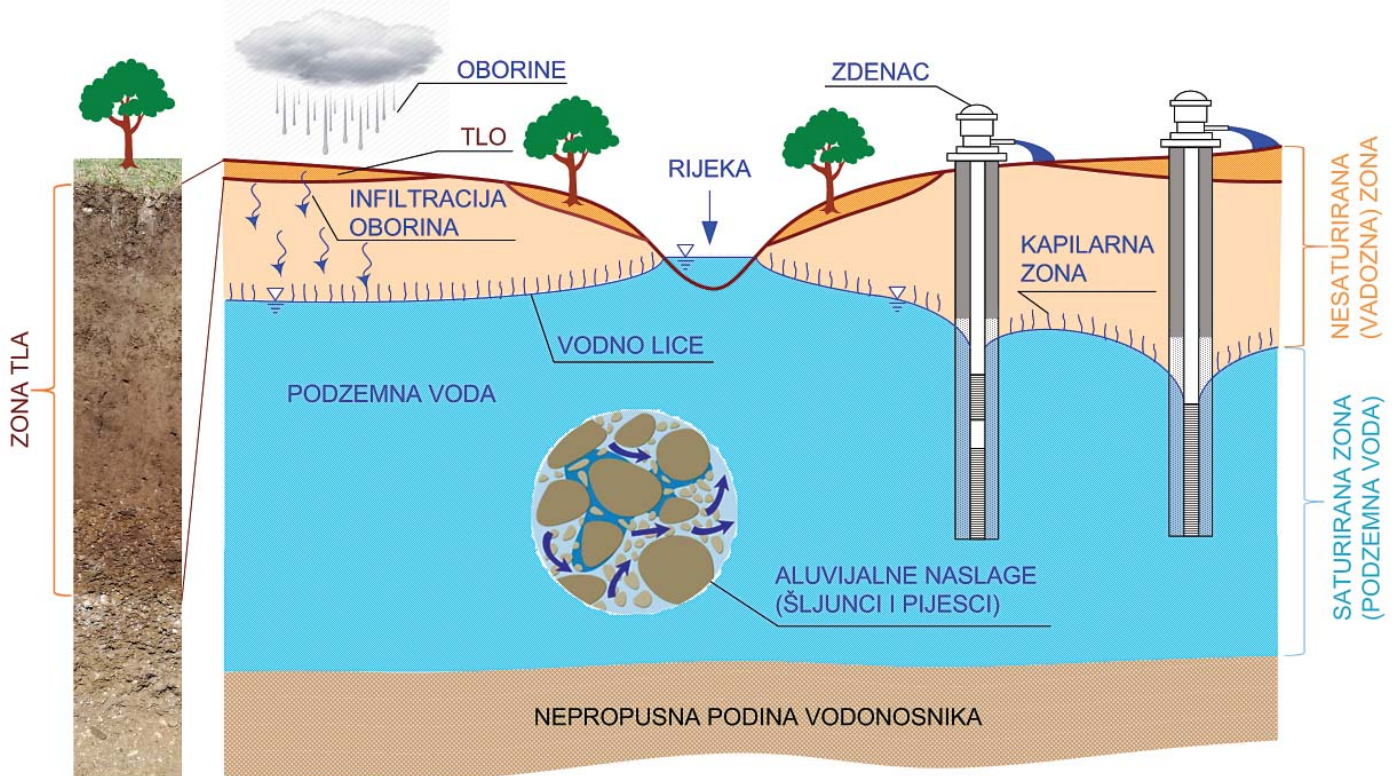


Glavni cilj ovog znanstveno-istraživačkog projekta je *praćenje procesa infiltracije oborina kroz nesaturiranu zonu zagrebačkog vodonosnika* kako bi se odredila količina oborine koja se procijedi do podzemne vode (efektivna infiltracija) i identificirali hidraulički parametri te glavni geokemijski procesi u nesaturiranoj zoni. Istraživanje će omogućiti detaljnu kvantifikaciju količina i intenziteta oborina kroz nesaturiranu zonu, a što će unaprijediti znanja o rubnim uvjetima i parametrima budućih regionalnih numeričkih modela tečenja podzemne vode i modela tečenja vode kroz nesaturiranu zonu zagrebačkog vodonosnika. Znanstveni doprinos istraživanja očekuje se kroz kvantificiranje infiltracije oborina na području zagrebačkoga vodonosnika tj. vodocrpilišta Velika Gorica te kroz definiranje utjecaja intenziteta i trajanja oborina na procjeđivanje vode kroz nesaturiranu zonu. Veliki doprinos bit će vidljiv i u implementaciji izotopnih metoda u hidrogeološkim istraživanjima. Također, očekuje se i unaprjeđenje regionalnih modela tečenja podzemne vode, mogućnost identifikacije utjecaja klimatskih promjena na prihranjivanje vodonosnika infiltracijom iz oborina, a uspostavljanje istraživačkoga poligona omogućit će i razvoj novih istraživanja, a koja se ponajprije odnose na definiranje pronosa onečišćenja s površine terena do podzemne vode zagrebačkoga vodonosnika. Ovo istraživanje omogućit će veću kompetitivnost hidrogeološke istraživačke skupine RGNF-a, koja će se očitovati kroz stjecanje novih znanja i iskustava o procesima koji se odvijaju u nesaturiranoj zoni kao i daljnje profiliranje RGNF-a kao referentne znanstvene institucije na Sveučilištu u Zagrebu, ali i u cijeloj RH, koja provodi kompetitivna znanstvena istraživanja u hidrogeologiji, kao jednoj od temeljnih znanstvenih disciplina koja doprinosi održivom upravljanju i zaštiti vodnih resursa. Istraživački poligon će se koristiti u znanstveno-istraživačke, ali i nastavne svrhe na pojedinim diplomskim studijima RGNF-a, što će rezultirati većom konkurentnosti studenata RGNF-a u svijetu.

TEORIJSKE OSNOVE NESATURIRANE (VADOZNE) ZONE

Nesaturirana ili vadozna zona (engl. „*vadose*“ dolazi od lat. „*vadum*“, a znači „*plitko*“) predstavlja prostor između površine terena i vodnog lica, a karakteristična je za otvorene vodonosnike (Slika 2).

Ako nesaturirana zona sadrži i tlo, voda koja se u njemu nalazi naziva se talna voda i predstavlja sadržaj vlage koji se zadrži u tlu nakon gravitacijskog procjeđivanja. Talna voda se nalazi blizu površine terena i može se prazniti u atmosferu evaporacijom ili transpiracijom bilja. Od oborina koje padnu na površinu terena, dio vode otječe površinski, dio se gubi u procesu evapotranspiracije, a dio se infiltrira i gravitacijski procjeđuje kroz jedan dio pornog prostora nesaturirane zone do vodonosnika tj. podzemne vode. Nesaturirana zona je stoga prostor ispunjen vodom i zrakom u različitim omjerima, a voda je pod tlakom manjim od atmosferskog. Voda se procjeđuje s površine terena tako da prvo vlaži suhe površine krutih čestica ili stjenke pora, oblikujući na njima tanki vodeni film (pelikularna voda). Kada vodeni film na krutim česticama naraste preko dosega molekularnih i kapilarnih sila, voda se počinje gravitacijski procjeđivati kroz nesaturiranu zonu. Koliko brzo će se voda procjeđivati ovisi o sastavu i svojstvima nesaturirane zone. Nesaturiranu zonu od saturirane zone dijeli vodno lice tj. gornja površina zone saturacije na kojoj je tlak jednak atmosferskom. Iznad vodnog lica javlja se kapilarna zona u kojoj kapilarne sile nadmašuju one gravitacijske. Nesaturirana zona ne predstavlja izvor vode za



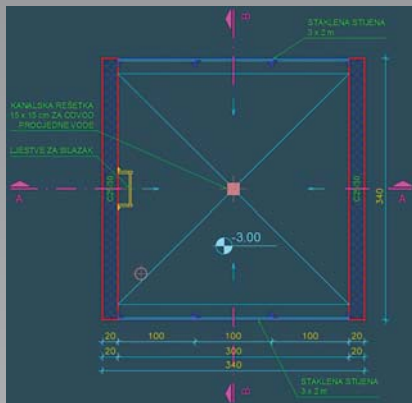
Slika 2. Shematski prikaz nesaturirane (vadozne) i saturirane zone (podzemne vode)

ljudsku potrošnju kao što to predstavlja saturirana zona. No, ona je od velikog značaja za osiguravanje vode i nutrijenata vitalnih za biosferu te se intenzivno koristi za uzgoj biljaka, izgradnju objekata i odlaganje otpada. Hidrogeološki gledano, nesaturirana zona je često glavni čimbenik koji kontrolira tečenje vode s površine terena do vodonosnika. Stoga u velikoj mjeri utječe na dinamiku napajanja vodonosnika koje je ključno za korištenje i upravljanje podzemnom vodom. Često se smatra filterom koji uklanja neželjene tvari iz vode, no generalna je činjenica da proces tečenja vode i kemijske reakcije u nesaturiranoj zoni kontroliraju hoće li, i koliko brzo, onečišćenje doći do podzemne vode. Razumijevanje procesa u nesaturiranoj zoni je stoga ključno za određivanje količine i kakvoće podzemne vode dostupne za ljudsku potrošnju.

O ISTRAŽIVAČKOM OKNU

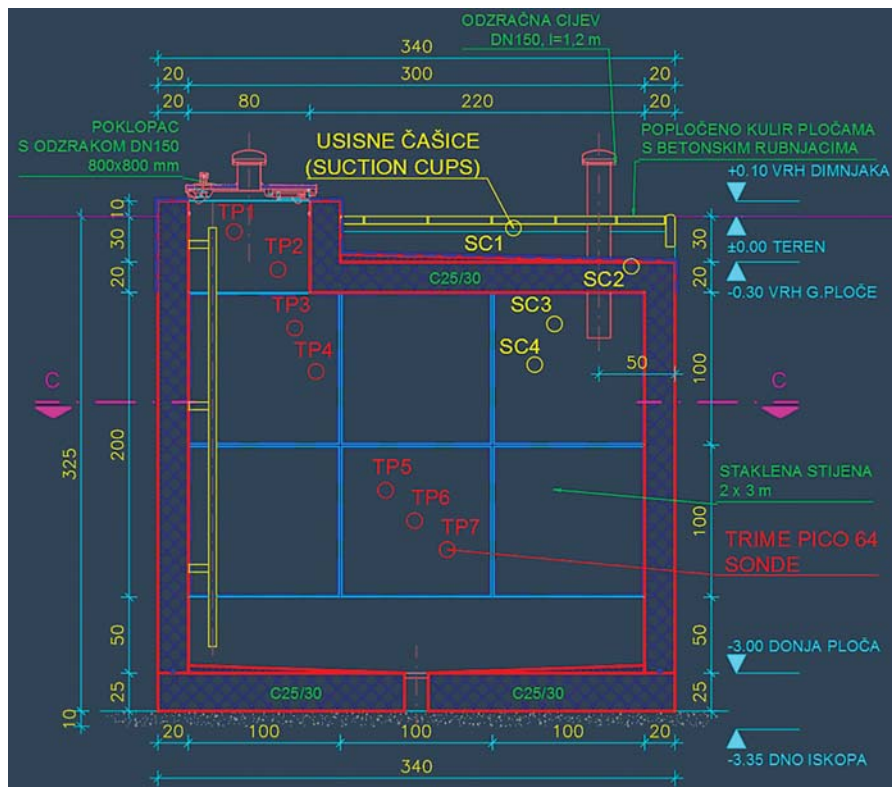
Glavni objekt istraživačkog poligona na vodocrpilištu Velika Gorica je istraživačko okno, a koje je projektirano na način da bude prikladno za znanstveno-istraživačke i nastavne tj. edukacijske svrhe. Građevinski izvedbeni projekt istraživačkog okna izradila je tvrtka HIDROPROJEKT-ING d.o.o. iz Zagreba u suradnji s VG vodoopskrbom d.o.o. i Rudarsko-geološko-naftnim fakultetom Sveučilišta u Zagrebu. Lokacija istraživačkog okna nalazi se na čestici zdenca B-1 vodocrpilišta Velika Gorica (k.č. 751/2 k.o. Donja Lomnica), koji je smješten oko 20 m sjeverozapadno od samog okna.

Istraživačko okno je dubine 3,25 m i vanjskih tlocrtnih dimenzija 3,4 × 3,4 m (unutrašnje dimenzije 3 × 3 × 3 m). U dva nasuprotna bočna zida okna (istočni i zapadni) ugrađene su staklene stijene koje omogućuju vizualni pregled profila nesaturirane zone dok su preostala dva nasuprotna bočna zida betonska (sjeverni i južni) (Slike 3, 4 i 5). Mjerni uređaji ugrađeni su u istočni zid istraživačkog okna (Slika 6, vidi dodatno Sliku 4 za pozicije mjernih uređaja, TRIME PICO sonde i usisnih čašica). Okno je priključeno na postojeću niskonaponsku mrežu napona 230V, 50 Hz, preko razdjelnika postojećeg zdenca B-1.

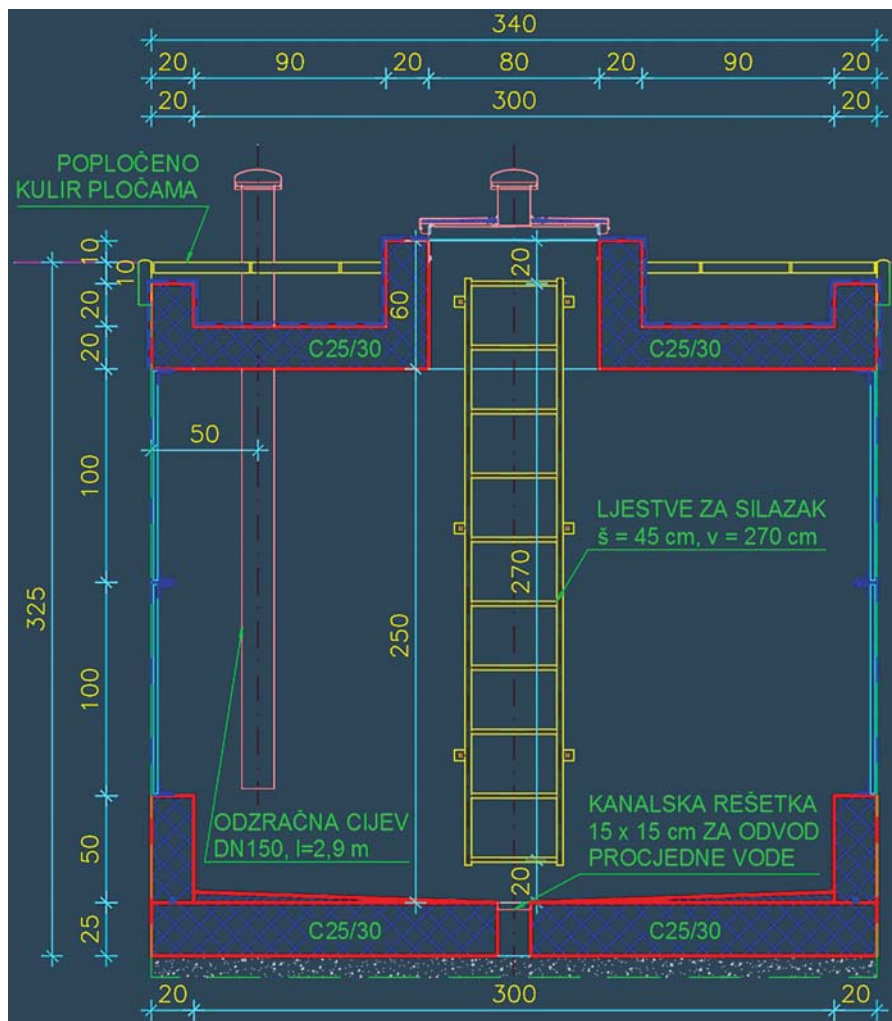


Slika 3. Prikaz okna s označenim linijama presjeka A-A i B-B

Slika 4. Presjek okna A-A s pozicijom instaliranih TRIME PICO 64 sonde i usisnih čašica



Slika 5. Presjek okna B-B





Slika 6. Mjerni uređaji ugrađeni u istočni zid istraživačkog okna (TRIME PICO 64 sonde i usisne čašice)

MJERNI UREĐAJI INSTALIRANI NA ISTRAŽIVAČKOM POLIGONU

U istočni bočni zid istraživačkog okna ugrađene su TRIME PICO 64 sonde za mjerenje električne vodljivosti, temperature i sadržaja vlage (Slika 7) te usisne čašice (Slika 8) koje sakupljaju uzorke vode za potrebe kemijskih i izotopnih analiza. Svi podaci pohranjuju se na uređaje za pohranu podataka *data logger IMKO globe Log* i *data Taker DT80* koji su smješteni u samom oknu (Slika 9). Meteorološka stanica *Davis Vantage Pro 2* (Slika 10) instalirana je na površini terena uz samo okno na visinu od 2 metra, a mjeri količinu oborina, solarno zračenje, vlažnost zraka, jačinu i smjer vjetra te temperaturu zraka, pri čemu se podaci bežičnim putem pohranjuju na uređaj za pohranu podataka.



Slika 7. IMKO TRIME PICO 64 sonda za mjerenje električne vodljivosti, temperature i sadržaja vlage



Slika 9. Uređaji za pohranu podataka (data logger IMKO globeLog i data Taker DT80)



Slika 8. Usisne čašice Eijkelkamp Soil water sampler Ø 20 mm za sakupljanje uzoraka vode za potrebe kemijskih i izotopnih analiza



Slika 10. Meteorološka stanica *Davis Vantage Pro2* za mjerenje količine oborina, solarnog zračenja, vlažnosti zraka, jačine i smjera vjetra te temperature zraka, mjerac oborina TFA 47.1008, dodatak za mjerenje solarne radijacije *Davis Solar Radiation Sensor (#6450)*



SUDIONICI PROJEKTA

VG VODOOPSKRBA d.o.o. za vodoopskrbu i odvodnju, iz Velike Gorice i RUDARSKO – GEOLOŠKO – NAFTNI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU, sklopili su dana 15. 11. 2016. godine sporazum o znanstvenoj i stručnoj suradnji s ciljem uspostave međusobne suradnje. Ciljevi suradnje obuhvatili su:

- osiguranje interdisciplinarnog pristupa pri rješavanju kompleksnih pitanja vezanih za problematiku podzemnih voda vodocrpilišta Velika Gorica,
- promoviranje novih tehnoloških i znanstvenih dostignuća na području zaštite i zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju,
- osiguranje sigurnosti i zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju,
- stručni i znanstveni pristup pri analizi, ispitivanju i nadziranju podzemnih voda vodocrpilišta Velika Gorica i vodonosnika,
- pokretanje novih istraživanja, ispitivanja i analiza vodonosnika (nesaturirane i saturirane zone) na području zona zaštite vodocrpilišta Velika Gorica, i
- povećanje aktivne i pasivne zaštite podzemne vode vodocrpilišta Velika Gorica.

U skladu s potpisanim sporazumom, VGV i RGNF su 2018. godine pokrenuli realizaciju jednog od ciljeva međusobne suradnje, a koji se odnosi na pokretanje projekta u sklopu novih istraživanja, ispitivanja i analiza vodonosnika (nesaturirane i saturirane zone) na području zona zaštite vodocrpilišta Velika Gorica. Dosadašnji rezultati uspostavljenog projekta „Kvantifikacija efektivne infiltracije oborina i identifikacija hidrauličkih parametara nesaturirane zone zagrebačkog vodonosnika uspostavom istraživačkog poligona, Pilot područje – vodocrpilište Velika Gorica“ ukratko su prikazani u sklopu ove brošure, a daljnje aktivnosti provodit će se u skladu s definiranim programom istraživanja.

Voditelj projekta:	Prof. dr. sc. Kristijan Posavec, RGNF	
Sudionici na realizaciji projekta	RGNF	VGV
	Doc. dr. sc. Zoran Kovač Doc. dr. sc. Stanko Ružičić Izv. prof. dr. sc. Jelena Parlov Laura Bačani, mag. ing. geol. Prof. dr. sc. Zoran Nakić Doc. dr. sc. Dario Perković Izv. prof. dr. sc. Željko Duić Doc. dr. sc. Vedran Rubinić, Agronomski fakultet Jurica Rašić, tehničar Saša Šipek, tehničar	Nikica Visković, dipl. ing. stroj. Nikola Kovačić, mag. ing. stroj. Kata Gorenc, dipl.ing.biol. Marko Božurić, mag.appl.chem.

PROGRAM ISTRAŽIVANJA

Instalacija uređaja na istraživačkom poligonu završena je u veljači 2019. godine te se od tada kontinuirano obavljaju i pohranjuju mjerenja električne vodljivosti, temperature i sadržaja vlage te količine oborina, solarnog zračenja, vlažnosti zraka, jačine i smjera vjetra te temperature zraka. Sakupljanje uzoraka vode za potrebe kemijskih i izotopnih analiza provodi se na mjesečnoj bazi. Mora se naglasiti kako uzorkovanje vode ponajprije ovisi o hidrološkim i meteorološkim uvjetima, što znači da postoji mogućnost promjene intervala uzorkovanja ovisno o sušnim i vlažnim razdobljima. Svi podaci koji se kontinuirano prikupljaju i pohranjuju obrađuju se u skladu s programom istraživanja, a prema aktivnostima i rokovima prikazanim u Tablici 1.

Tablica 1. Program istraživanja

	Aktivnost	Opis aktivnosti	Vremenski plan	Sudionici
1.	Mjerenja pomoću sonde TRIME PICO 64	7 sonde TRIME PICO 64 instaliranih po vertikali istraživačkog okna (vidi sliku 3) mjeri električnu vodljivost, temperaturu i sadržaj vlage u nesaturiranoj zoni	od 2019. nadalje kontinuirano	RGNF
2.	Prikupljanje uzoraka vode	Uzorki vode iz nesaturirane zone prikupljaju se uz pomoć usisnih čašica, a za potrebe kemijskih i izotopnih analiza	od 2019. nadalje jednom mjesečno	RGNF
3.	Mjerenja pomoću meteorološke stanice Davis Vantage Pro2	Meteorološka stanica mjeri količinu oborine, solarno zračenje, vlažnost zraka, jačinu i smjer vjetra te temperaturu zraka	od 2019. nadalje kontinuirano	RGNF
4.	Kemijske analize	Određivanje kemijskog sastava osnovnih aniona i kationa u prikupljenim uzorcima procjedne vode primjenom metode ionske kromatografije.	2019. – 2024.	RGNF i VGV
5.	Izotopne analize	Mjerenje sadržaja stabilnih izotopa ($\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$) u prikupljenim uzorcima procjedne vode, oborini i podzemnoj vodi primjenom metode laserske apsorpcijske spektroskopije.	2019. – 2024.	RGNF
6.	Kvantifikacija efektivne infiltracije oborina	Analizom mjerenja električne vodljivosti i sadržaja vlage, a uz primjenu softvera MoisturEC, prostorno će se kvantificirati raspodjela sadržaja vlage u nesaturiranoj zoni, što će omogućiti kvantifikaciju efektivne infiltracije oborina.	2021. – 2024.	RGNF
7.	Identifikacija hidrauličkih parametara nesaturirane zone	Identifikacija hidrauličkih parametara nesaturirane zone provodit će se inverznim numeričkim modeliranjem tečenja vode primjenom softvera Hydrus1D.	2021. – 2024.	RGNF
8.	Eksperimenti sorpcije i disperzije	Određivanje parametara transporta onečišćivala za potrebe numeričkog modeliranja pronosa onečišćivala kroz nesaturiranu zonu primjenom softvera Hydrus1D.	2021. – 2024.	RGNF
9.	Izvođenje terenske nastave sa studentima RGNF-a		Nekoliko puta tijekom akademske godine	RGNF i VGV
10.	Izrada stručnih, završnih i diplomskih radova		Kontinuirano	RGNF i VGV
11.	Zajedničko organiziranje stručnih skupova, predavanja i edukativnih radionica		Prema potrebama i dogovoru	VGV i RGNF
12.	Razmjena informacija i iskustava		Kontinuirano	VGV i RGNF
13.	Uspostava Plana sigurnosti vode za ljudsku potrošnju	Procjena i upravljanje rizicima za javnu vodoopskrbu od slivnog područja do točke crpljenja vode (zdenca)	Od 2019. do 2022.	VGV i RGNF
14.	Utvrđivanje kemijskog stanja tla u I. i II. zoni sanitarne zaštite vodocrpilišta Velika Gorica	Određivanje kemijskog stanja tla, zasićenosti određenim pesticidima i drugim nepovoljnim spojevima obzirom na poljoprivredne kulture koje se uzgajaju na području II. zone sanitarne zaštite. Definiranje obuhvata praćenja stanja zemljišta (nesaturirane zone) te uspostava prakse izrade godišnjeg izvješća o istom.	2019. – 2020., a po izradi prvog izvješća kontinuirano za svaku godinu	VGV i RGNF