

Primjena GIS-a u zaštiti izvorišta pitke vode Bulaž u Istri

Lukić, Tomislav

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:773066>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-04**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Tomislav Lukić

Primjena GIS-a u zaštiti izvorišta pitke vode Bulaž u Istri

Diplomski rad

Rijeka, 09.2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Diplomski sveučilišni studij
Urbano inženjerstvo
GIS i osnove prostorne analize**

**Tomislav Lukić
JMBAG: 0130322762**

Primjena GIS-a u zaštiti izvorišta pitke vode Bulaž u Istri

Diplomski rad

Rijeka, 09.2023.

IZJAVA

Završni/Diplomski rad izradio/izradila sam samostalno, u suradnji s mentorom/mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Tomislav Lukić

U Rijeci, 01.09.2023.

ZAHVALA

Veliku zahvalnost dugujem mentorici doc. dr. sc. Bojani Horvat koja mi je pružila priliku, pomogla savjetima pri izradi diplomskog rada i što je imala strpljenja i vremena za moja kašnjenja i upite.

Zahvaljujem se i komentorici dr.sc. Maja Oštrić, dipl.ing.geol. na pomoći, ustupljenim podacima i izdvojenom vremenu.

Također, posebno zahvaljujem Andrei koja je uvijek bila uz mene i davala mi podršku.

I na kraju posebnu zahvalnost iskazujem svojim roditeljima, koji su uvijek bili tu za mene i podupirali svaku moju odluku.

SAŽETAK

Na primjeru izvorišta Bulaž prikazane su mogućnosti i primjena GIS-a u zaštiti izvorišta pitke vode. U prvom dijelu rada su opisane zone sanitarne zaštite (ZSZ) izvorišta, njihova uloga te način njihovog određivanja prema važećim propisima. Dan je i osvrt na geografski informacijski sustav (GIS), njegove prednosti u kontekstu prikupljanja i analize prostornih podataka, a opisan je i QGIS softver korišten u ovome radu. Opisane su i analizirane prirodne karakteristike sliva izvorišta Bulaž i dan je pregled prethodnih i postojećih zona sanitarne zaštite tog izvorišta. U svrhu detaljnije analize postojećih zona sanitarne zaštite izvora izrađen je i analiziran katastar onečišćivača na površinama koje obuhvaćaju. Podaci su preuzeti iz dostupnih izvora: položaj naselja određen je temeljem digitalnog ortofota (DOF) dostupnog putem Web Map Service (WMS) dok su podaci o broju stanovništva preuzeti iz posljednjeg popisa stanovništva (2021. godine) Državnog zavoda za statistiku, prometnice su preuzete iz OpenStreetMap (OSM) baze, poljoprivredne površine su prostorno i atributno definirane u CORINE Land Cover (CLC) bazi korištenja i namjene zemljišta u sklopu Copernicus programa, a ostali onečišćivači su preuzeti iz Registra onečišćivanja okoliša putem WMS-a. Tako preuzeti onečišćivači grupirani su po pojedinim zonama. Na temelju provedene analize donesen je zaključak sa prednostima i manama korištenja QGIS softvera.

Ključne riječi: Bulaž, zone sanitarne zaštite, izvorište, GIS, katastar onečišćivača

ABSTRACT

The possibilities and application of GIS in the protection of drinking water sources are shown on the example of the Bulaž spring. In the first part of the paper, the sanitary protection zones (ZSZ) of the water source, their role and the method of their determination according to the current regulations are described. An overview of the geographic information system (GIS), its advantages in the context of spatial data collection and analysis, is also given, and the QGIS software used in this work is described. The natural characteristics of the Bulaž spring basin are described and analyzed, and an overview of the previous and existing sanitary protection zones of that spring is given. For the purpose of a more detailed analysis of the existing zones of sanitary protection of sources, a pollutant cadastre was created and analyzed on the areas they cover. The data was taken from available sources: the location of the settlement was determined based on the digital orthophoto (DOF) available through the Web Map Service (WMS), while the population data were taken from the last population census (in 2021) of the State Bureau of Statistics, roads were taken from OpenStreetMap (OSM) database, agricultural areas are spatially and attribute-defined in the CORINE Land Cover (CLC) database of land use and purpose as part of the Copernicus program, and other pollutants are taken from the Register of Environmental Pollution via WMS. Pollutants taken in this way are grouped by individual zones. Based on the analysis, a conclusion was made with the advantages and disadvantages of using QGIS software.

Keywords: Bulaž, sanitary protection zones, water source, GIS, cadastre of pollutants

SADRŽAJ:

1. UVOD	4
2. ZONE SANITARNE ZAŠTITE	7
2.1. Zone sanitarne zaštite izvorišta sa zahvaćanjem voda iz vodonosnika s međuzrnskom poroznosti.....	10
2.2. Zone sanitarne zaštite izvorišta sa zahvaćanjem voda iz vodonosnika s pukotinskom i pukotinsko – kavernožnom poroznosti	11
2.3. Zone sanitarne zaštite izvorišta sa zahvaćanjem iz površinskih voda	13
2.4. Zaštita voda prostornim planiranjem.....	14
3. GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SUSTAV (GIS)	16
3.1. Prednosti i mane GIS-a	18
3.2. Primjena GIS-a	19
3.3. QGIS softver	20
4. IZVOR BULAŽ	21
4.1. Prirodne karakteristike.....	21
4.1.1. Fizičke karakteristike sliva	23
4.1.2. Hidrogeološke značajke sliva.....	26
4.1.2.1. Hidrološke karakteristike	29
4.1.2.2. Krivulje recesije	32
4.2. Zagađivači sliva i izvorišta	34
5. ZONE SANITARNE ZAŠTITE IZVORA BULAŽ.....	37
5.1. Podzemne veze izvora Bulaž.....	44
6. KATASTAR ONEČIŠĆIVAČA UNUTAR POSTOJEĆIH ZONA SANITARNE ZAŠTITE	
48	
6.1. Katastar onečišćivača.....	55
6.1.1. Naselja.....	55
6.1.2. Prometnice	57

6.1.3.	Poljoprivreda.....	59
6.1.4.	Ostali onečišćivači	60
7.	ZAKLJUČAK.....	63
8.	LITERATURA.....	65

Popis tablica:

Tablica 1: Naselja i broj stanovnika unutar zona	56
Tablica 2: Ukupan broj stanovnika po zonama	57
Tablica 3: Prometnice unutar zona	58
Tablica 4: Ostali onečišćivači unutar zona	62

Popis slika:

Slika 1: Istarski vodovod [3]	5
Slika 2: Slojevi dijela Zemljine površine [8].....	16
Slika 3: Komponente GIS-a [9]	17
Slika 4: Položaj izvora Bulaž	21
Slika 5: Izvor Bulaž [13]	22
Slika 6: Hidrološki sliv izvora Bulaž	23
Slika 7: DEM sliva.....	24
Slika 8: Nagib terena.....	25
Slika 9: Smjer nagiba terena unutar sliva	25
Slika 10: Sustav krškog vodonosnika [15]	27
Slika 11: Srednje godišnje oborine [17]	28
Slika 12: Srednji mjesečni protoci za hidrološku postaju Bulaž [4]	29
Slika 13: Karakteristični protoci na preljevu hidrološke postaje Bulaž [4]	29
Slika 14: Prikaz protoka i razine vode tijekom 2003. godine [4]	30
Slika 15: Vodostaj i protok 2009. godine [4].....	31
Slika 16: Srednji mjesečni protoci 2010. godine [4].....	31
Slika 17: Najduže recesijsko razdoblje [4]	32
Slika 18: Ukupni dnevni protoci za 2005. sa istaknutim recesijskim razdobljem [4].....	32
Slika 19: Ukupni dnevni protoci za 2010. sa istaknutim recesijskim razdobljem [4].....	33
Slika 20: Ukupni dnevni protoci za 2011. sa istaknutim recesijskim razdobljima [4]	33
Slika 21: Ukupna otopljena kruta tvar u izvorskim vodama [17]	34
Slika 22: Sadržaj bakra u izvorskim vodama [17].....	35
Slika 23: Postojeće zone sanitarne zaštite.....	38
Slika 24: Karbonatna pregrada.....	39
Slika 25: Usporedba granica I. zone danas i 1988.....	40
Slika 26: Zone sanitarne zaštite iz 1988. godine.....	41
Slika 27: Hidrogeološka karta Istre s tumačem oznaka [22]	43

Slika 28: Ubacivanje trasera u podzemne vode [24]	44
Slika 29: Trasiranja vezana za Izvor Bulaž [20]	46
Slika 30: Podzemne veze izvora Bulaž.....	47
Slika 31: Digitalni model terena	50
Slika 32: Položaj naselja na analiziranom području	51
Slika 33: Prometnice iz OSM-a na analiziranom području.....	52
Slika 34: Vodotoci na analiziranom području	53
Slika 35: Pokrov i namjena zemljišta na analiziranom području	54
Slika 36: Položaj naselja unutar zona sanitarne zaštite	55
Slika 37: Prometnice na analiziranom području.....	58
Slika 38: Atributna tablica pokrova i namjene zemljišta.....	59
Slika 39: Ostali onečišćivači na analiziranom području.....	61

1. UVOD

Zaštita voda i osiguravanje kvalitete vodenih resursa važno je za osiguravanje napretka. Posljedice urbanizacije istarskog poluotoka ogledaju se, između ostalog, i u narušavanju kakvoće vode na njegovom području. Posebno je značajan pritisak na podzemne vode i izvorišta zbog manjka pročišćivača vode i pravilne odvodnje uz porast poljoprivrede, porasta broja turista te utjecaja klimatskih promjena/varijacija koje se ogledaju u sve izraženijim klimatskim ekstremima.

Republika Hrvatska u usporedbi s drugim zemljama ima značajne rezerve čiste, pitke vode [1]. Ako želimo da tako i ostane moramo poduzeti sve potrebne mjere zaštite. U mjere zaštite spadaju i zone sanitarne zaštite (ZSZ) izvorišta pitke vode. Uvjeti za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta regulirani su na nacionalnoj razini istoimenim Pravilnikom [2]. Osim što definira uvjete za određivanje ZSZ, detaljno je opisan postupak donošenja odluka o zaštiti izvorišta i utvrđene su zabrane u svakoj pojedinoj zoni.

Problem osiguranja dostatnih količina pitke vode odgovarajuće kakvoće u priobalju posebno je naglašen u ljetnim mjesecima kada je potreba za vodom pa shodno tome i eksploatacija vode značajno uvećana. Jedno od takvih područja je i istarski poluotok. U sklopu istarskog vodovoda (Slika 1) su za potrebe vodoopskrbe stanovništva uključena tri glavna izvora u dolini rijeke Mirne: Sv. Ivan u Buzetu, Gradole u gornjem toku rijeke Mirne i izvor Bulaž kod Istarskih toplica te akumulacija Butoniga [3]. Slijedeći uvjete propisane Pravilnikom, izvorišta su zaštićena zonama sanitarne zaštite, a u ovom radu je prikazan i analiziran izvor Bulaž i njegove zone sanitarne zaštite (postojeće i prethodne).



Slika 1: Istarski vodovod [3]

Postupak određivanja ZSZ podrazumijeva prikupljanje i analizu velike količine kako atributnih tako i prostornih podataka. Razvojem GIS-a taj je proces znatno olakšan. Općenito, GIS je svoju primjenu našao u različitim područjima poput prometa, logistike, hidrologije, geologije, kartiranja, upravljanja prirodnim resursima i sl., a sama primjena zahtijeva korištenje GIS softvera kojih je danas na tržištu mnogo. Na raspolaganju su komercijalni (vlasnički) softveri čija cijena varira, ali i softveri otvorenog koda (*engl.* open source) koji su besplatno dostupni korisnicima. Od komercijalnih softvera danas je najpoznatiji ArcGIS nastao krajem 90-tih godina

prošlog stoljeća. Softver omogućuje prikupljanje i pohranu prostornih i atributnih podataka, njihovo pretraživanje te analizu i konačnu vizualizaciju. Podjednako podržava rad i s vektorskim i s rasterskim podacima. Međutim, kako je riječ o komercijalnom softveru, njegova je licenca skupa i korisnici ih kupuju ako u tome vide financijsku korist. Osim komercijalnih softvera, sredinom 80-ih godina prošlog stoljeća kreiran je prvi softver otvorenog koda GRASS (Geographic Resource Analysis Support Software). Danas najpoznatiji i najrašireniji softver otvorenog koda je QGIS, kreiran početkom ovog stoljeća. Besplatan je za korištenje, a po kvaliteti je u rangu boljih komercijalnih softvera. Kao i ArcGIS, omogućuje rad i s vektorskim i rasterskim podacima te se koristi u svim fazama izrade GIS projekta: za prikupljanje i pohranu podataka, pretraživanje, analizu i vizualizaciju podataka. Broj korisnika raste iz dana u dan zbog čega se softver sve brže razvija i kreiraju se brojni korisni alati za analizu podataka. Zbog niza prednosti u odnosu na druge dostupne softvere otvorenog koda, QGIS je korišten i u ovom radu.

Cilj ovog diplomskog rada je analizirati postojeće i prošle zone sanitarne zaštite te prikazati primjenu i mogućnosti GIS-a softvera u zaštiti izvorišta pitke vode na primjeru izvora Bulaž. Rad se temelji na mogućnostima QGIS-a u analizi hidroloških objekata. Korištenjem različitih stečenih znanja o hidrologiji i QGIS softveru moguće je analizirati, prikazati i predvidjeti pojave i procese u stvarnom svijetu. Rezultati analize mogu se koristiti za pripremu i provedbu različitih vrsta mjera za zaštitu izvorišta od mogućeg zagađenja. Uz pomoć QGIS-a moguće je izraditi razne karte opasnosti i rizika od zagađenja te pomoći u pripremi i razvoju preventivnih mjera za zaštitu od zagađenja. Za provedbu analize potrebni su prostorni ulazni podaci poput pokrova i namjene zemljišta, digitalnih modela terena, slojeva prometnica, vodotoka i ostalih statističkih podataka poput popisa stanovništva. Na temelju ulaznih podataka kreiran je katastar onečišćivača unutar pojedinih zona sanitarne zaštite. Uz pomoć QGIS-a izrađene su karte pokrova i namjene zemljišta unutar zona, karta prometnica kategoriziranim po klasifikaciji Republike Hrvatske i karta s ostalim mogućim zagađivačima unutar zona sanitarne zaštite.

2. ZONE SANITARNE ZAŠTITE

Izvori imaju vrlo važnu ekološku ulogu. Važna su sastavnica u pravilnom funkcioniranju ekosustava i veliki broj izvora važna su žarišta bioraznolikosti. Zbog sve većeg i češćeg crpljenja voda iz vodonosnika koji su povezani s otvorenim vodotokom ili brojnim raspršenim i nekontroliranim odvođenjima malih količina vode iz otvorenog vodotoka, sve se češće dešava da se minimalni i srednji protoci otvorenih vodotoka smanjuju. Minimalna vrijednost protoka (biološki minimum¹) je količina vode koja je potrebna ribama za kretanje duž otvorenih vodotoka, dovoljna je za osiguranje životnog prostora ugroženim vrstama, te osigurava prihvatljivu razinu temperature vode, otopljenog kisika ili salinitet na određenoj dionici otvorenog vodotoka. Obzirom da su izvori manji i izolirani osjetljivija su i ugroženija mikro staništa.

Biološki minimum varira ovisno o mjesecima i sezonama. Protoci su povezani sa svojstvima lokalne klime ili društvenim zahtjevima, ali najčešće su vezani za životne stadije odabranih biljnih i životinjskih vrsta [4].

Izvori kroz povijest imaju veliku ulogu i za čovjeka. Korišteni su kao izvori pitke vode, u zdravstvene svrhe, u poljoprivredne svrhe, a neki izvori imaju i duhovnu i religijsku važnost. Danas izvori imaju i veliku turističku važnost, posebice termalni izvori [5].

Stoga su podzemne vode i izvorišta dragocjeni resurs koje je potrebno zaštititi od onečišćenja i drugih utjecaja koji mogu negativno utjecati na njihovu izdašnost te zdravstvenu ispravnost vode namijenjene ljudskoj potrošnji. U području izvorišta javne vodoopskrbe utvrđuju se zone sanitarne zaštite unutar kojih su antropogene aktivnosti strogo ograničene, a same zone se određuju na temelju uvjeta propisanih Pravilnikom o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta kojeg je izdalo Ministarstvo regionalnog razvoja, šumarstva i vodnog gospodarstva. Tim su pravilnikom definirani uvjeti za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta, postupak

¹ Biološki minimum je protok vode koji se mora ispuštati nizvodno u vodotok od zahvata vode, a da se ne poremeti ekološki sustav.

donošenja odluka o zaštiti izvorišta, klasifikacija izvorišta i utvrđivanje zona, utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta sa zahvaćanjem podzemnih i površinskih voda, mjere zaštite u zonama i prijelazne i završne odredbe [2].

Prema navedenom Pravilniku, zone se utvrđuju na temelju Elaborata zona sanitarne zaštite koji se izrađuje nakon provedenih vodoistražnih radova. Vodoistražni radovi uključuju geološka, hidrogeološka, hidrološka, hidrogeokemijska i kemijska istraživanja. Provode se kroz jednu ili dvije faze. U prvoj se fazi prikupljaju, reinterpreteraju i analiziraju rezultati već provedenih vodoistražnih radova. U drugoj se fazi provode dodatni detaljni vodo istražni radovi. Na temelju provedenih vodoistražnih radova naručitelj izrađuje nacrt elaborata zona sanitarne zaštite. Naručitelj za postojeća izvorišta za javnu vodoopskrbu su jedinice lokalne samouprave, a za nova izvorišta su Hrvatske vode. Elaborat zona sanitarne zaštite se sastoji od:

- Uvoda
- Tehničkog opisa vodo zahvata
- Geoloških i hidroloških značajki priljevnog područja zahvaćenog izvorišta iz vodonosnika podzemne vode
- Hidroloških značajki za izvorišta sa zahvatom površinske vode
- Utvrđenih granica vodonosnika
- Prijedloga granica zona sanitarne zaštite (Grafički i opisni prikazi)
- Prikaza kakvoće vode
- Katastra onečišćivača s grafičkim prikazom lokacija
- Prijedloga mjera zaštite izvorišta uključujući ograničenja i zabrane koje se odnose na ljudske aktivnosti koje mogu štetno utjecati na stanje izvorišta
- Načelnog prijedloga sanacijskih zahvata na postojećim objektima unutar zona
- Prijedloga lokacije za postavljanje oznaka odgovarajućih zona sanitarne zaštite [2]

Ukoliko su provedeni vodoistražni radovi i ako je izrađen elaborat zona sanitarne zaštite župan, gradonačelnik ili općinski načelnik osniva povjerenstvo za pripremu nacrta odluke o zaštiti izvorišta. Povjerenstvo se sastoji od: predstavnika donositelja

odluke, članova ministarstva nadležnog za vodno gospodarstvo, županijskog upravnog tijela nadležnog za prostorno planiranje i zaštitu okoliša, županijskog upravnog tijela nadležnog za gospodarstvo, županijskog upravnog tijela nadležnog za poljoprivredu, Hrvatskih voda, isporučitelja vodnih usluga i jedinica lokalne samouprave. Nakon postupka o donošenju odluke o zaštiti izvorišta župan, gradonačelnik ili općinski načelnik donosi u roku od dvanaest mjeseci Program mjera sanacije unutar zona sanitarne zaštite za postojeće građevine i postojeće djelatnosti koji postaje sastavni dio odluke o zaštiti izvorišta. [2].

Program mjera sanacije sadržava:

- Popis svih onečišćivača na području zona sanitarne zaštite
- Prioritetne sankcijske zahvate
- Rokove provedbe sanacijskih zahvata
- Troškove sanacija
- Obveznike financiranja provedbe Programa mjere sanacija

Izvorišta se klasificiraju na:

1. Izvorišta maksimalnog kapaciteta do 20 l/s u smislu dinamike crpljenja
2. Izvorišta maksimalnog kapaciteta od 20 l/s do 100 l/s također u smislu dinamike crpljenja
3. Izvorišta maksimalnog kapaciteta većeg od 100 l/s također u smislu dinamike crpljenja

Zone sanitarne zaštite utvrđuju se prema tipu vodonosnika za:

1. Izvorišta sa zahvaćanjem podzemne vode iz vodonosnika s međuzrnskom poroznosti i iz vodonosnika s pukotinskom i pukotinsko – kavernožnom poroznosti
2. Izvorišta sa zahvaćanjem površinskih voda iz akumulacija i jezera i iz otvorenih vodotoka [2].

2.1. Zone sanitarne zaštite izvorišta sa zahvaćanjem voda iz vodonosnika s međuzrnskom poroznošću

Za izvorišta sa zahvaćanjem voda iz vodonosnika s međuzrnskom poroznošću se određuju tri zone sanitarne zaštite. I. zona ograničenja i nadzora, II. zona strogog režima i nadzora, te I. zona strogo režima zaštite i nadzora. III. Zona utvrđuje se radi smanjenja rizika onečišćenja podzemne vode od teško razgradivih opasnih tvari i onečišćujućih tvari. III. zona sanitarne zaštite određuje se ovisno o kapacitetu izvorišta. U III. zoni se zabranjuje:

- Ispuštanje nepročišćenih otpadnih voda
- Trajno i povremeno odlaganje otpada
- Gradnja građevina za oporabu, obradu i odlaganje opasnog otpada
- Građenje kemijskih industrijskih postrojenja opasnih i onečišćujućih tvari za vode i vodni okoliš
- Izgradnja benzinskih postaja bez spremnika sa dvostrukom stijenkom i uređajem za automatsku detekciju
- Podzemna i površinska eksploatacija mineralnih sirovina
- Gradnja prometnica, aerodroma, parkirališta i drugih prometnih površina bez kontrolirane odvodnje i odgovarajućeg pročišćavanja oborinskih voda
- Izvođenje istražnih i eksploatacijskih bušotina, osim vodo istražnih radova [2].

II. zona sanitarne zaštite se utvrđuje se radi smanjenja rizika od zagađenja podzemnih voda patogenim mikroorganizmima i drugih štetnih utjecaja koji se mogu pojaviti prilikom zadržavanja vode u podzemlju. Obuhvaća područje izvan I. zone do linije od koje podzemna voda ima minimalno vrijeme zadržavanja u podzemlju od 50 dana prije ulaska u vodo zahvatnu građevinu. U slučaju da je vertikalni tok veći od 50 dana

II. zona se ne određuje. U II. zoni se dodatno zabranjuje:

- Poljoprivredna proizvodnja, osim ekološke proizvodnje
- Stočarska proizvodnja, osim farmi do 20 uvjetnih grla uz primjenu mjera zaštite voda

- Ispuštanje pročišćenih i nepročišćenih otpadnih voda s prometnica
- Formiranje novih groblja ili širenje postojećih
- Izgradnja reciklažnih dvorišta ili pretovarnih stanica za otpad [2].

I. zona sanitarne zaštite određuje se radi zaštite izvorišta, vodozahvatnih građevina i njihove neposredne okoline od bilo koje vrste onečišćenja, oštećenja te drugih štetnih utjecaja. Za razliku od III. i II. zona, I. zona mora biti udaljena minimalno 10 metara od vodozahvatnih građevina i mora biti ograđena stabilnom ogradom visine dovoljne za sprječavanje bilo kakvog neovlaštenog ulaza. Osim već navedenih zabrana u I. zoni se dodatno zabranjuju sve aktivnosti osim onih vezanih za zahvaćanje, kondicioniranje i transport vode do vodoopskrbnog sustava.

2.2. Zone sanitarne zaštite izvorišta sa zahvaćanjem voda iz vodonosnika s pukotinskom i pukotinsko – kavernožnom poroznošću

Za zone sanitarne zaštite izvorišta sa zahvaćanjem voda iz vodonosnika s pukotinskom i pukotinsko-kavernožnom poroznošću određuju se četiri zone sanitarne zaštite. IV. zona se zove zona ograničenja, III. je zona ograničenja i nadzora, II. je zona strogog ograničenja i nadzora, a I. je zona strogog režima zaštite i nadzora. IV. zona obuhvaća sliv izvorišta izvan III. zone s mogućim tokom kroz pukotinsko i pukotinsko – kavernožno podzemlje u uvjetima velikih voda, do vodozahvata. U IV. zoni se zabranjuje.

- Ispuštanje nepročišćenih otpadnih voda
- Građenje postrojenja za proizvodnju opasnih i onečišćujućih tvari za vode
- Građenje građevina za oporabu, obradu i odlaganje opasnog otpada
- Skladištenje radioaktivnih i za vode opasnih i onečišćujućih tvari
- Građenje benzinskih postaja bez zaštitnih građevina za spremnike naftnih derivata
- Provođenje istražnih i eksploatacijskih bušotina za naftu, zemni plin kao i izrada podzemnih spremišta

- Skidanje pokrovno sloja zemlje osim na mjestima gdje je dopuštena gradnja građevina
- Izgradnja prometnica, parkirališta i aerodroma bez odgovarajuće odvodnje, uređaja za prikupljanje ulja i masti, te sustava za pročišćavanje oborinskih voda
- Upotreba praškastih eksploziva kod miniranja većeg opsega [2].

III. zona obuhvaća dijelove od granice II. zone do granice s koje je moguće tečenje kroz podzemlje do vodo zahvata u razdoblju od 1 do 10 dana u uvjetima velikih voda. U III. zoni se dodatno zabranjuje:

- Privremeno i trajno odlaganje otpada
- Građenje cjevovoda za transport tekućina koje mogu izazvati onečišćenje voda
- Izgradnja benzinskih postaja bez spremnika s dvostrukom stijenkom i uređaja za automatsko detektiranje propuštanja
- Podzemna i površinska eksploatacija mineralnih sirovina [2].

II. zona obuhvaća glavne podzemne drenažne smjerove u neposrednom slivu izvorišta, s mogućim tokom podzemne vode u trajanju do 24 sata. Ako se u području III. i IV. zone nalaze područja s glavnim točkama prikupljanja i otjecanja vode prema izvorištu potrebno ih je odrediti kao dio II. zone sanitarne zaštite. Takve točke su ponori i ponorne zone i potrebno ih je ograditi stabilnom ogradom. U II. se zoni dodatno zabranjuje:

- Poljoprivredna proizvodnja, osim ekološke proizvodnje
- Stočarska proizvodnja, osim za farme do 20 uvjetnih grla
- Gradnja novih groblja i širenje postojećih
- Ispuštanje pročišćenih i nepročišćenih otpadnih voda s prometnica
- Građenje svih vrsta industrijskih postrojenja koje onečišćuju vodu
- Građenje drugih građevina koje mogu ugroziti kakvoću podzemne vode
- Sječa šume, osim sanitarne
- Izgradnja reciklažnih dvorišta i pretovarnih stanica za otpad [2].

I. zona određuje se radi zaštite građevina i uređaja za zahvaćanje vode. Obuhvaća neposredno naplavno područje zahvata vode, izvor vodonosnika, kaptažu, crpne

stanice, uređaje za kondicioniranje vode i građevine za čuvanje mjesta umjetnog napajanja vodonosnika. U I. zoni se zabranjuju sve aktivnosti osim onih vezanih uz zahvaćanje, kondicioniranje i transport vode [2].

2.3. Zone sanitarne zaštite izvorišta sa zahvaćanjem iz površinskih voda

Za zone sanitarne zaštite izvorišta sa zahvaćanjem iz površinskih voda određuju se 3 zone. I. zona ograničenja i nadzora, II. zona strogog ograničenja i nadzora, te I. zona strogo režima zaštite i nadzora. III. zona sanitarne zaštite akumulacija i jezera određuje se u svrhu zaštite akumulacije ili jezera od utjecaja s površina sliva. Utvrđuje se za one akumulacije i jezera kod kojih voda dotiče isključivo zemljišnom površinom, a ne vodotokom ili bujicama. Prostire se od granica II. zone do vanjske granice sliva. U III. zoni se zabranjuju:

- Privremena i trajna odlaganja otpada
- Ispuštanja nepročišćenih otpadnih voda
- Skladištenja nafte i naftnih derivata
- Građenja objekata u svrhu skladištenja, transporta, rukovanja, obradu i zbrinjavanje radioaktivnih i ostalih za vodu opasnih tvari
- Građenja prometnica bez pravilne odvodnje, bez uređaja za prikupljanje ulja i masti, te bez uređaja za pročišćivanje oborinskih voda
- Eksploatacije šljunka, pijeska, kamena i gline
- Građenja industrijskih pogona bez sustava za pročišćivanje otpadnih voda
- Građenja cjevovoda za tekućine koje mogu onečistiti vodu [2].

II. zona utvrđuje se radi zaštite akumulacije ili jezera od onečišćenja donesenih stalnim ili povremenim dotocima vode. Obuhvaća pojas od minimalno 100 metara sa svake strane dotoka mjereno od vanjske granice I. zone. Prostire se uz dotok sve do granica podsliva, te dodatno pojas od 100 metara uz akumulaciju ili jezero mjereno od vanjske granice I. zone. U II. zoni se dodatno zabranjuje:

- Poljoprivredna proizvodnja, osim ekološke proizvodnje
- Stočarska proizvodnja, osim za farme do 20 uvjetnih grla

- Gradnja novih groblja i širenje postojećih
- Građenje drugih građevina koje mogu ugroziti kakvoću vode
- Izgradnja reciklažnih dvorišta i pretovarnih stanica za otpad [2].

I. zona određuje se radi zaštite akumulacije i jezera te vodo zahvata od bilo kakvog onečišćenja, oštećenja, zagađenja i drugih štetnih utjecaja. Obuhvaća akumulaciju ili jezero, branu, vodo zahvatnu građevinu, crpnu stanicu, uređaje za kondicioniranje vode, građevine za čuvanje izvorišta, zaštitne taložnice na ušću dotoka i zaštitni pojas uz jezero ili akumulaciju u širini od 10 metara mjereno od ruba vode prilikom najvišeg vodostaja. Granica I. zone ne mora biti ograđena, ali moraju biti ograđeni vodo zahvatna građevina, crpne stanice, uređaji za kondicioniranje vode i građevine za čuvanje izvorišta. U I. zoni se dodatno zabranjuju:

- izvođenje radova, građenje te obavljanje gospodarskih i drugih djelatnosti osim onih koje se odnose na zahvaćanje, kondicioniranje i transport vode
- upotreba gnojiva i sredstava za zaštitu bilja
- ispuštanje otpadnih voda iz pogonskih građevina i voda za pranje uređaja za kondicioniranje voda
- korištenje svih vrsta plovila, sportova na vodi ili kupanje
- ribarenje, sportski ribolov ili uzgoj ribe
- držanje ili napajanje stoke
- javni promet za vozila i pješake [2].

2.4. Zaštita voda prostornim planiranjem

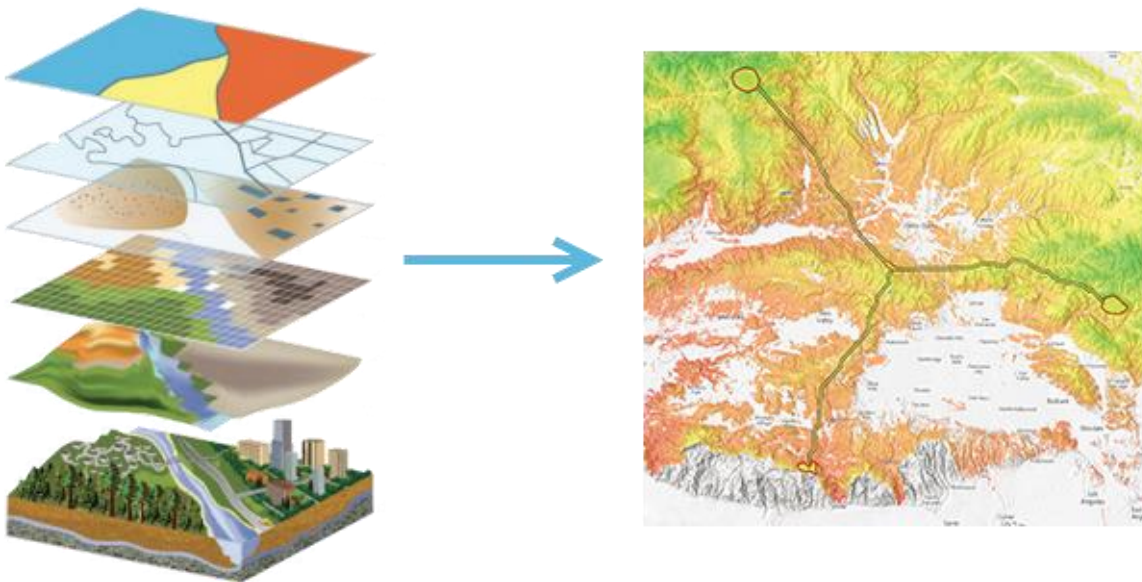
Prostornim planiranjem mogu se učinkovito zaštititi izvorišta i podzemne vode. Treba pri tom uzeti u obzir razvoj i navike regije kako bi se osigurale dovoljne količine kvalitetne vode za potrebe poljoprivrede, gospodarstva i stanovništva. Hrvatske vode i druge javne agencije prikupljaju i obrađuju podatke vezane uz vodu potrebne za izradu prostornih planova. Rezultati analiza moraju se redovito objavljivati kako bi se prostorni planovi mogli izmijeniti na vrijeme [6].

Najčešći negativni utjecaji na količinu i kvalitetu vode nastanu prilikom promjene upotrebe zemljišta. Promjene mogu potencijalno izravno ili neizravno utjecati na količinu i kvalitetu podzemnih i površinskih voda. Za izbjegavanje problema prostornim planiranjem moraju se uzeti u obzir lokacija, kvaliteta, izdašnost, ranjivost kao i potencijal prihranjivanja pojedinih vodonosnika te u skladu s time dugoročno predvidjeti dostupnost vode na području [6].

3. GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SUSTAV (GIS)

Geografski informacijski sustav (GIS, *eng.* Geographic Information System) je računalni sustav koji omogućuje prikupljanje, pohranu i pretraživanje podataka te njihovu analizu i vizualizaciju. Riječ *geografski* u nazivu odnosi se na položaj tj. znači da se analizirani entitet nalazi na lokaciji na zemljinoj površini koja je poznata ili može biti određena te opisana pomoću geografskih koordinata. Termin *informacijski* se odnosi na stjecanje novih saznanja i spoznaja pomoću kreiranih karata, tablica, statističkih prikaza, rezultata interaktivnih pretraživanja i dr. dok *sustav* podrazumijeva da je sastavljen od nekoliko međusobno povezanih komponenti. Njegov je zadatak dokumentiranje, analiziranje i vizualizacija prostornih podataka i njihove prostorne povezanosti [7].

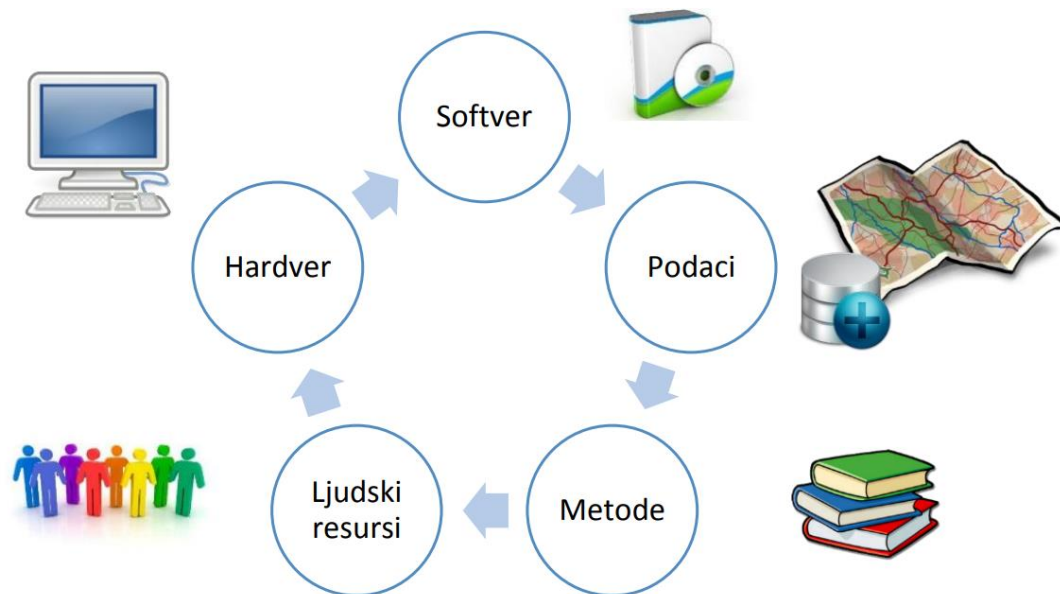
Baze podataka se u GIS-u sastoje od grafičkog i tabličnog dijela (atributa) koji su međusobno funkcionalno povezani. GIS softveri prikazuju dvodimenzionalne ili trodimenzionalne dijelove Zemljine površine. Geografski podaci se organiziraju u slojevima (Slika 2) što omogućuje i olakšava obavljanje složenih prostornih analiza podataka iz različitih izvora.



Slika 2: Slojevi dijela Zemljine površine [8]

Pet je ključnih komponenti GIS-a (Slika 3):

1. Ljudski resursi – GIS analitičari, GIS operateri, informatičari, stručnjaci iz raznih područja upotrebe GIS – a, razvojni programeri softvera
2. Podaci – prostorni (grafički) i tablični (atributni)
3. Hardver – računala, mreže, uređaji za digitalizaciju i sl.
4. Softver – programska rješenja sa funkcijama i alatima za obradu, analizu i prikaz prostornih podataka
5. Metode – različite mogućnosti obrade podataka.



Slika 3: Komponente GIS-a [9]

GIS projekt odvija se u četiri faze. Prva faza obuhvaća prikupljanje podataka iz različitih izvora, provjeru kvalitete (prostorne, vremenske i tematske), primjenu odgovarajućih postupaka pripreme podataka i unos podataka. U drugoj fazi se podaci pohranjuju u prostorne baze podataka kako bi bili brzo i lako dostupni za potrebe projekta. Pretraživanje i analiza odvijaju se u trećoj fazi, a cilj joj je preuzeti odgovarajući podatke iz baze podataka, te primijeniti različite operacije na jednom ili više slojeva u svrhu dobivanja traženih rezultata. Dobiveni rezultati se u četvrtoj fazi projekta prikazuju na odgovarajući način, ovisno ciljanoj skupini, pravilima prikaza i

dostupnim alatima za vizualizaciju. GIS nam, ukratko, omogućava efikasnije upravljanje prostornim resursima, bržu i jednostavniju izradu karata, izračunavanje površina, udaljenosti, nagiba Zemljine površine, integracije podataka, efikasniju raspodjelu informacija među korisnicima, efikasnije prostorno modeliranje i razne druge mogućnosti.

3.1. Prednosti i mane GIS-a

Geoinformacijski sustav poput svih drugih sustava ima svoje prednosti i mane. One određuju gdje će se i kako sustav koristiti. Analizom prednosti i mana svaka ustanova, svaki privatni i javni korisnik odlučuje isplati li se upotreba za njegove potrebe.

Prednosti GIS-a:

- Ušteda vremena - ubrzava obradu velikog broja podataka
- Vizualizacija rezultata i podataka – mogućnost prikaza velikog broja podataka pohranjenih na računalu u slikovitom i shvatljivom obliku
- Olakšava razmjenu podataka između različitih korisnika
- Povezanost GIS-a s različitim strukama (geologija, hidrologija, prostorno planiranje...)
- Velik broj dostupnih softvera
- Integracija podataka - integriranje podataka iz više sustava u jedan
- Prostorno modeliranje – planiranje prometne infrastrukture, upravljanje službama spašavanja, upravljanje prirodnim resursima, turizam, ekologija i sl.

Nedostaci GIS-a:

- Potrebno je savladavanje različitih softvera
- Ponekad dugotrajan proces prikupljanja podataka ili rekonstruiranje istih
- Podatke je potrebno redovito ažurirati obzirom da se često mijenjaju u vremenu.

3.2. Primjena GIS-a

GIS se uvelike koristi kod provedbe prostornih analiza. Prostorna analiza je proces traženja geografskih uzoraka u podacima i traženje veza između objekata. Preklapanjem dva ili više sloja stvaraju se novi slojevi pri čemu se mijenjaju geometrijski podaci, ali i atributni. Preklapanje se može provesti jednostavnim upitima, matematičkim i/ili logičkim operacijama i sl. Upit je dohvaćanje prostornih i atributnih podataka o određenom entitetu ili više njih. Moguće je provesti analize terena poput nadmorskih visina, nagiba terena, smjera nagiba terena i sl. Provode se i analize blizina preklapanja i mreža. Preklapanjem više slojeva možemo kreirati nove slojeve s pripadajućim geometrijama i atributima. Analizom blizine (tzv. *buffering*) možemo odrediti udaljenosti između linija, točaka i poligona. Analiziranjem mreže možemo odrediti optimalne rute, najkraće rute, više različitih ruta, troškove povezivanja, vremenske analize povezivanja i dr. [9].

Kako je prikazano u ovom radu, GIS se koristi i u zaštiti vodnih resursa. Analizom terena i pojava na terenu mogu se kreirati kartografske podloge koje se primjenjuju u zaštiti vodnih resursa. Koristi se za različita hidrološka istraživanja površinskih i podzemnih voda, hidrogeološka istraživanja, modele plavljenja i obrane od poplava, monitoring kakvoće voda, upravljanje i zaštitu slivova, u sustavima vodoopskrbe i navodnjavanja, za zaštitu krških vodonosnika, izrade zaštitnih zona i sl. GIS ima značajnu ulogu u pripremi ulaznih podataka u hidrološkim modelima, ali zahtijeva kvalitetne podloge, poput DEM-a visoke prostorne rezolucije i podataka o oborinama. Njegov značaj potaknuo je i izradu INSPIRE okvirne direktive (*eng.* Infrastructure for Spatial Information in Europe) na razini Europske unije [10] kojom je uspostavljen okvir za prikupljanje i razmjenu prostornih podataka na području EU.

3.3. QGIS softver

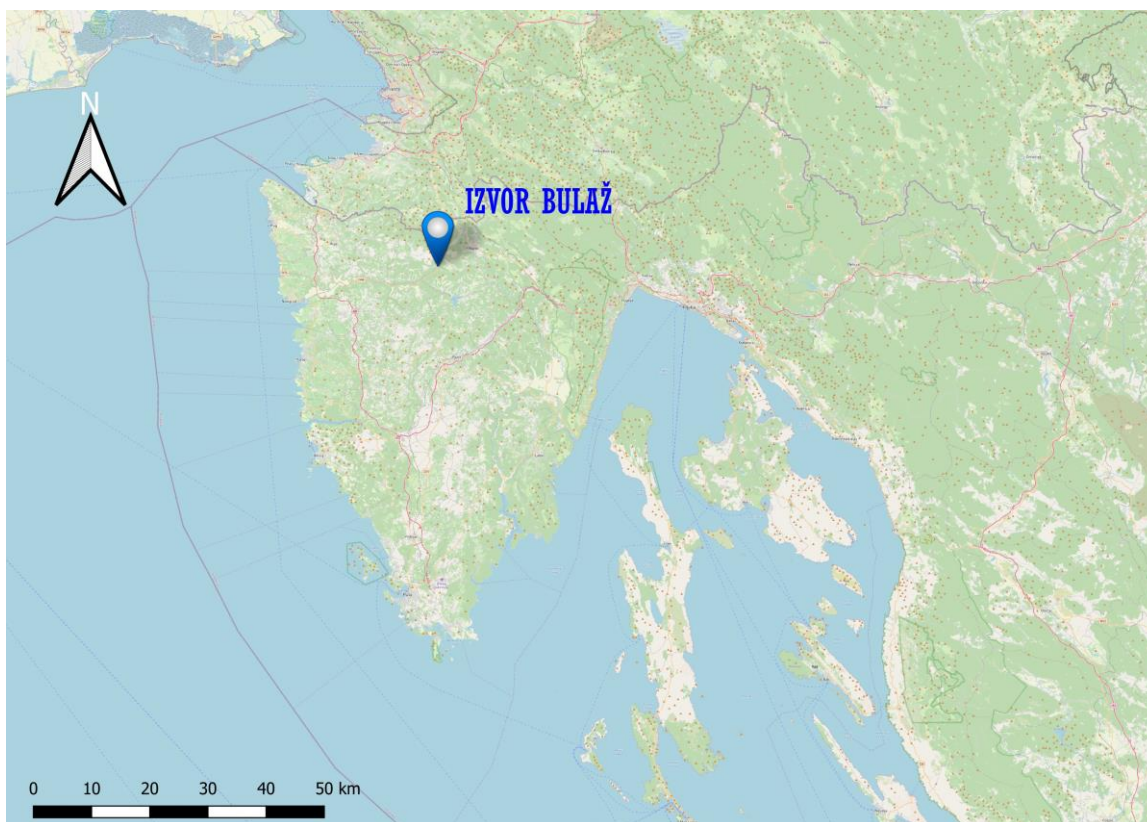
Za prikupljanje, obradu i analizu prostornih podataka primijenjen je QGIS softver, kao i drugi GIS alati dostupni putem QGIS sučelja, npr. SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses). Projekt je osnovan u svibnju 2002. godine, a verzija 1.0 je izdana u siječnju 2009. godine. Razvijen je programskim jezikom C++, te opsežno koristi Qt biblioteke. Cilj QGIS-a je da bude prilagođen korisniku, stoga pruža zajedničke funkcije i značajke. Trenutačno na održavanju i razvoju softvera rade samo grupe volontera koje redovito izdaju nove inačice i zakrpe. QGIS je vodeći GIS softver otvorenog koda. Službeni je projekt organizacije Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Licenciran je GNU-ovom Općom javnom licencom. Ona jamči slobodu dijeljenja i mijenjanja besplatnih softvera. Kompatibilan je s drugim operativnim sustavima poput Linuxa, Unixa, Maca, OSX-a, Windowsa i androida. Poput drugih GIS softvera (uključujući komercijalne) i QGIS omogućuje vizualizaciju, upravljanje, uređivanje i analizu geopodataka. Podržava rad s vektorskim i rasterskim podacima. Rasterski formati podataka koji se mogu koristiti: GeoPackage, GeoTIFF, GRASS, ArcInfo binary i ASCII grids, ERDAS Imagine SDTS, WMS, WCS. Vektorski formati podataka koji se mogu koristiti: GeoPackage, ESRI shapefile, GRASS, SpatiaLite, PostGIS/PostgreSQL i drugi. Mogućnost korištenja raznih baza podataka povezuje korisnike drugih GIS softvera sa QGIS-om zbog čega je dosegao točku u kojoj ga mnogi koriste za svakodnevne potrebe. Korištenjem programskih jezika C++ i Pythona mogu se kreirati prilagođeni dodaci softveru koji korisniku olakšavaju i ubrzavaju rad.

4. IZVOR BULAŽ

4.1. Prirodne karakteristike

Prema Zakonu o vodama, “izvorište je mjesto na katastarskoj čestici iz kojeg podzemna voda prirodno izvire na površinu odnosno mjesto na katastarskoj čestici s kojeg se kroz bušotinu crpi voda iz tijela podzemnih voda” [11].

Izvor Bulaž (Slika 4) se nalazi u Istarskoj županiji, u općini Oprtalj pored naselja Gradinje i Motovunske šume. Smješten je u slivu rijeke Mirne koja zauzima područje centralnog i zapadnog dijela poluotoka, veličine oko 718 km². Većim je djelom na teritoriju Hrvatske, osim manjeg dijela sliva koji se površinski drenira prema izvoru Bulaž i dijela sliva u zaleđu izvora Mlini (Slovenija).



Slika 4: Položaj izvora Bulaž

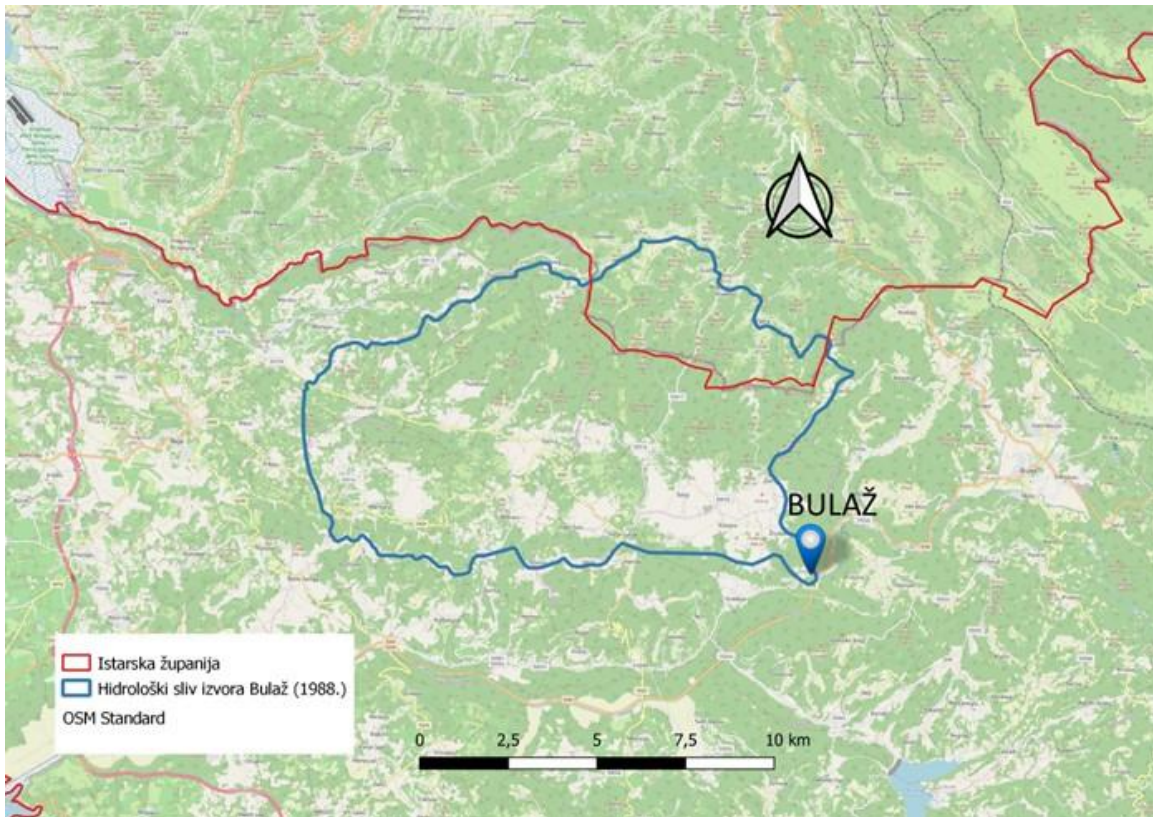
Tipično je uzlazno krško vrelo (Slika 5) smješteno na desnoj obali rijeke Mirne, udaljeno od njenog korita stotinjak metara i u neposrednoj je blizini Istarskih toplica. Najveća ispitana dubina jezera iznosi oko 21 m. Radi se o eliptičnom jezeru čija duža os iznosi oko 65 m, a kraća os 55 m. Ronioci i speleolozi su ustanovili da na dnu postoje 3 izvora na razmaku od ukupno 13 m. Dva od tri izvora se nalaze na dubini od 21 metar, a 1 na dubini od oko 16 m [12]. Obzirom da je kota preljeva na 17 m n. m, dno mu je ispod razine mora.



Slika 5: Izvor Bulaž [13]

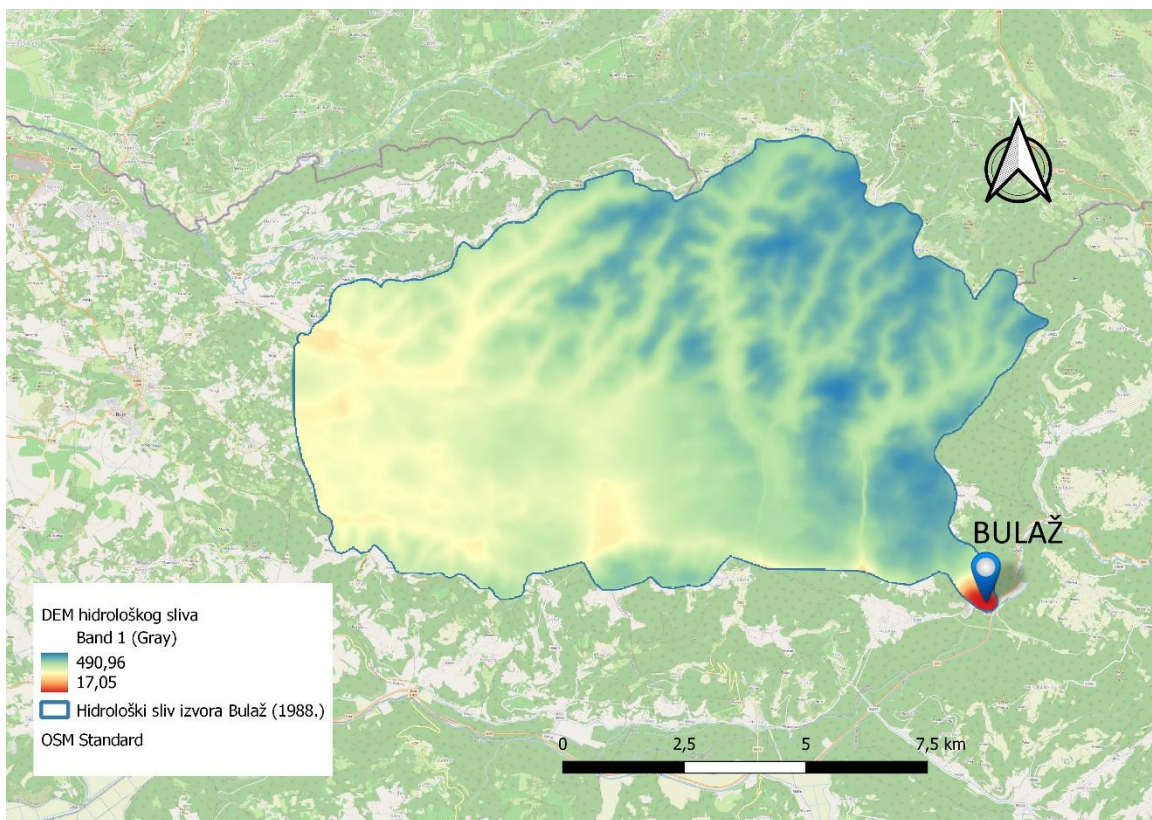
4.1.1. Fizičke karakteristike sliva

Fizičke karakteristike sliva izrađene su pomoću QGIS softvera. Slika 6 prikazuje granicu sliva. Izrađena je prema hidrogeološkoj karti zona sanitarne zaštite izvora Bulaž iz elaborata Antuna Magdalenića iz 1988. godine [14].



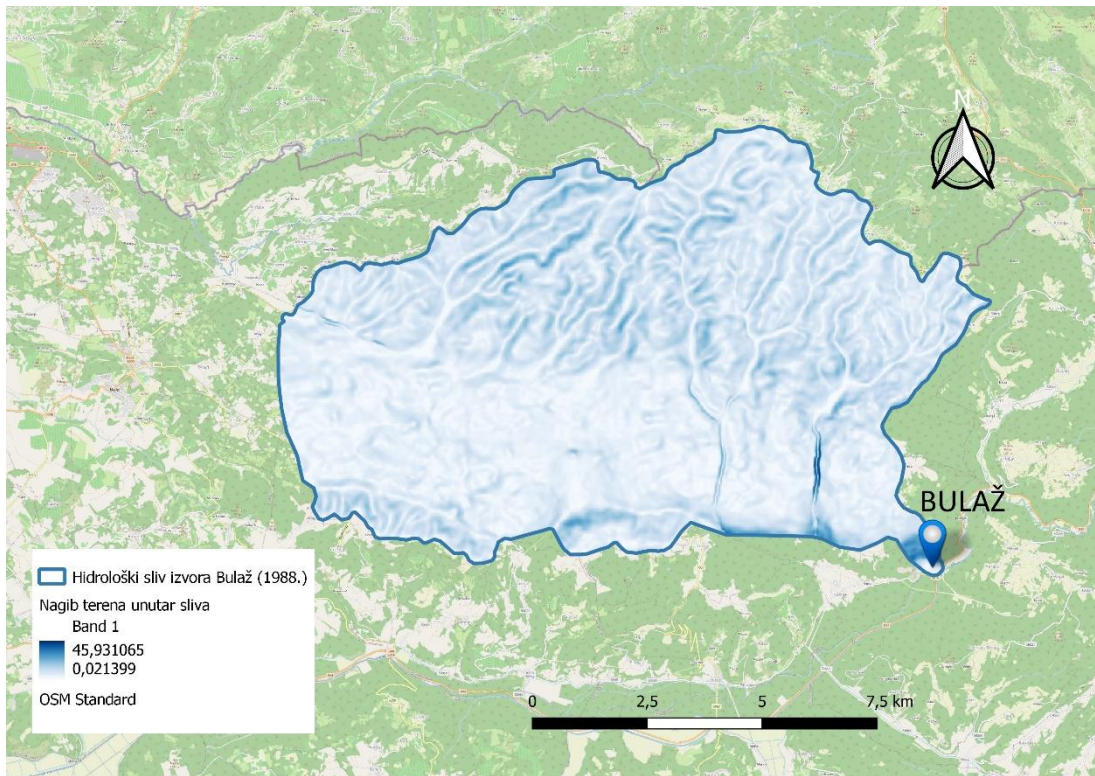
Slika 6: Hidrološki sliv izvora Bulaž

Za izračun fizičkih karakteristika sliva potreban je rasterski sloj nadmorskih visina sliva (Slika 7). Dobiven je obrezivanjem DEM-a po granicama sliva. Najveća nadmorska visina sliva iznosi 490,96 metara nad morem, a najmanja 17,05 metara nad morem. Iz slike je vidljivo kako se najniže točke sliva nalaze kod izvora Bulaž.

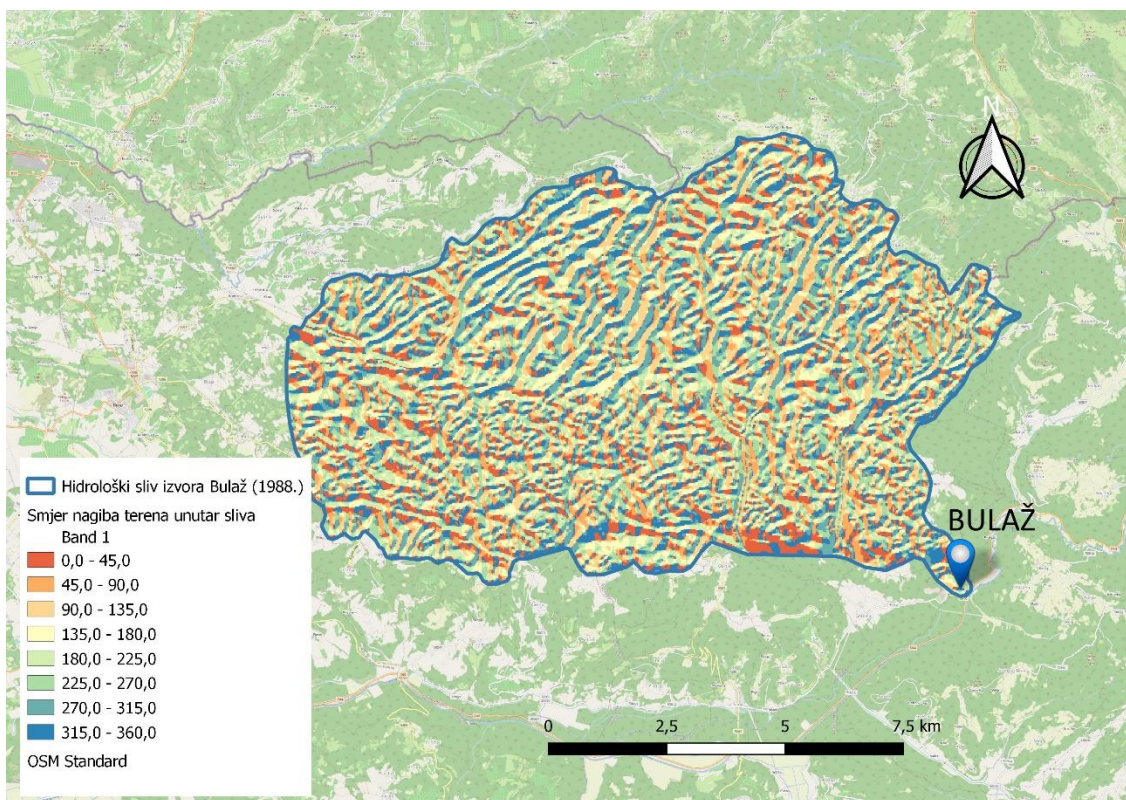


Slika 7: DEM sliva

Nagib terena je prikazan u obliku rasterskog sloja (Slika 8). Izrađen je pomoću alata Slope. Ovaj algoritam izračunava kut nagiba terena iz ulaznog rasterskog sloja. Nagib je izražen u stupnjevima. Smjer nagiba terena (Slika 9) izrađen je pomoću alata Aspect. Alat izračunava kut između smjera sjevera i najstrmijeg nagiba u smjeru kazaljke na satu i pridružuje ga rasteru.



Slika 8: Nagib terena



Slika 9: Smjer nagiba terena unutar sliva

Izračun srednje nadmorske visine terena i srednjeg nagiba terena se vrši pomoću alata Zonal Statistics. Ovaj algoritam izračunava statističke veličine rasterskog sloja za svaku značajku vektorskog sloja koji se preklapa sa rasterskim. Rezultat se prikazuje unutar atributne tablice poligonskog sloja. Srednja nadmorska visina iznosi 350,76 metara nad morem, a srednji nagib terena iznosi 7,33°.

4.1.2. Hidrogeološke značajke sliva

Površina priljevnog područja izvora iznosi 105 km². Od toga 43 km² otpada na krško područje i 62 km² na fliško. Krško područje je dio sliva koji se sastoji od karbonatnih stijena (vapnenaca i dolomita). Osnovna karakteristika krškog reljefa je izražena ali selektivna topljivost stijena čime se razvija reljef sa mnogo udubina i uzvisina. Udubine se u kršu dijele na nadzemne (ponikve, škrape, kamenice, doline, uvale, polja) i podzemne (špilje, jame). Česta uzvišenja su kukovi (strme stijene koje strše) [14]. Slika 10 prikazuje moguće udubine i uzvišenja na krškom području.

Neka od hidrogeoloških obilježja krša su:

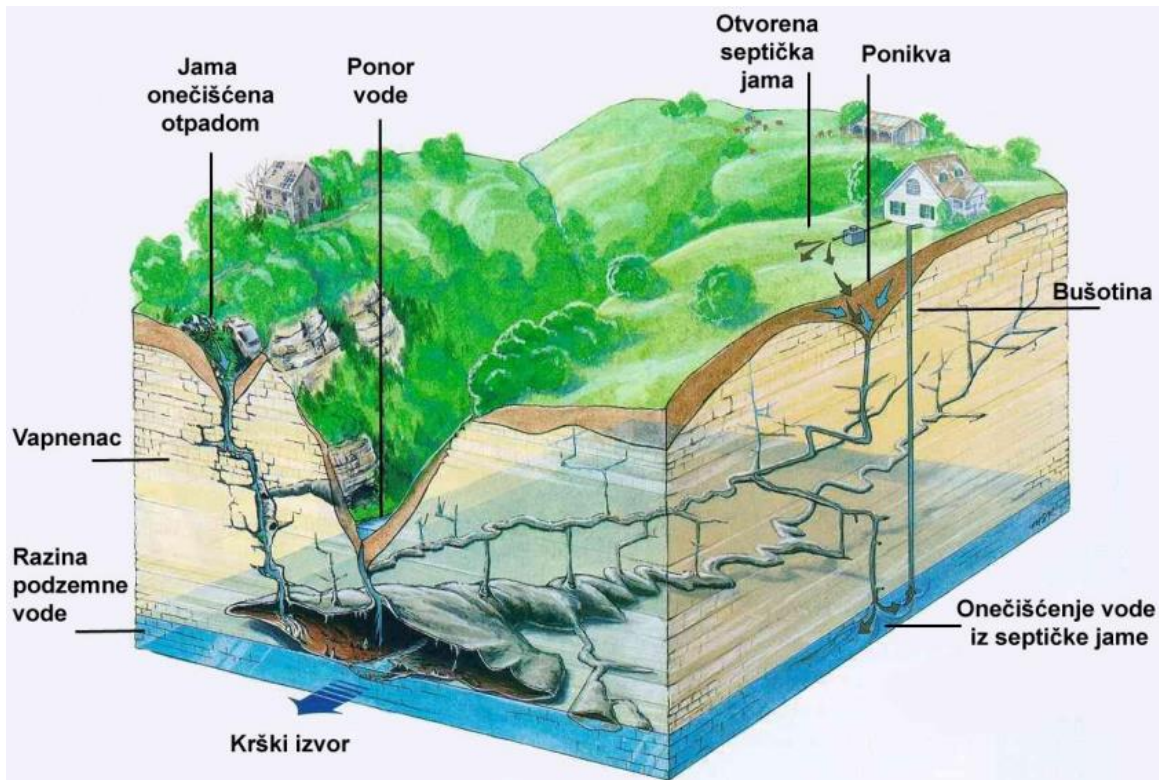
- Velika propusnost krških terena
- Brzo infiltriranje oborinskih voda
- Izrazito velike brzine podzemnih tokova

Obzirom na veliku ranjivost krških vodonosnika oni se svrstavaju pod najosjetljivije hidrogeološke sustave u pogledu prirodnih uvjeta obnavljanja vodnih zaliha i zaštite od mogućih onečišćenja sa veoma niskim stupnjevima samo pročišćavanja. Kako bi se krš i krški vodonosnici zaštitili kreirani su i realizirani brojni projekti Europske Unije i Istarske županije. Poput projekata „Drinkadria“², „ŽIVO – Život – voda!“, „DIVA“³, „KUP – Karst Underground Protection“, „Underground Istria“ i dr. Glavni cilj projekata je osiguravanje dovoljnih količina zdravstveno ispravne vode za potrebe stanovništva

² Uspostava integriranog sustava upravljanja vodnim resursima s uvažavanjem regionalnih posebnosti na projektnom području

³ Sanacija divljih odlagališta i podizanje svijesti o njihovoj štetnosti

i privrede Istarske županije, bez značajnih ulaganja u pročišćavanje sirovih voda što bi imalo za posljedicu i povećanje cijene vode [13].



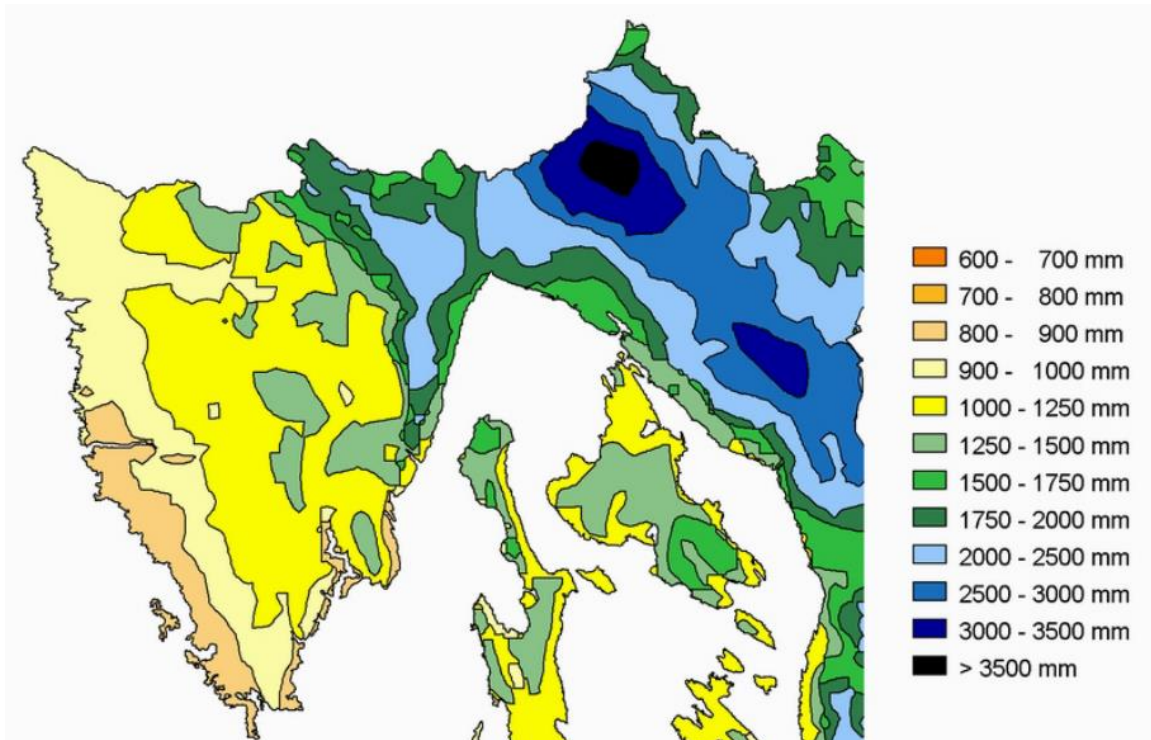
Slika 10: Sustav krškog vodonosnika [15]

Fliško područje je dio sliva koji se sastoji od fliških naslaga lapora i pješčenjaka s izraženom površinskom mrežom i poniranjem vode na kontaktu s vapnencem i dolomitom. Srednja godišnja izdašnost je 2 m³/s, minimalna zabilježena izdašnost iznosi oko 42 L/s, a maksimalna 38 m³/s.

Tijekom sušnog razdoblja sredinom osamdesetih godina je pomoću privremenog crpnog postrojenja pumpana voda u sustav vodoopskrbe izvora Sv. Ivan. 1988. godine izgrađen je cjevovod protočnog kapaciteta 150 l/s i vodozahvatna građevina sa kojima je omogućeno dodatno napajanje izvora Gradole tijekom razdoblja nedovoljne izdašnosti. Također je 1988. godine na izvoru Bulaž osnovana i hidrološka postaja i od tada se kontinuirano na njoj vrše mjerenja. Češće u srpnju i kolovozu zbog opasnosti nedostatka biološkog minimuma. Oko 2008. godine uočeno je da prirodni dotoci u sušnim razdobljima nisu dovoljni pa je izvor Bulaž uključen za

nadopunjavanje jezera Butoniga. Akumulacija Butoniga predstavlja dugoročno rješenje za osiguravanje potrebnih količina vode za piće u Istri. Volumen izgrađene akumulacije do kote praga preljeva (41,0 m n.m.) iznosi 19,7 mio m³, odnosno oko 17 mio m³ iskoristive vode. U periodu od 2011. do 2012. godine sagrađen je cjevovod od Bulaža do postrojenja Butoniga koji omogućava nadopunjavanje sustava Butoniga iz izvora Bulaž. Na taj način je spriječena potreba za uvođenjem višeg stupnja redukcije vode u vodoopskrbi. Zadnja faza projekta je rekonstrukcija crpne stanice i starog dijela cjevovoda za kapacitet 500 l/s, te dovod vode do jezera Butoniga, što će omogućiti dopunjavanje vodom iz Bulaža u periodima slabijih prirodnih dotoka u akumulaciju. Na taj je način izvor Bulaž značajno dobio na važnosti u smislu osiguranja vodoopskrbe Istre [16].

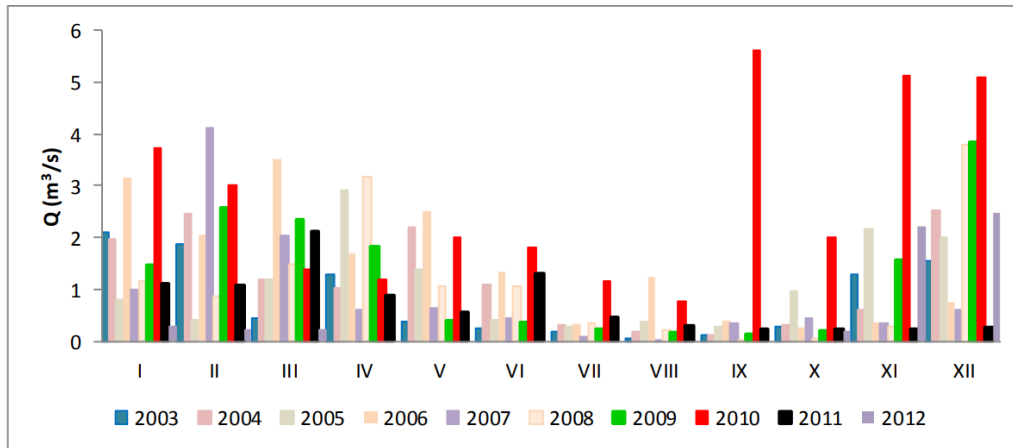
Srednja godišnja oborina sliva izvora Bulaž iznosi oko 1000 mm, a kreće se od 900 do 1500 mm ovisno o dijelu sliva na kojem se provode mjerenja (Slika 11).



Slika 11: Srednje godišnje oborine [17]

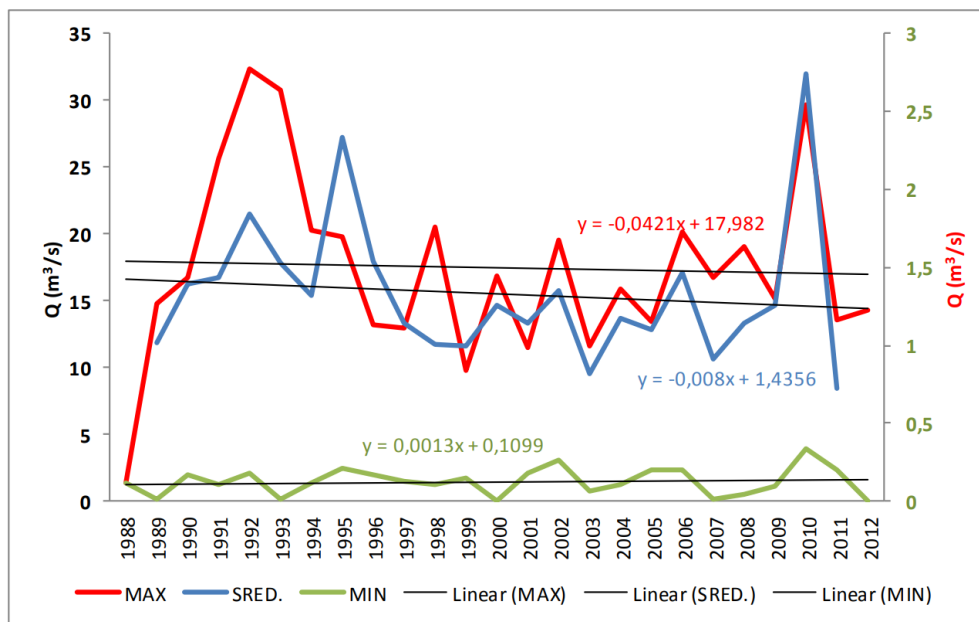
4.1.2.1. Hidrološke karakteristike

Slika 12 prikazuje srednje mjesečne protoke za hidrološku postaju Bulaž za razdoblje 2003.-2012. godine [4]. Prema prikazanim podacima 2003. godina se ističe kao vrlo sušna, 2011. kao ekstremno sušna, a 2010. kao vrlo kišna godina. Kao prosječna godina se može okarakterizirati 2009.



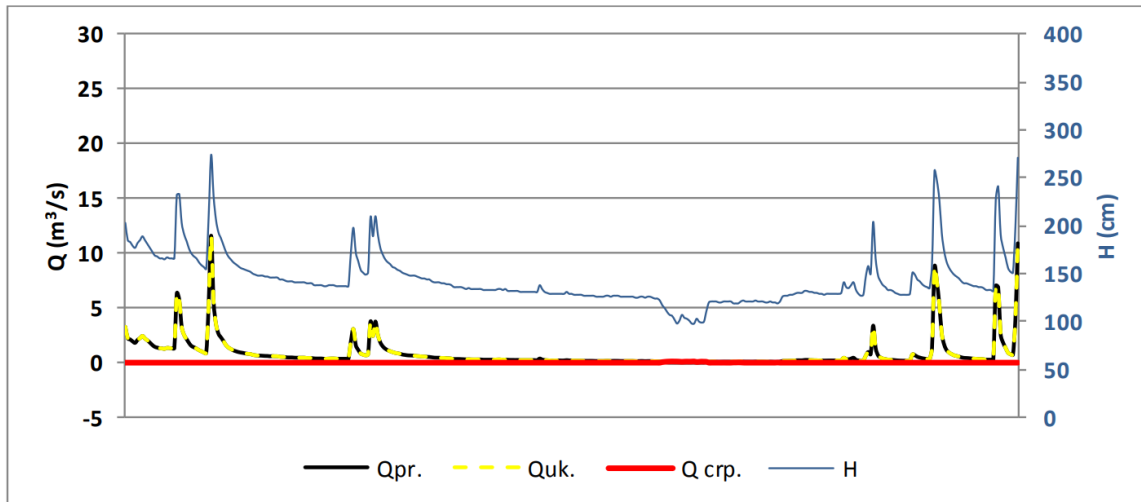
Slika 12: Srednji mjesečni protoci za hidrološku postaju Bulaž [4]

Na krivulji karakterističnih godišnjih protoka (Slika 13), vidljivo je da je najveći srednji protok zabilježen 1992., 1995., i 2010. godine, a najmanji 2003., 2007., 2011. godine [4].



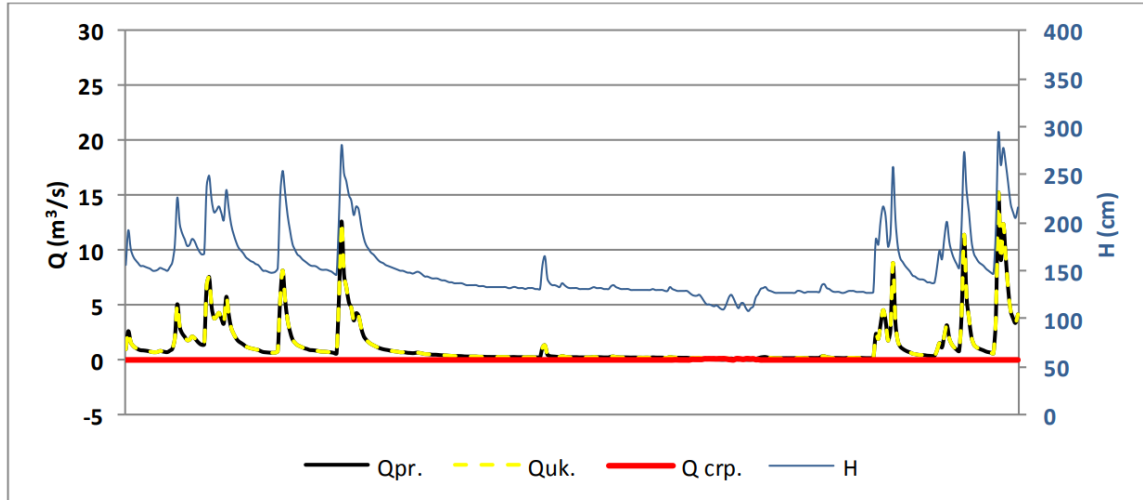
Slika 13: Karakteristični protoci na preljevu hidrološke postaje Bulaž [4]

Tijekom vrlo sušne 2003. godine u ljetnim mjesecima provedena je serija simultanih mjerenja razina vode na području istarskih slivova od strane DHMZ-a, Hrvatskih voda, VGO Rijeka i Građevinskog fakulteta u Rijeci, a rezultati su pokazali da su izvori imali manja ekstremna sušna obilježja od površinskih vodotoka (Slika 14) [4].



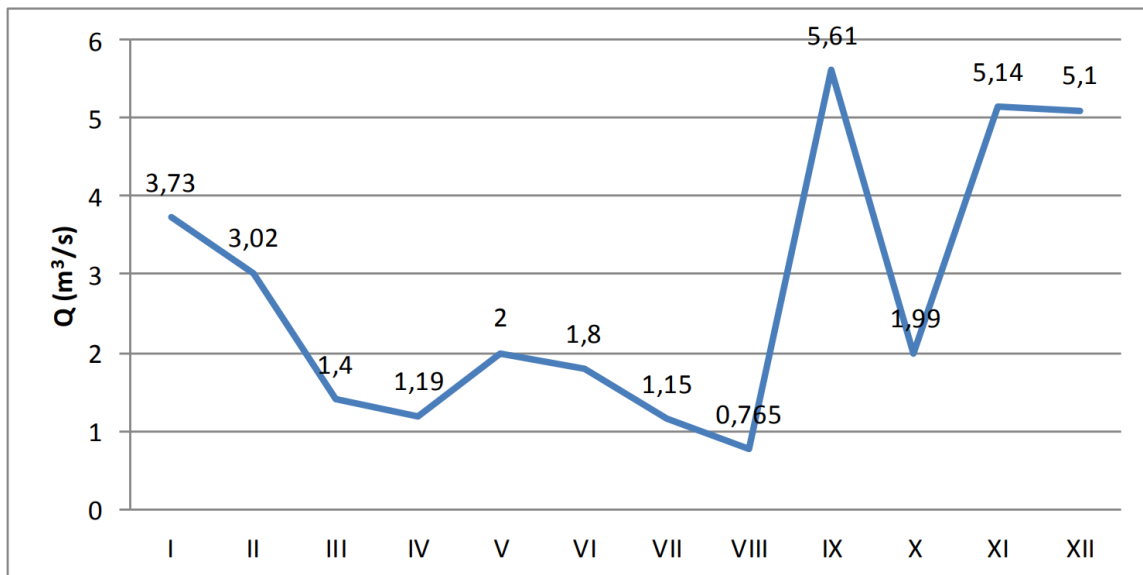
Slika 14: Prikaz protoka i razine vode tijekom 2003. godine [4]

Godina 2009. okarakterizirana je kao prosječna jer su oborine na području Istarske županije bile normalne u odnosu na višegodišnji prosjek od 1961. do 1990. godine. Iste godine je zabilježeno crpljenje u trajanju od 35 dana, a izvor nije presušio niti jedan dan. Crpljenja su vršena od 13. kolovoza do 16. rujna. Slika 15 prikazuje crpljenja, vodostaj i protoke tijekom prosječne 2009. godine. Mjerenja su vršena na hidrološkoj postaji Bulaž [4].



Slika 15: Vodostaj i protok 2009. godine [4]

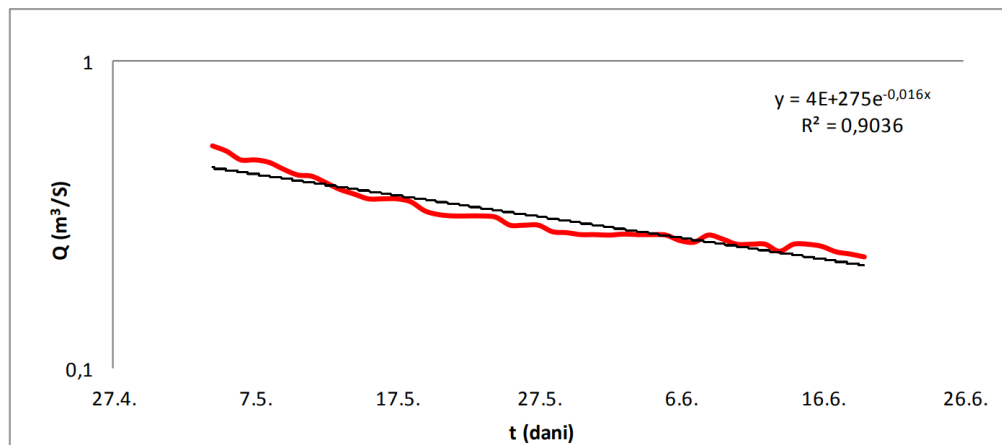
Kišna 2010. godina rezultirala je velikom izdašnošću izvora Bulaž u trajanju od rujna do prosinca (Slika 16). Velika izdašnost javila se tijekom jesenskog i zimskog razdoblja, nakon čega slijedi razdoblje pražnjenja podzemnih rezervi. Nakon proljeća i sekundarnog povećanja izdašnosti izvora, a time i rezervi, slijedi dugotrajno recesijsko razdoblje [4].



Slika 16: Srednji mjesečni protoci 2010. godine [4]

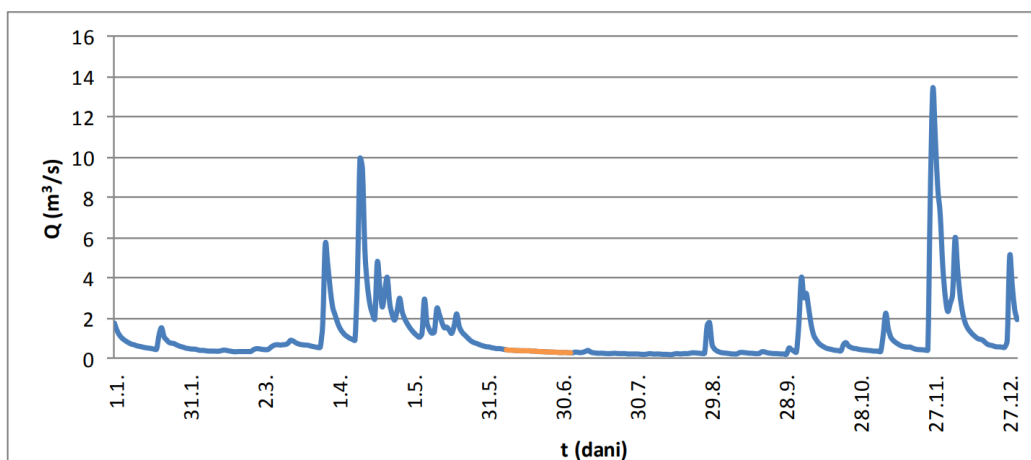
4.1.2.2. Krivulje recesije

Krivulje protoka poprimaju recesijski oblik u razdoblju bez mnogo oborina, stoga se na temelju posljedica odvodnjavanja vodonosnika mogu hidrogramom slikovito prikazati. Najduže recesijsko razdoblje (Slika 17) u periodu od 2003. do 2012. godine zabilježeno je u prosječnoj 2009. godini u trajanju od 47 dana. Koeficijent recesije ima vrijednost $\alpha = -0,016$ [4].



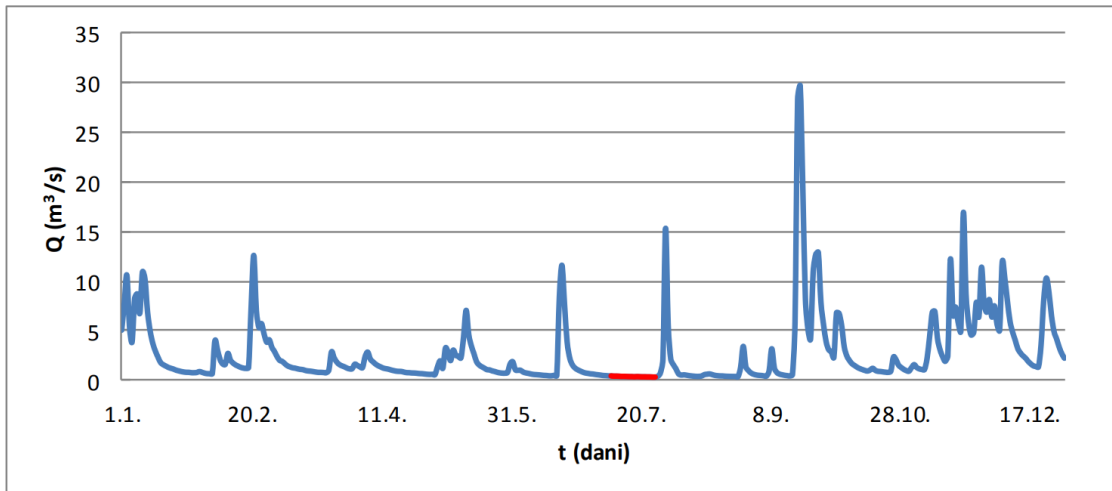
Slika 17: Najduže recesijsko razdoblje [4]

2005. godine izvor nije presušio i iz njega nije crpljena voda. Zabilježeno je samo jedno recesijsko razdoblje (Slika 18). Koeficijenti recesije iznosio je $\alpha = -0,015$ [4].



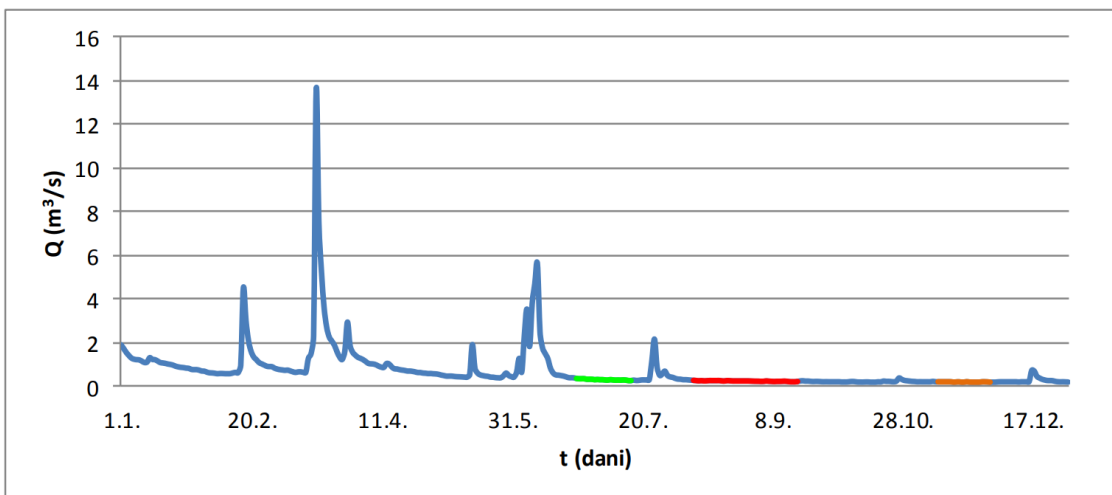
Slika 18: Ukupni dnevni protoci za 2005. sa istaknutim recesijskim razdobljem [4]

U 2010. godini koja je okarakterizirana kao najkišnija recesijsko razdoblje trajalo je 18 dana. Imalo je recesijski koeficijent $\alpha = -0,016$ jednak onome u 2009. godini (Slika 19) [4].



Slika 19: Ukupni dnevni protoci za 2010. sa istaknutim recesijskim razdobljem [4]

Za razliku od ostalih, sušna 2011. godina imala je tri recesijska razdoblja, koja su trajala redom 22, 41, 21 dan što je i prikazano na slici 20[4].

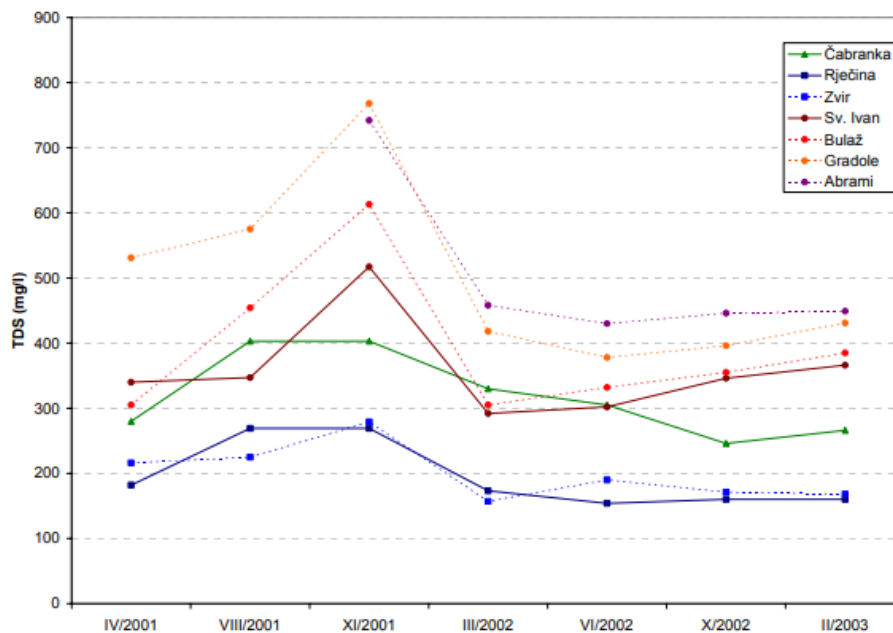


Slika 20: Ukupni dnevni protoci za 2011. sa istaknutim recesijskim razdobljima [4]

Koeficijent recesije ovisi osim o veličini sliva i o trajanju recesijskog razdoblja, te vrijednosti protoka. Za izvor Bulaž, prosječna vrijednosti koeficijenta recesije upućuje na brzu drenažu, veliku efektivnu poroznost, veliku transmisivnost i malo uskladištenje [18].

4.2. Zagađivači sliva i izvorišta

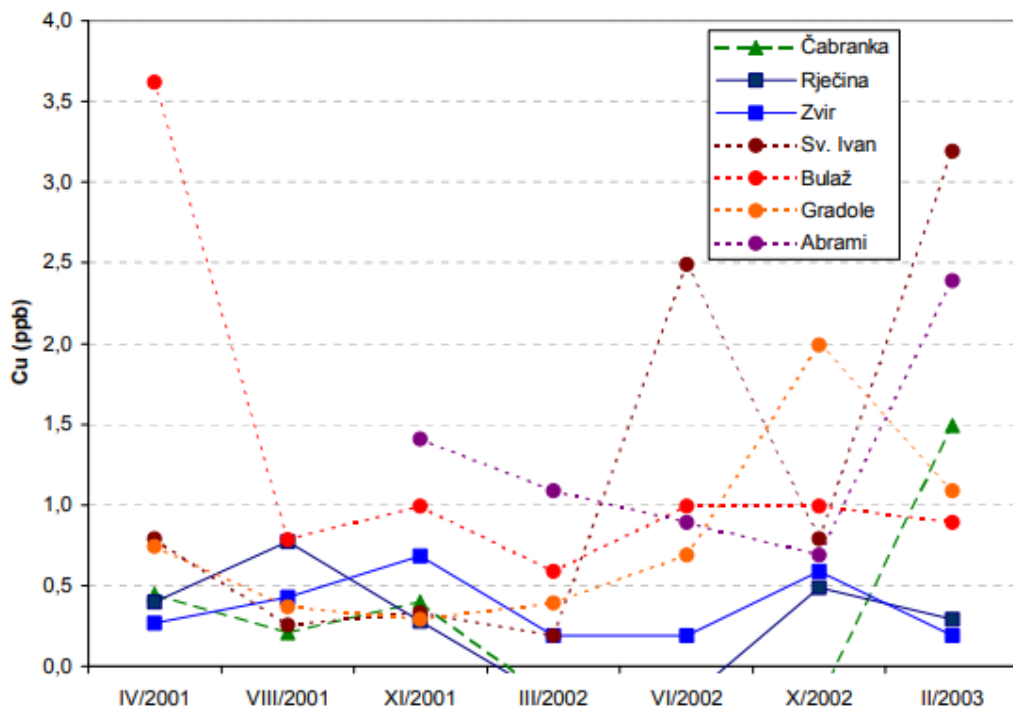
Sadržaj ukupno otopljene krute tvari u podzemnim vodama (Slika 21) uglavnom je rezultat litološkog sastava vodonosnika i njegovog pokrova. Najniže koncentracije ukupno otopljene krute tvari vezane su uz vodonosnike izgrađene od čistih karbonatnih stijena vapnenaca i dolomita, koji nemaju krovinu klastičnih naslaga drugačijeg litološkog sastava i imaju relativno tanak pokrov tla. Rezultati pokazuju da najmanju mineralizaciju imaju vode izvora Rječine i Zvira, a sadržaj ukupno otopljene krute tvari najveći je u vodama izvora u Istri zbog toga jer su vodonosnici dijelom u kontaktu s fliškim naslagama. Izvor Bulaž u sredini je po količini otopljene tvari na području Istre. Ustanovljena odstupanja u kolovozu i studenom 2001. odraz su doprinosa otopljenih tvari iz zone trošenja. Najviše vrijednosti izmjerene su u vodi priobalnog izvora Kristal u Opatiji jer je pod stalnim utjecajem mora [4].



Slika 21: Ukupna otopljena kruta tvar u izvorskim vodama [17]

Pri razmatranju ukupnog elementarnog sastava izvorskih voda na području Istre utvrđen je povremeni antropogeni unos bakra, najvjerojatnije modrom galicom. Prema rezultatima stalnog praćenja (Slika 22) najviše koncentracije bakra u podzemnim vodama ustanovljene su tijekom proljetnih mjeseci, upravo u vrijeme tretiranja vinograda s modrom galicom. Rezultati ukazuju na preveliki utjecaj vinogradarstva u području oko izvora. Samim time potrebno je prilagoditi zone sanitarne zaštite izvorišta ili postrožiti iste.

Prema podacima iz baze podataka Hrvatskih voda na Bulažu je na ispitivanim uzorcima iz 1979. do 1980. utvrđeno da koncentracija fenola i deterdženata prelazi dozvoljenu granicu [17]. Rezultati nisu bili iznenađujući obzirom da tada još nisu definirane zone sanitarne zaštite i da nisu postojali sustav odvodnje oborinskih voda i sustav kanalizacije. Rezultati su potvrda da je potrebna zaštita izvorišta i da je potrebno provoditi kontinuirana ispitivanja i motrenja kako bi se spriječili ovakvi rezultati u budućnosti.



Slika 22: Sadržaj bakra u izvorskim vodama [17]

S obzirom na značajke kakvoće vode, izvor Bulaž pokazuje tipična krška obilježja. Na promjene protoka zbog intenzivnih oborina reagira iznimno velikim povećanjem mutnoće, pri čemu se uvelike degradira kakvoća vode: poraste sadržaj oksidativnih tvari, amonijačni dušik, sadržaj željeza i mangana, te svi pokazatelji fekalnog onečišćenja [4].

5. ZONE SANITARNE ZAŠTITE IZVORA BULAŽ

Izvorište Bulaž (Slika 23) je tipično krško vrelo te se za njega određuju 4 zone sanitarne zaštite izvorišta. Prema pravilniku zone se određuju za izvorišta sa zahvaćanjem voda iz vodonosnika s pukotinskom i pukotinsko-kavernoznom poroznosti. Zone zaštite izvorišta sa zahvaćanjem voda iz vodonosnika s pukotinskom i pukotinsko-kavernoznom poroznosti su:

Zona ograničenja – IV. Zona,

Zona ograničenja i nadzora – III. Zona,

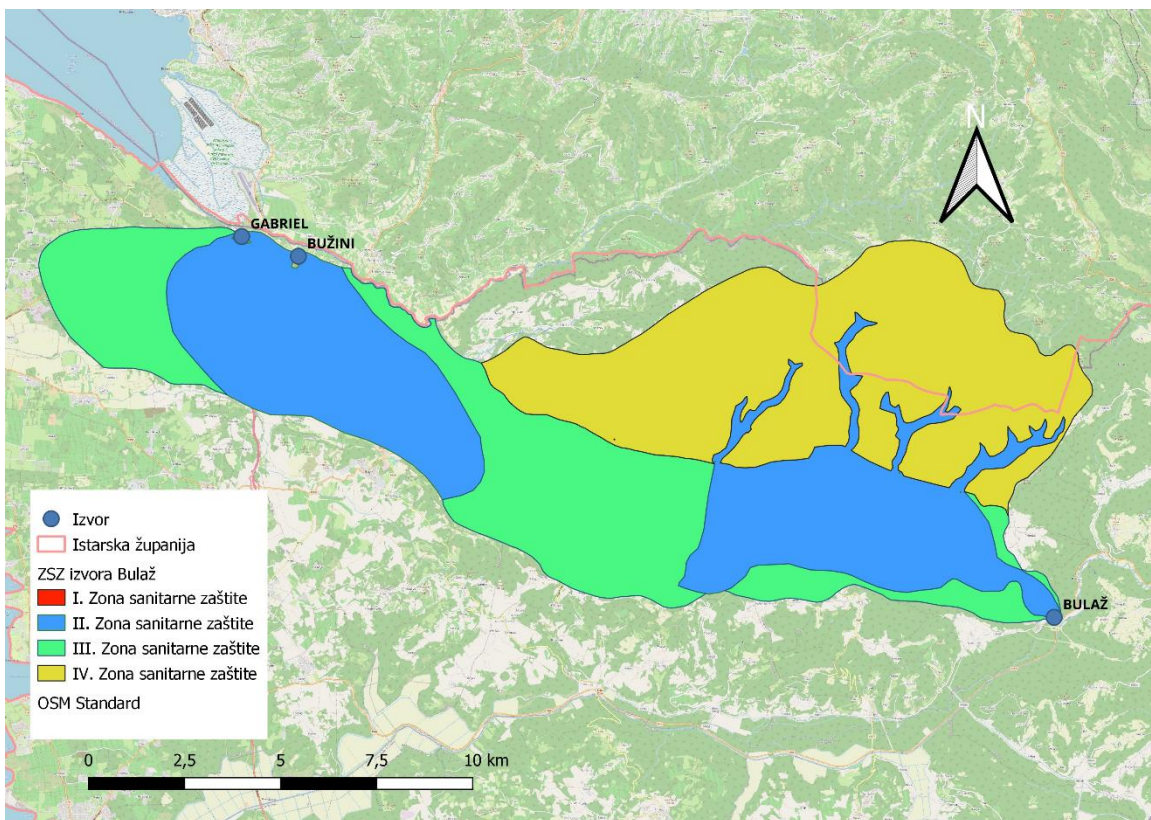
Zona strogog ograničenja i nadzora – II. Zona,

Zona strogog režima zaštite i nadzora – I. Zona [2]

Nužno je napomenuti da se tako određene zone sanitarne zaštite ne odnose samo na zaštitu izvora Bulaž već objedinjuju zaštitu još dva značajna izvora na sjeverozapadnom području Istre u blizini hrvatsko-slovenske granice: Gabrijel i Bužini (Slika 23).

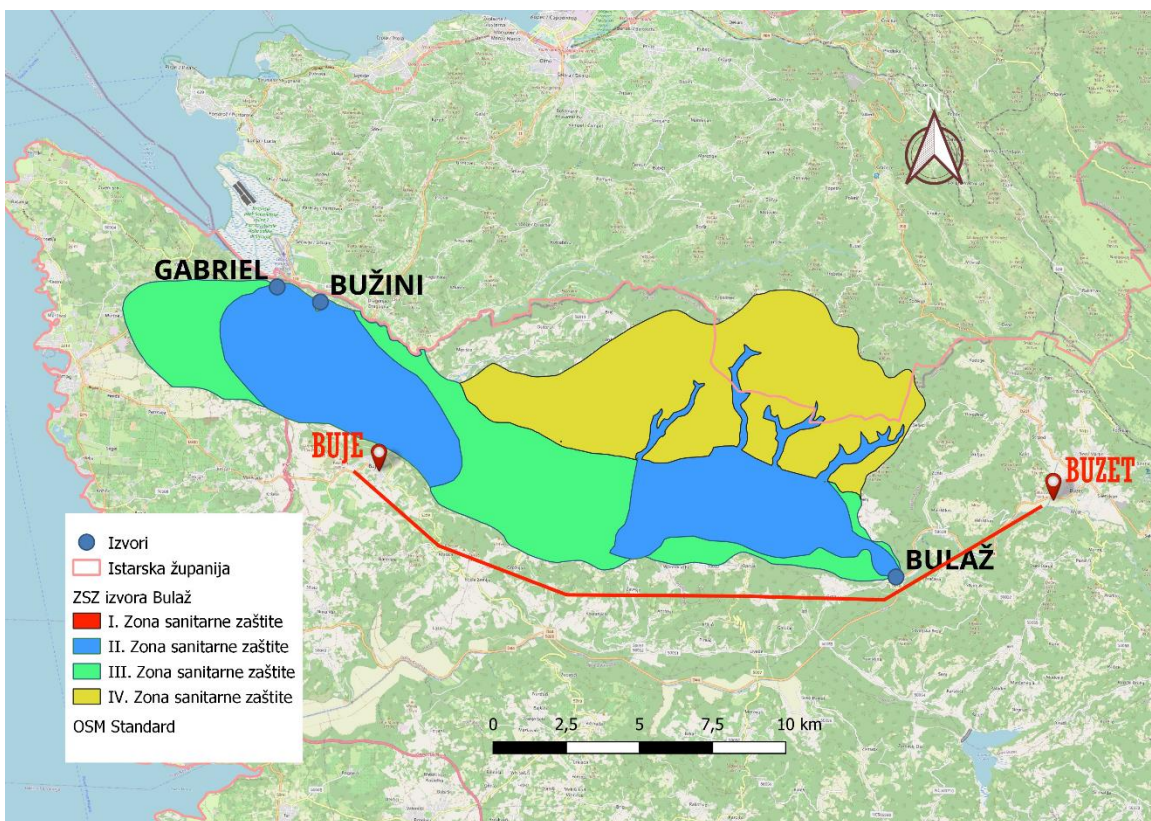
Procjena zagađenja i zagađivača je nužna kod zaštite izvora. Bez znanja o izvorima zagađenja nije moguće kvalitetno zaštititi, obnoviti i upravljati izvorom. Informacije o zagađivačima omogućuju preciznije odrediti strategije obnove i redukcije zagađenja. S dovoljno informacija je moguće predvidjeti buduća zagađenja i pravovremeno reagirati [19].

Primarna zadaća zona je smanjenje rizika od onečišćenja vodonosnika pa se shodno tome u zonama provode aktivne i pasivne mjere zaštite. Za svaku zonu je određen obuhvat i zabrane. Granice postojećih zona sanitarne zaštite vode izvora Bulaž (Slika 23) preuzete su s Geoportala Hrvatskih voda [20].



Slika 23: Postojeće zone sanitarne zaštite

Iz prikaza zona sanitarne zaštite je vidljivo kako zone sanitarne zaštite nisu pravilnog oblika i ne šire se od izvora jednako u svakom smjeru (Slika 23). Zone sanitarne zaštite uvelike ovise o smjeru dotoka vode u vodonosnik. Vidljivo je kako voda pristiže do izvora sa udaljenosti od oko 28 km i to samo sa SZ. Voda koja pada južno i istočno od izvora ne završava u vodonosniku nego pripada dugim slivovima. Razlog tomu su karbonatne stijene u potezu od Buja prema Buzetu koje tvore pregradu (Slika 24). Pregrada je poznata i kao tektonski prodor Savudrija-Buzet ili „bujaska antiklinala“, a može se protumačiti kao rezultat dominirajuće razdjelne tektonike. Ljuskasta struktura Ćićarije rezultat je strukture nastale tangencijalnim naprezanjima [21].

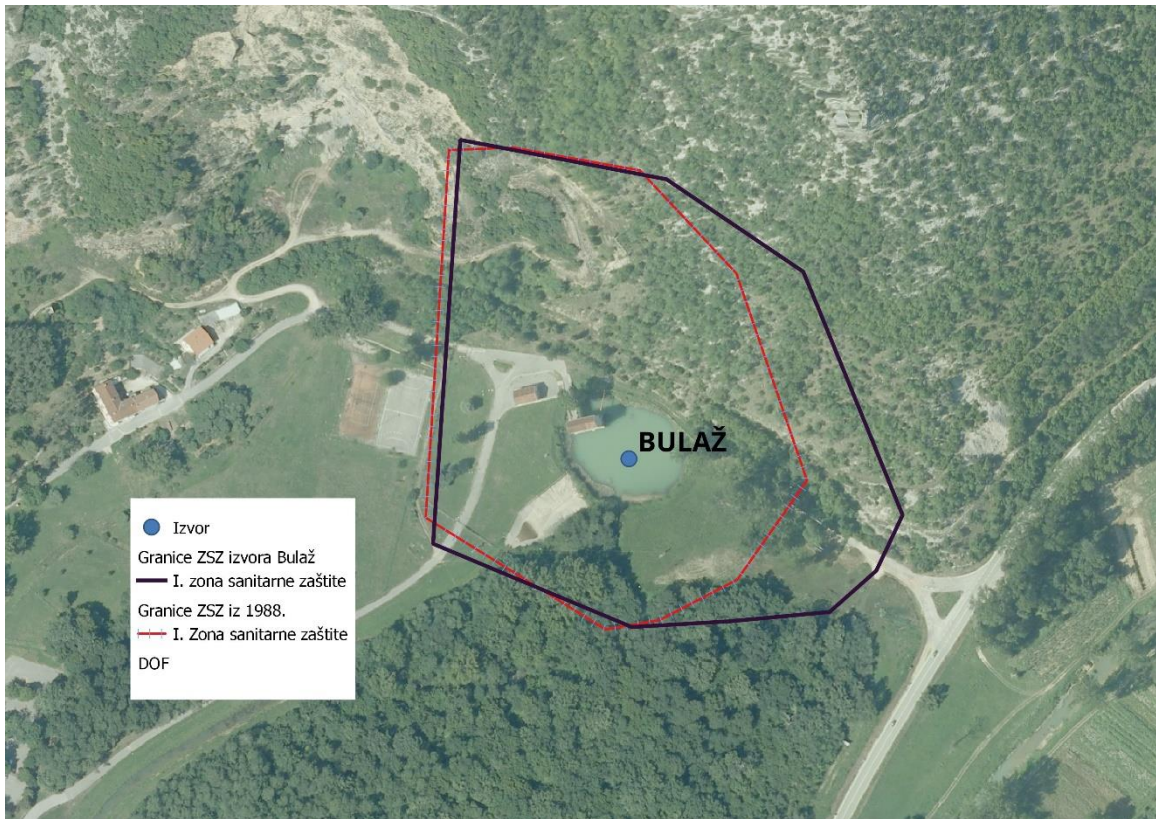


Slika 24: Karbonatna pregrada

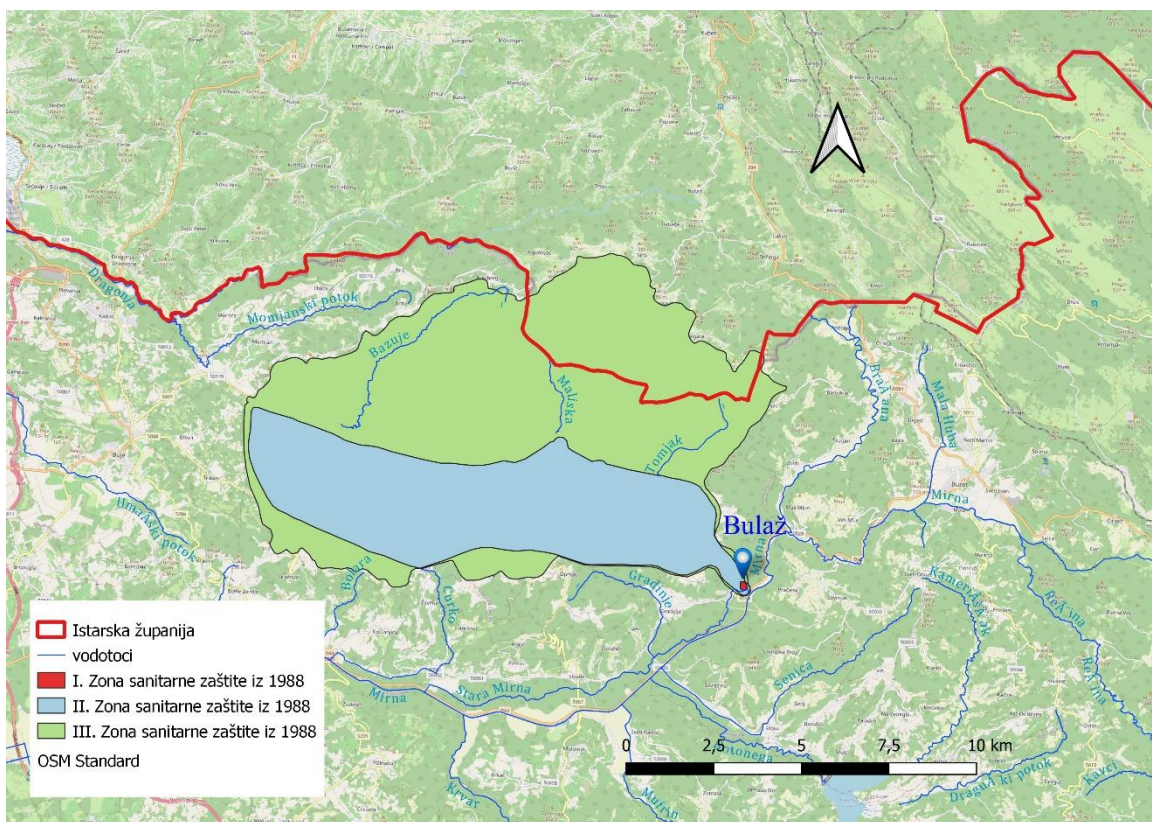
Na slici 25 je prikazana usporedba trenutne i prošle I. zone sanitarne zaštite izvora Bulaž. Crvenom bojom prikazana je granica iz 1988. godine, a crnom današnja granica. Prva istraživanja u svrhu određivanja zona sanitarne zaštite izvora Bulaž proveo je A. Magdalenić 1988. godine s Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta u Zagrebu. Na temelju istraživanja određene su tri zone sanitarne zaštite. Zone sanitarne zaštite nisu provedene prema Pravilniku (NN br. 22/86) već su određene prema geološkim, strukturnim i morfološkim elementima. Granica I. zone sanitarne zaštite nalazi se na udaljenosti od oko 50 do 120 metara od izvora. II. zona prostire se na području karbonatnih stijena unutar sliva, a III. Zona od granice II. zone do granice sliva [14].

Granice sliva iz 1988. godine prikazane su na slici 26. Zapravo se granica I. zone u 20 godina nije puno promijenila. Proširena je za oko 600 m² i to prema jugo-istoku.

Analogne karte su skenirane i učitane u QGIS, georeferencirane u HTRS96/TM projekciju te vektorizirane kako bi se dobio poligonski sloj zona sanitarne zaštite. Georeferenciranje je postupak pozicioniranja rastera na odgovarajući položaj u prostoru. Postupak se sastoji od pridruživanja geografskih koordinata u referentnom koordinatnom sustavu točkama na negeoreferenciranom rasteru.



Slika 25: Usporedba granica I. zone danas i 1988.



Slika 26: Zone sanitarne zaštite iz 1988. godine

Na slici 27 prikazana je hidrogeološka karta Istre na kojoj se vidi precizniji smještaj pregrade (Crvena linija ispod oznake izvora). Također je vidljivo da se područje zona sanitarne zaštite nalazi na fliškim i vapnenačkim naslagama.



TUMAČ OZNAKA:

58 dprQ₂ Deluvijalno-proluvijalne (a - dprQ ₂) i aluvijalne (b - aQ ₂) naslage (holocen)	38 Pc, E Karbonatni filii i klastiti (paleocen, eocen)	18 T₁, T₁ Evaporitno-karbonatno-klastično-vulkanogeni kompleks (gornji ladinik, karnik)
57 IQ₂ Jezerske (a - IQ ₂) i barske (b - bQ ₂) naslage (holocen)	37 K₂, Pg Vulkanске stijene (gornja kreda, paleogen): g - bazalti, c - rioliti, G - graniti	17 T_{2,3} Magmatske stijene (srednji-gornji trijas): a - andeziti, b - bazalti, ts - spiliti i dijabazi, tsab - spilitizirani dijabazi i andeziti bazalti
56 pQ₂ Eoliki pijesci (pQ ₂) (holocen)	36 K₂ Karbonatni klastiti (pretežito filii) "scaglia" vapnenci (gornja kreda)	16 T₂ Klastične i piroklastične naslage (srednji trijas)
55 tsQ₂ Crvenica (tsQ ₂) (holocen)	35 K₁ Hemipelagičke i turbiditne naslage (donja kreda)	15 T₂ Karbonatne naslage (srednji trijas)
54 IQ₁ Kopneni (a - IQ ₁) i barski (b - bIQ ₁) les (pleistocen)	34 K_{1,4} Rudisti vapnenci (enoman-mastriht)	14 T₁ Sajske i kampijske naslage (donji trijas)
53 aQ₁ Fluvijalne (a - aQ ₁) i fluvio-glacijalne (b - bQ ₁) naslage (pleistocen)	33 K₁, K₁ Dolomiti i postsedimentacijske diagenetske breče (gornji alb, donji enoman)	13 P₃ Evaporitne i klastične naslage (gornji perm): a - evaporiti, b - klastiti.
52 Pl, Q Klastične naslage (pliokvartar)	32 K₁ Vapnenci i dolomiti (donja kreda)	12 X, P Magmatiti (? perm): kvarcioriti, granodioriti, keratofiri
51 M₃-M₅ Miocenske naslage Dinarida	31 J_{2,3} Ofiolitne stijene (srednja, gornja jura): a - ultramafiti, b - magmatiti, c - sedimentne stijene	11 P Graniti (perm)
50 Pl Paludinske naslage (dacij, romani)	30 J₂ Parametamorfne stijene (srednja jura)	10 C, P Pretežito klastične naslage (karbon, perm)
49 M, Pl Pijesci i gline (miocen, pliocen)	29 J₂ Ortometamorfne stijene (srednja jura)	9 C, P Klastične i karbonatne naslage (karbon, perm)
48 M₇ Klastiti i ugljen (pont)	28 J₁, K₁ Vapnenci s rozbrjacima i kalponelama (titon, berijas)	8 D, C, P Hercinski semimetamorfni kompleks (devon, karbon, perm)
47 M_{1,4} Vapnenačko-klastične naslage (sarmat, panon)	27 J Pločasti vapnenci (jura općenito)	7 D, C Klastične i karbonatne naslage (devon, karbon)
46 M₄ Litavac i klastične naslage s vulkanitima (baden)	26 J₁, K_{1,2} Slojevit i masivni dolomiti (titon, valendis)	6 Pz, T Parametamorfne stijene (paleozoik, ? trijas)
45 M_{1,4} Magmatske stijene (karpat, baden): a - andeziti i rioliti b - bazalti	25 J_{1,3} Prigrebensko-grebenski vapnenci i dolomiti (kimerid2, titon)	5 Pz, T Ortometamorfne stijene (paleozoik, ? trijas)
44 M_{2,3} Klastiti i karbonati s klastitima (obnag, karpat)	24 J_{1,3} Vapnenci s rozbrjacima: a - slojevit i dolomitima; b - pločasti i slojevit Lemeške naslage (gornji oksford-donji titon)	4 O, S, D Granitne stijene (ordovicij, silur, devon)
43 Ol, M₁ Klastiti s vulkanitima (eger, egenburg)	23 J₁ Vapnenci i dolomiti (gornja jura)	3 O, S, D Kompleks metamorfih stijena (ordovicij, silur, devon)
42 Pg, Ng Vapnenačke breče (paleogen, neogen)	22 J₂ Debeloslojevit vapnenci i dolomiti (srednja jura)	2 O, S, D Progressivna metamorfna serija (ordovicij, silur, devon)
41 E, Ol Prominske naslage (eocen, oligocen)	21 J₁ Vapnenci i dolomiti (donja jura)	1 Pk Kompleks metamorfih stijena (prekambrij)
40 E_{2,3} Filisne naslage (srednji i gornji eocen)	20 T_{1,3} Dolomiti (gornji norik, ret)	
39 ?Pc, E_{1,3} Liburnijske naslage, foraminiferski vapnenci i prijelazne naslage (?gornji paleocen, donji i srednji eocen)	19 T_{2,3} Klastične naslage (?gornji ladinik-donji norik)	

	kontinuirani prijelaz (normalna)		ceste, uglavnom asfaltirane
	erozijska i/ili tektonsko-erozijska		autoceste
	POLOŽAJ SLOJA		autoceste u izgradnji i/ili planirane
	nagnuti		
	horizontalni		NP nacionalni park
	vertikalni		
	prevmuti		
	STRUKTURNE OZNAKE		
	folijacija		
	klivaž osne ravnine		
	rasjed bez oznake karaktera: utvrđen (a), pokriven (b)		
	relativno spuštenu blok: utvrđen (a), pokriven (b)		
	reversni rasjed: utvrđen (a), pokriven (b)		
	navlačni kontakt: utvrđen (a), pokriven (b)		
	relativno spuštani navlačni kontakt normalnim rasjedom: utvrđen (a), pokriven (b)		
	tektonsko okno		
	navlačak		
	tektonski prodor – dijabirski kontakt		
	strmac riječne terase		

Slika 27: Hidrogeološka karta Istre s tumačem oznaka [22]

5.1. Podzemne veze izvora Bulaž

Na području krša potrebno je provesti postupak trasiranja. Prva trasiranja u Republici Hrvatskoj provedena su u Istri za izvor Sv. Ivan. Tada su se talijanski stručnjaci koristili kvascem, uraninom i litijskim kloridom. Trasiranja su postala učestalija nakon Drugog svjetskog rata i provedena su u sklopu hidrogeoloških istraživanja. Takva istraživanja su provedena i za izvor Bulaž ili se nalaze u sklopu istraživanja drugih izvora ili slivova. Prvo zabilježeno trasiranje vezano za izvor Bulaž zabilježeno je 1957. godine. Potreba za istraživanjima je nastala zbog potreba za projektiranjem i izgradnjom hidroenergetskih objekata i akumulacija. Danas se hidrogeološka istraživanja najčešće provode u svrhu korištenja i zaštite podzemnih voda. Prema dostupnim podacima može se procijeniti da je u Hrvatskoj na području krša provedeno više od 200 trasiranja i utvrđeno preko 620 veza [23].

Trasiranja se najčešće provode upuštanjem traseru u ponore, speleološke objekte (Slika 28) i bušotine. Traser se u vodonosnicima detektira vizualno, kvarc lampama, laboratorijskim spektrometrima ili automatskim terenskim uređajima.



Slika 28: Ubacivanje traseru u podzemne vode [24]

Sva trasiranja provedena na području krša Republike Hrvatske su prikupljena i analizirana projektom „ANALIZA TRASIRANJA PROVEDENIH NA PODRUČJU KRŠA U REPUBLICI HRVATSKOJ“. Naručitelj projekta su Hrvatske vode, a izvođač je Hrvatski geološki institut [23]. Neki od rezultata analize prikazani su na slici 29. Analizom su prihvaćene samo 3 prividne brzine podzemne vode. Rezultat trasiranja Pašudije je prividna brzina podzemne vode od 0,8 cm/s. Trasiranje se provelo u ponoru na kontaktu fliša i karbonata. U skladu s Pravilnikom, područje odgovara razini IV. zone zaštite, no s obzirom na vrijeme izvođenja trasiranja (28.06.) ovo područje treba biti unutar III. zone. Ovim trasiranjem je također utvrđeno da nema podzemne veze ovog područja sa izvorima Gabrijeli i Bužin. Nažalost podaci su loše obrađeni. Nije navedena količina tricija, a vrijeme ubacivanja je vjerojatno krivo navedeno. Podaci iz teksta se ne podudaraju s krivuljama i tablicama. Rezultat ispitivanja u ponoru Movraška vala je prividna brzina od 1,53 cm/s i rezultat ispitivanja u ponoru Stanacija Roso je 1,20 cm/s. Analizom je utvrđeno da je udaljenost do izvora ili lokacija jame pogrešno upisana jer u jednom satu nije moguće iz auto-cisterne upumpati 60 m³ vode. Vrijeme potrebno iznosilo bi 3 do 4 sata. Nedostajući rezultati ukazuju na potrebu za ponavljanjem trasiranja kako bi se mogle analizirati trenutne zone sanitarne zaštite i odrediti nove ako je to potrebno. Za ponor kod Prapoća i Movrašku valu je utvrđeno da su geološki ove veze nemoguće. Za Movrašku valu postoji mogućnost da se traser pojavio neposredno iz potoka Bračana, nakon njegovog djelomičnog poniranja u vapnence uzvodno od izvora. Za trasiranja na ponorima kod Prapoća i kod akumulacije Letaj izvorna dokumentacija nije pronađena. Trasiranje nije ocjenjeno, a rezultati su upitni. Loši rezultati se odnose na trasiranja provedena od Industroprojekta – Zagreb što su potvrdila kasnija trasiranja Ruđera Boškovića. Skoro svakom trasiranju povezanom sa izvorom Bulaž nešto nedostaje.

	Prividna_b	Visinska_r	vrijeme_ub	Shape_Leng	Ocjena_tra	Naziv_pono	Opis_ponor
1	0	57,0000...	7.12.1979.	22910,24937...	7	Akumulacija Letaj-brana	Sitasti ponori danas unutar akumulacije
2	0	562,000...	6.5.1987.	15737,15959...	2	Dane	Povremena ponorna zona uzvodno od mosta
3	1,5290000...	152,000...	6.5.1987.	10293,24487...	2	Movraška vala	Ponor je u Sloveniji
4	0	466,000...	14.4.2015.	26841,64234...	5	Podgrajska ponikva	Trasirana je povremena ponorna zona uzvodno od glavnog ponora. Ponor je u Sloveniji
5	0	225,000...	19.5.1988.	12001,08161...	7	Ponor Bazuje	Sitasti ponor potoka Bazuje
6	0	470,000...	5.12.1979.	30566,67441...	7	Ponor kod Prapoča	Sitasti ponor
7	0	457,000...	5.12.1979.	15532,99694...	7	Ponor kod Prapoča	Sitasti ponor
8	0	470,000...	30.5.1984.	30566,67441...	7	Ponor kod Prapoča	Sitasti ponor
9	0	457,000...	30.5.1984.	15532,99694...	7	Ponor kod Prapoča	Sitasti ponor
10	0,801892	276,000...	28.6.1977.	9699,684582...	3	Ponor Pašudija	Ponor Jugovskog potoka - Jama dubine 231 m - Martineška jama
11	0	317,000...	21.1.1983.	4047,213362...	7	Ponor u dolini Zrenj	Sitasti ponor
12	0	329,000...	18.4.1957.	5478,049744...	7	Ponor u Oprtaljskoj dragi)	Sitasti ponor potoka Pregon
13	0	61,0000...	3.10.2001.	20643,68416...	2	Ponor Veneli	Manja špilja
14	0	457,000...	6.5.1987.	27622,50352...	2	Račiške ponikve	Ponor je u Sloveniji
15	1,2012900...	155,000...	26.10.2010.	18012,12916...	5	Stancija Roso	Dubina nepoznata

Slika 29: Trasiranja vezana za Izvor Bulaž [20]

Prema važećem Pravilniku (55/02), ponore, kao i ponorne zone, potrebno je ograditi i zaštititi razinom II. zaštitne zone, ali nema potrebe zaštite kompletnih jaruga povremenih potoka tako visokom razinom zaštite. Pošto se navedene jaruge nalaze unutar fliških naslaga, gdje je površinsko tečenje kod velikih voda dominantno, u tom bi slučaju bilo potrebno zaštititi cjelokupno priljevno područje, a ne samo neposredni prostor jaruge. Upravo stoga predlaže se ponavljanje izvedenih trasiranja na spomenutim ponorima radi utvrđivanja stvarne potrebne razine zaštite prema novom Pravilniku, te preventivno uključenje ponora u II. zonu, a jaruge, kao i njihovo priljevno područje unutar III. ili IV. zone zaštite (ovisno o dokazanim prividnim brzinama). Veze dosadašnjih trasiranja koje se odnose na Izvor Bulaž su prikazane na slici 30.

6. KATASTAR ONEČIŠĆIVAČA UNUTAR POSTOJEĆIH ZONA SANITARNE ZAŠTITE

Katastar onečišćivača s grafičkim prikazom lokacija je, prema Pravilniku o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta, sastavni dio Elaborata zona sanitarne zaštite. Svrha mu je identifikacija potencijalnih onečišćivača te prikupljanje, pohrana i analiza podataka o njima unutar ZSZ. Tako se omogućuje praćenje neželjenih aktivnosti unutar ZSZ i omogućuje pravovremena reakcija kako ne bi došlo do onečišćenja. Za izradu katastra onečišćivača unutar ZSZ izvora Bulaž korišteni su dostupni prostorni i atributni podaci iz različitih izvora:

Registar onečišćavanja okoliša (ROO)

Registar onečišćavanja okoliša je informacijski sustav vođen i održavan od strane Zavoda za zaštitu okoliša i prirode Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja. Sastoji se od baze podataka sa aplikacijom za unos, autentifikaciju, pregled, analizu i razmjenu podataka, te preglednika i portala koji omogućavaju izravan pristup podacima. Na godišnjoj bazi se prema podacima iz ROO-a izrađuju godišnja izvješća čiji podaci se prikazuju na razini županija i države. ROO je podijeljen na četiri glavne tematske cjeline: zrak, voda, tlo i otpad. Način vođenja i metodologija su propisani Pravilnikom o registru onečišćavanja okoliša (Narodne novine« broj 80/13, 153/13, 78/15, 12/18 i 118/18). Unutar registra se nalazi skup podataka o izvorima, vrstama, količinama, načinu i mjestima ispuštanja ili prijenosa onečišćujućih tvari u okoliš [25].

COPERNICUS Program Europske unije

Coopernicus je komponenta Svemirskog programa Europske Unije. Svrha mu je promatranje našeg planeta i njegovog okoliša u korist svih europskih građana. Pruža informacijske usluge prikupljene sa satelita i s terena. Europska Komisija upravlja programom. Globalni podaci sa satelita i sustava mjerenja na zemlji, u zraku i na moru pružaju brojne informacije koje pomažu pružateljima usluga, javnim tijelima i drugim međunarodnim organizacijama u svrhu poboljšanja kvalitete života europskih

građana i šire. Pružene informacije su besplatne i otvoreno dostupne korisnicima. Naziv projekta potječe od slavnog Europskog znanstvenika Nicolausa Copernicusa. Copernicus servisi se sastoje od šest glavnih komponenti: atmosfera, more, zemlja, klimatske promjene, sigurnost i hitni slučajevi [26]. Za ovaj je rad korištena komponenta zemlja tj. COPERNICUS Land Monitoring Service. Podaci unutar ove komponente su dostupni za globalnu razinu (podaci srednje i niske rezolucije), pan-Europsku (podaci visoke rezolucije) i lokalnu razinu (odnosi se na područja u kojima se javljaju specifične okolišne prilike i problemi).

OSM (engl. OpenStreetMap)

OSM je karta svijeta, stvorena od strane volontera i može se besplatno koristiti pod ODbL (Open Data Commons Open Database License) licencom. Volonteri donose i održavaju podatke o cestama, stazama, kafićima, željezničkim postajama i mnoge druge diljem svijeta. Volonteri koriste zračne snimke, GPS uređaje i vlastite terenske podatke za provjeru točnosti i ažurnosti OSM podataka. Grupa volontera se sastoji od kartografa, GIS stručnjaka, inženjera i sl. Podaci su besplatni za korištenje, ali prilikom objavljivanja podataka nužno je navesti da su podaci preuzeti sa OSM-a [27]. OSM projekt je posvećen poticanju rasta, razvoja i distribucije besplatnih geoprostornih podataka.

WMS (Web Map Service)

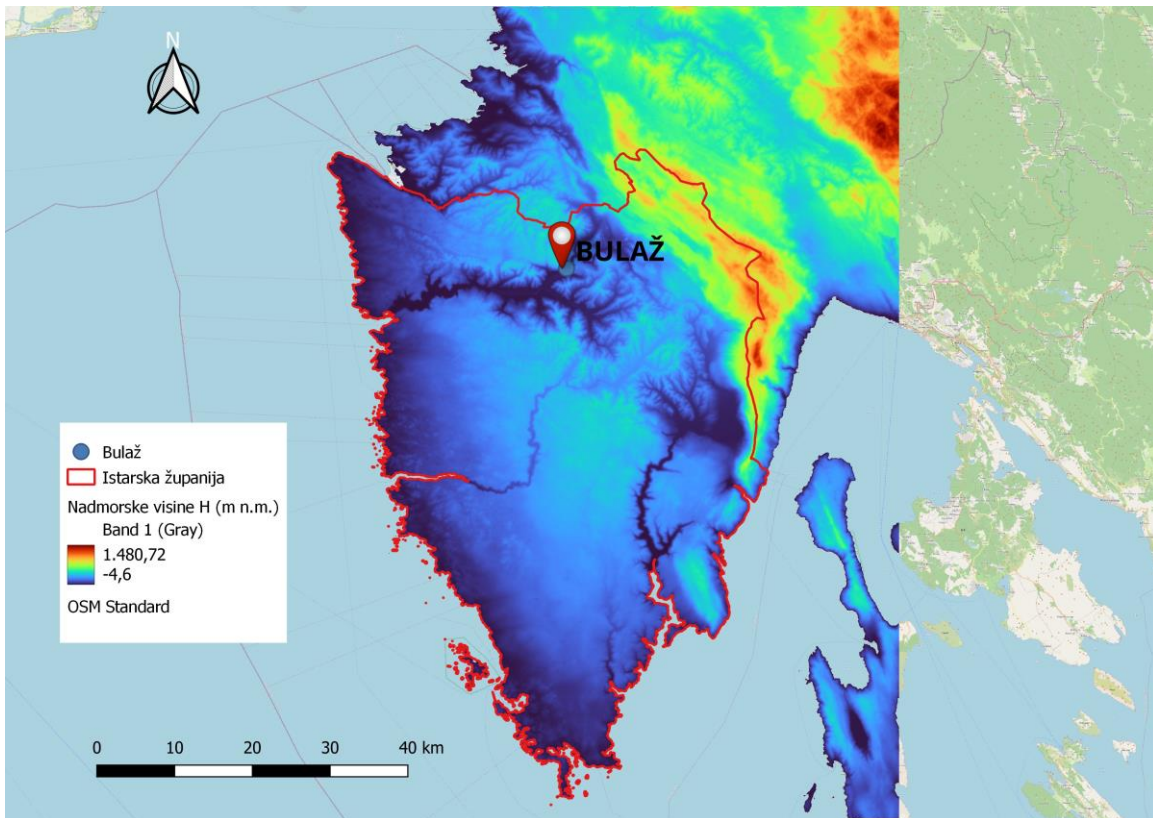
WMS je sučelje koje omogućava korisniku dobivanje karata sa geoprostornim podacima sa detaljnim informacijama o određenim značajkama prikazanim na karti. Kreiran je 1999. godine od strane Open Geospatial Consortium-a. OGC je međunarodna dobrovoljna organizacija s ciljem olakšavanja pristupa geoprostornim podacima. WMS pruža jednostavno HTTP sučelje za pristup geo-registriranim kartama iz jedne ili više baza podataka. Pristup HTTP sučelju rezultira prikazom jedne ili više karata u JPEG, PNG i sl. formatu [28]. Za potrebe izrade diplomskog rada korišteni su podaci sa mrežnih usluga Državne geodetske uprave. Na temelju DOF -a

(Digitalni ortofoto) i topografskih karata izvedeni su prostorni podaci o naseljima, prometnicama i vodotocima [29].

Prostorni podaci i priprema podataka

Ulazni podaci korišteni za izradu diplomskog rada :

1. Digitalni model terena (DEM, engl. Digital elevation model) (Slika 31)
 - EU-DEM v 1.1 prostorne rezolucije 25 preuzet sa Copernicusove web stranice. EU-DEM pruža potpunu i dosljednu paneuropsku pokrivenost. Nastao je kombiniranjem različitih DEM izvora u jedan. Veličina piksela iznosi 25 metara, tj. razmak između susjednih piksela iznosi 25 metara [30];



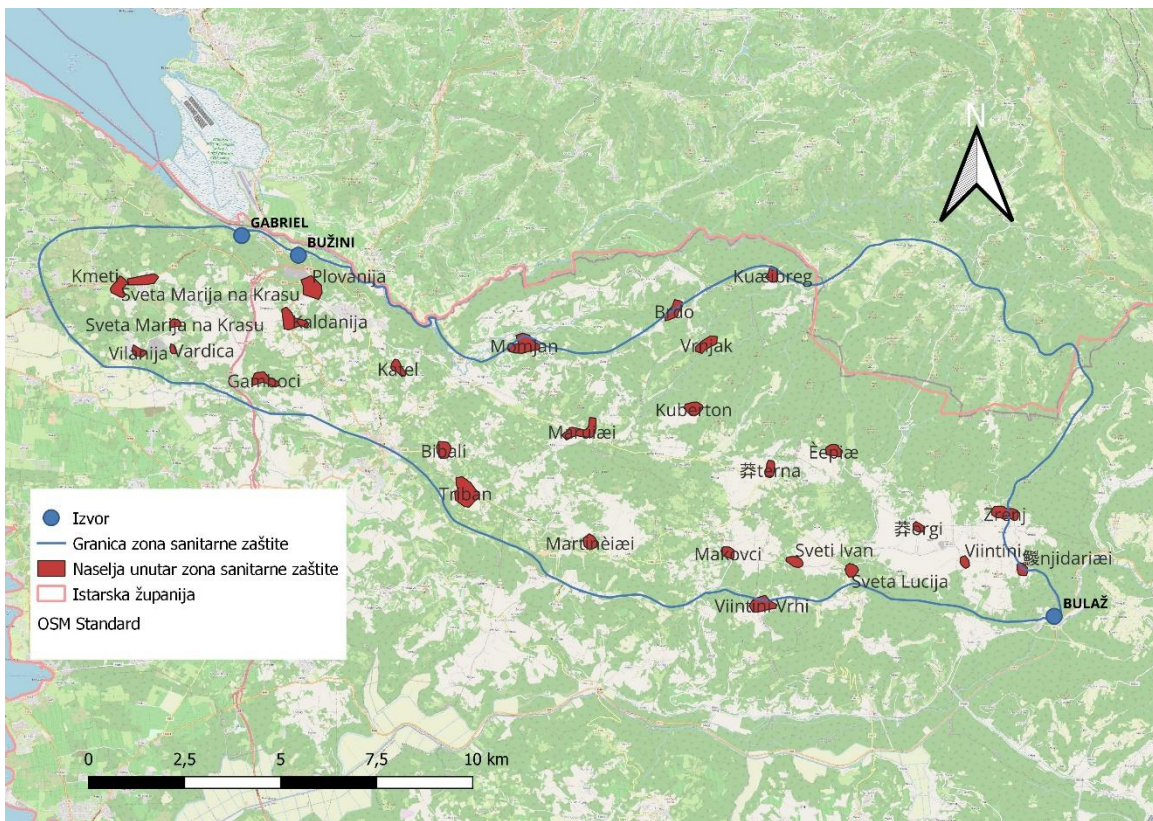
Slika 31: Digitalni model terena

2. Postojeće zone sanitarne zaštite

- Prethodno opisane zone sanitarne zaštite (poglavlje 5) - preuzete s GeoPortala Hrvatskih voda [20].

3. Naselja na analiziranom području (poligonski i točkasti sloj) (Slika 32)

- Prostorni podaci kreirani temeljem DOF-a i topografskih karata različitih mjerila dostupnih putem WMS-a te korištenjem OSM-a.

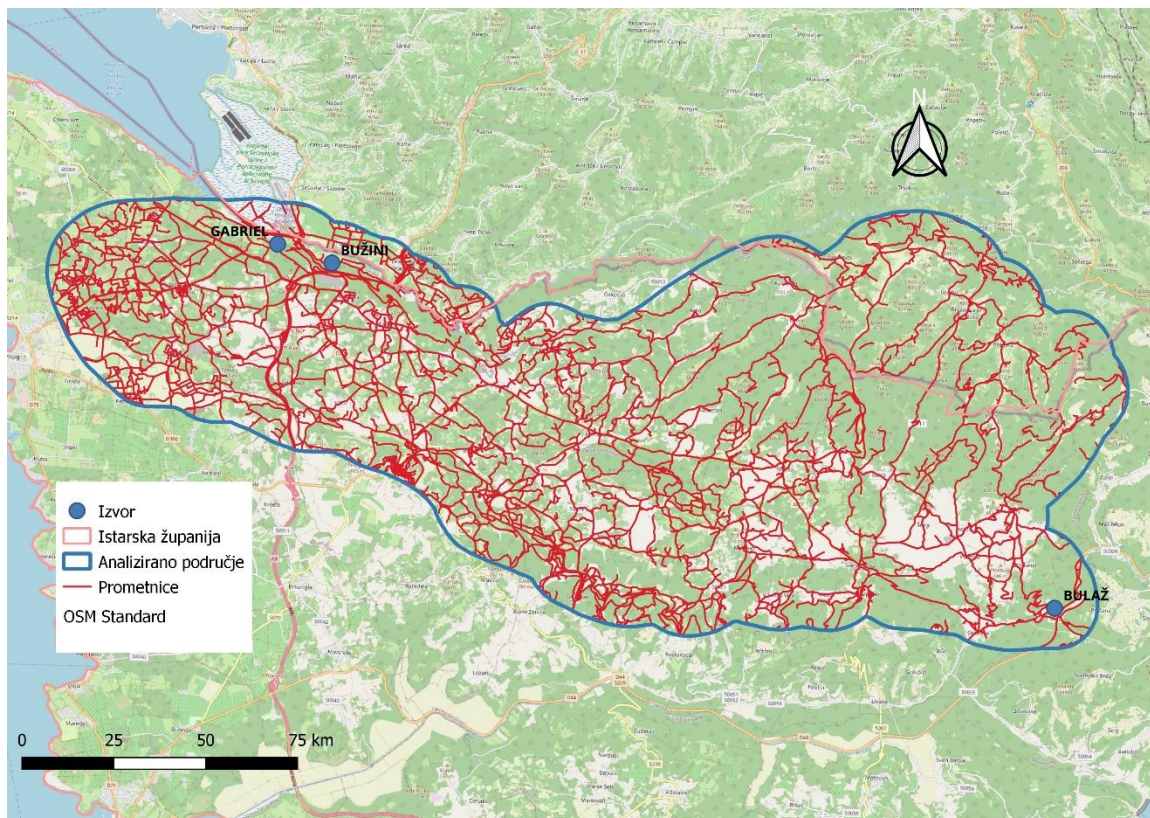


Slika 32: Položaj naselja na analiziranom području

4. Prometnice na analiziranom području (linijski sloj) (Slika 33)

- Prostorni podaci o prometnicama preuzeti su s OSM servisa. Prometnice nisu klasificirane prema klasifikaciji Republike Hrvatske. OSM sadrži veliku bazu podataka o prometnicama koja uključuje podatke koji u svrhu analize nisu potrebni npr. pješačke puteve i staze, biciklističke puteve,

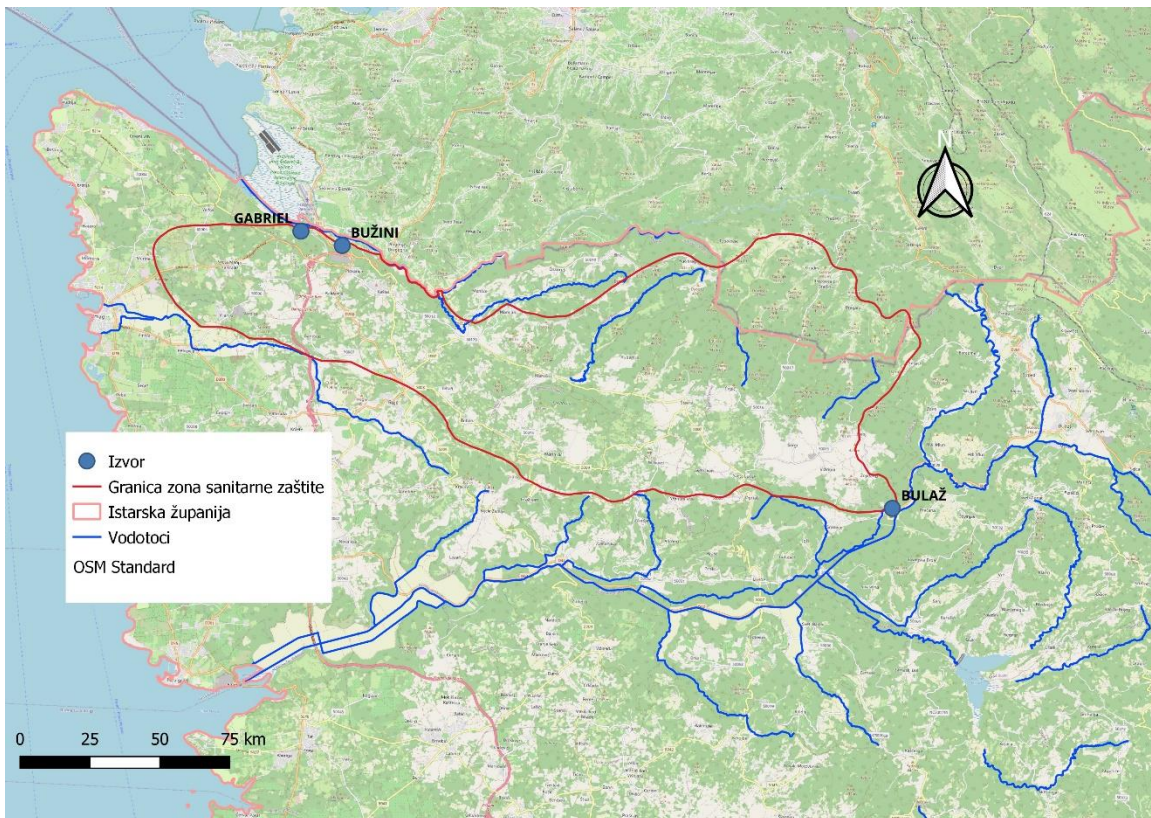
planinarske puteve i dr. Preuzete prometnice su prostorno i tematski korigirane temeljem DOF-a i topografskih karata različitih mjerila dostupnih putem WMS-a.



Slika 33: Prometnice iz OSM-a na analiziranom području

5. Vodotoci na analiziranom području (Slika 34)

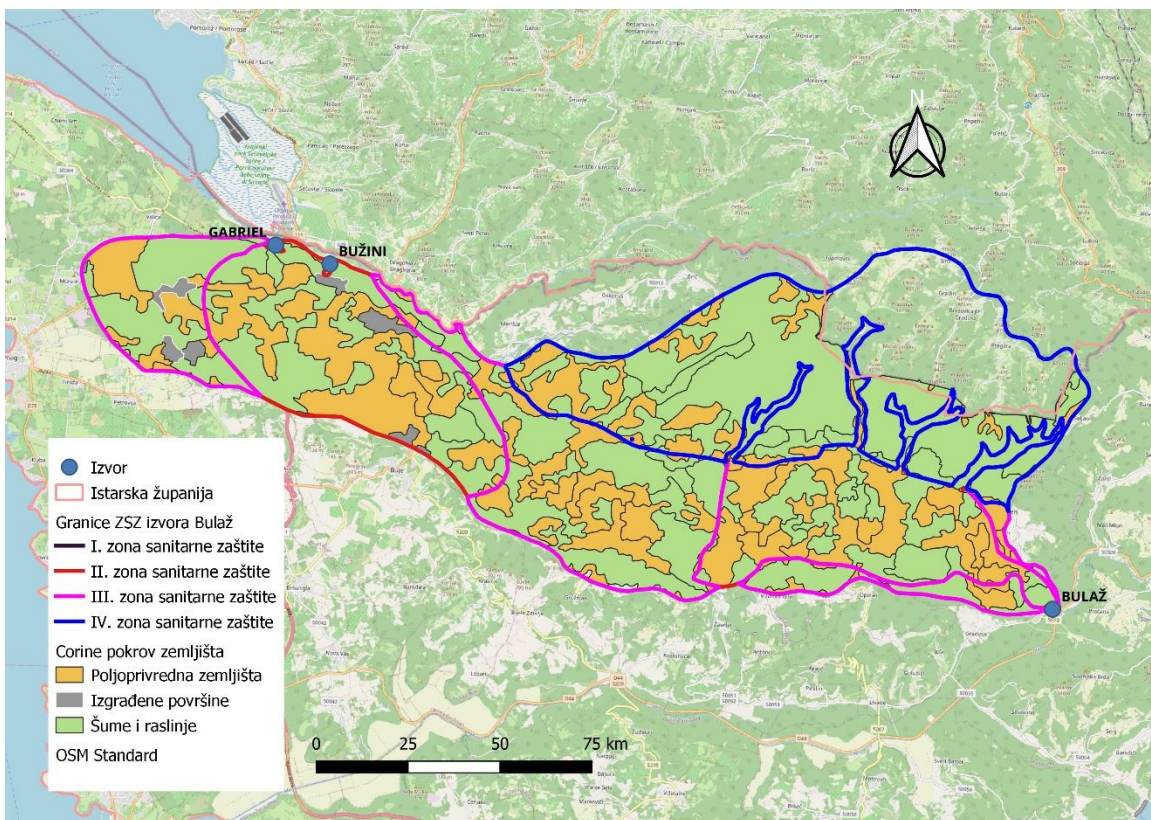
- Prostorni podaci o vodotocima su kreirani na temelju dostupnog DEM-a korištenjem SAGA-e, GIS sofera dostupnog putem QGIS sučelja. Tako dobiveni vodotoci korigirani su preklapanjem s DOF-om i topografskim kartama različitih mjerila dostupnih putem WMS-a.



Slika 34: Vodotoci na analiziranom području

6. Pokrov i namjena zemljišta (Slika 35)

- CORINE pokrov i namjena zemljišta izrađeni u sklopu Copernicus Programa. Dio IV. zone sanitarne zaštite nalazi se na području Slovenije i za nju nema podataka o pokrovu zemljišta. CORINE pokrov zemljišta se sastoji od 44 klase. Za potrebe analize koristit će se tri osnovne: poljoprivredna zemljišta, izgrađene površine i šume i raslinje [31].



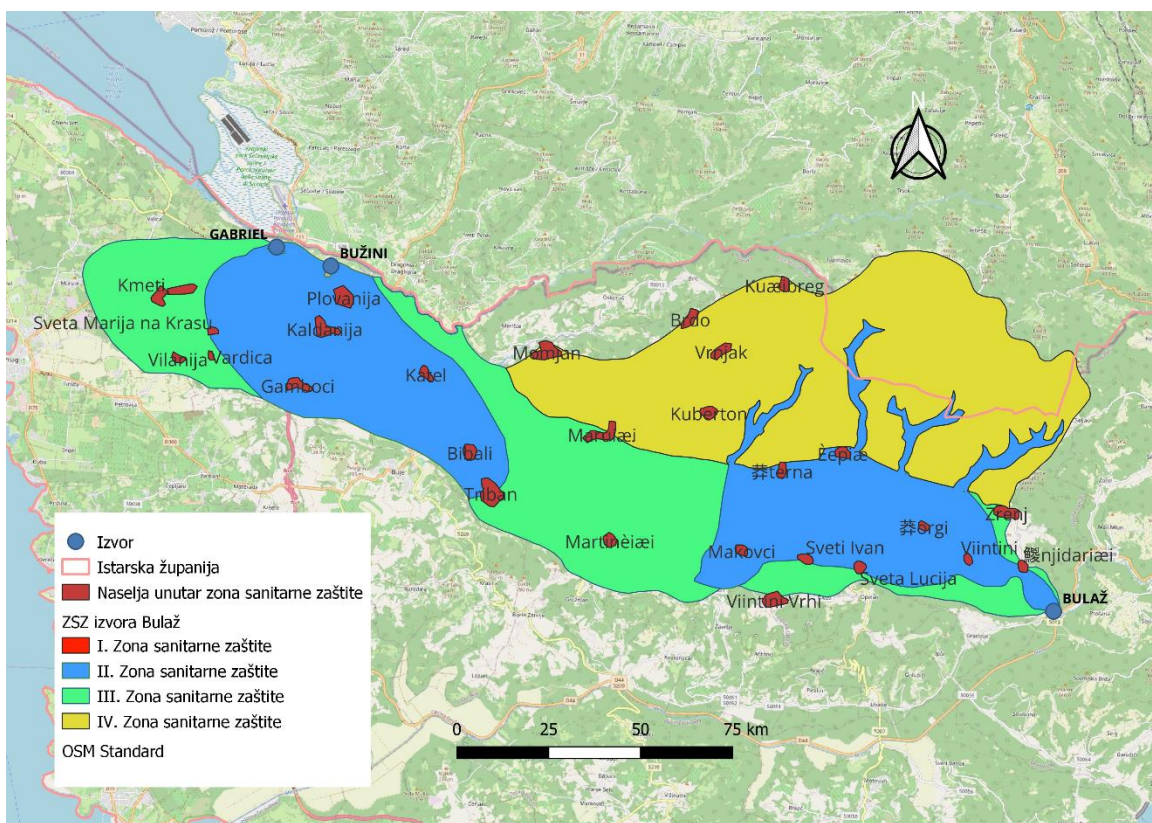
Slika 35: Pokrov i namjena zemljišta na analiziranom području

Osim prostornih podataka korišteni su i statistički podaci pohranjeni u bazi podataka Državnog zavoda za statistiku (DZS), a izvedeni su iz popisa stanovništva 2021. godine (<https://podaci.dzs.hr/hr/podaci/stanovnistvo/popis-stanovnistva/>). Preuzeti podaci o stanovništvu na analiziranom području pridruženi su prostornim podacima o naseljima.

6.1. Katastar onečišćivača

6.1.1. Naselja

Unutar I. zone sanitarne zaštite nema naselja. Unutar II. zone sanitarne zaštite živi 1 794 stanovnika, unutar III. zone 1 294 stanovnika i unutar IV. zone živi 290 stanovnika. Broj stanovnika je preuzet od Državnog zavoda za statistiku iz popisa stanovništva iz 2021. godine. Podaci su ručno uneseni u atributnu tablicu sloja. Treba uzeti u obzir da se unutar IV. zone nalaze i neka manja naselja iz Slovenije koja nisu navedena u popisu stanovništva pa samim tim ni u tablici (Tablica 1). Na slici 36 prikazana je veličina i smještaj naselja unutar zona sanitarne zaštite.



Slika 36: Položaj naselja unutar zona sanitarne zaštite

Tablica 1: Naselja i broj stanovnika unutar zona

Naselje	Broj stanovnika	Zona sanitarne zaštite
Sveta Marija na Krasu - Madonna del Carso	-	II. Zona
Plovanija - Plovania	244	II. Zona
Kaldanija - Caldanìa	263	II. Zona
Kaštel - Castelvenere	597	II. Zona
Gamboci - Gambozzi	100	II. Zona
Bibali - Bibali	108	II. Zona
Čepić - Ceppich	53	II. Zona
Šterna - Sterna	70	II. Zona
Triban - Tribano	97	II. Zona
Šorgi - Sorghi	33	II. Zona
Makovci - Macovzi	92	II. Zona
Vižintini - Visintini	22	II. Zona
Sveti Ivan - San Giovanni	38	II. Zona
Žnjidarići - Snidarici	40	II. Zona
Sveta Lucija - Santa Lucia	37	II. Zona
Kmeti - Metti	297	III. Zona
Sveta Marija na Krasu - Madonna del Carso - Umag	316	III. Zona
Vardica - Vardiza	69	III. Zona
Vilanija - Villania	286	III. Zona
Marušići - Marussici	146	III. Zona
Zrenj - Stridone	55	III. Zona
Martinčići - Martincici	112	III. Zona
Vižintini Vrhi - Visintini Monti	13	III. Zona
Kučibreg - Cucibrec	13	IV. Zona
Brdo - Berda	13	IV. Zona
Momjan - Momiano	242	IV. Zona
Vrnjak - Vergnacco	-	IV. Zona
Kuberton - Cuberton	22	IV. Zona

Funkcijom združivanja (*eng.* aggregate) u atributnoj tablici sloja je izračunat ukupan broj stanovništva po zonama odnosno ukupan broj stanovnika na području ZSZ (Tablica 2).

Tablica 2: Ukupan broj stanovnika po zonama

Zona	Broj stanovnika
I zona	0
II zona	1.794
III zona	1.294
IV zona	290
UKUPNO	3378

6.1.2. Prometnice

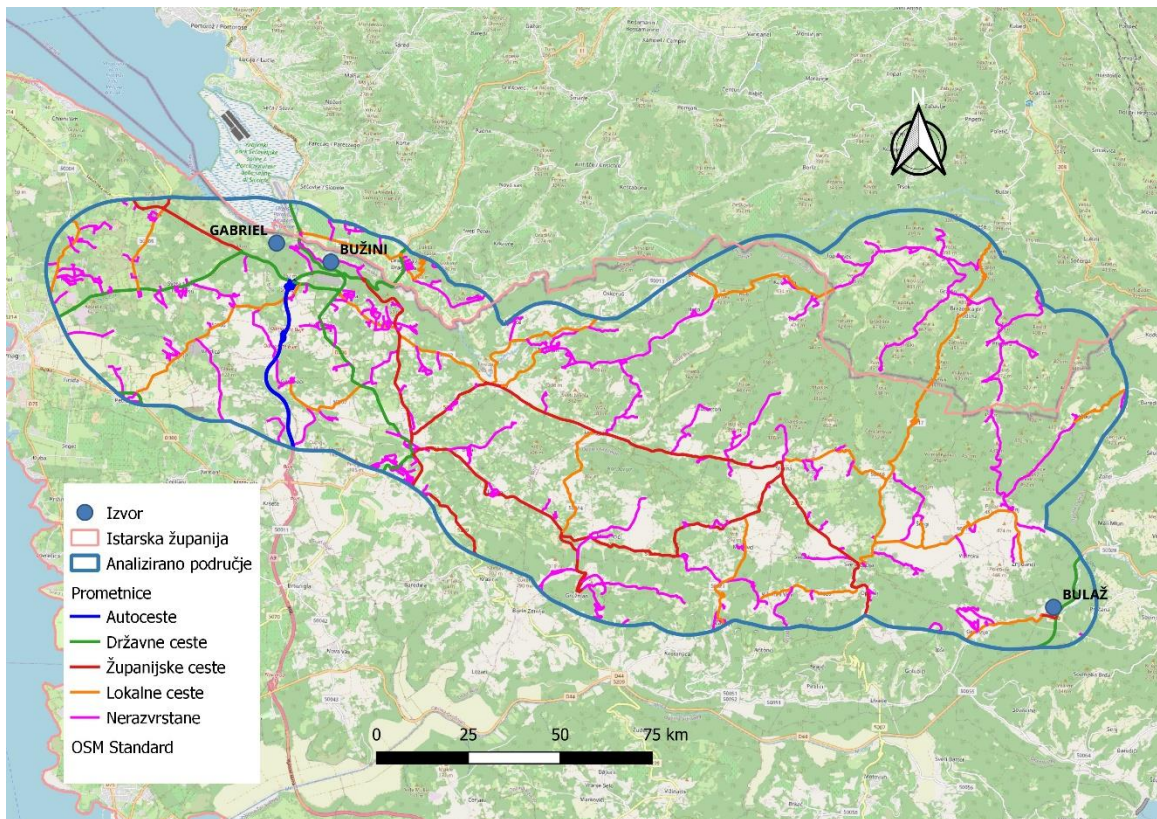
Ukupna duljina prometnica na zadanom području iznosi 325,60 km (Tablica 3). Zadano područje uključuje površine zona sanitarne zaštite uz offset od 1 km. Prometnice su preuzete iz OSM-a te su korigirane prema DOF-u i klasificirane prema klasifikaciji Republike Hrvatske (Slika 37). U analizi su u obzir uzete i prometnice s područja Republike Slovenije, također preuzete iz OSM baze.

Budući da OSM sadrži sve vrste prometnica i staza, iz preuzetih prometnica su izdvojene samo one koje se odnose na javne definirane Zakonom o cestama (Narodne novine«, broj 84/2011, 22/2013, 54/2013, 148/2013 i 92/2014). Linijski elementi dobivenog sloja su potom reklasificirani na pet kategorija: autoceste, državne ceste, županijske ceste, lokalne ceste i nerazvrstane ceste. Dobiveni linijski sloj je preklopljen s poligonskim slojem zona sanitarne zaštite kako bi se identificirale pojedine kategorije prometnica u svakoj ZSZ. Za svaku zonu je u atributnoj tablici pomoću Field Calculator alata izračunata duljina pojedinih linijskih elemenata i, konačno, ukupna duljina prometnica svake kategorije u pojedinim zonama primjenom funkcije združivanja (Tablica 3).

Unutar I. zone sanitarne zaštite nema prometnica osim pristupnih cesta. U II. zoni sanitarne zaštite rasprostire se 111,63 km, u III. zoni 54,49 km, u IV. zoni 52,66 km, a na području od 1 km od granica zona sanitarne zaštite 106,82 km prometnica. Klasifikacija ne uzima u obzir privatne pristupne ceste, pješačke puteve i makadame.

Tablica 3: Prometnice unutar zona

<i>Prometnica</i>	I zona (km)	II zona (km)	III zona (km)	IV zona (km)	1 km izvan zona(km)
<i>Autocesta</i>	0,00	9,85	0,00	0,00	2,30
<i>Državna cesta</i>	0,00	15,19	3,81	0,00	9,26
<i>Županijska cesta</i>	0,00	17,54	19,05	0,09	9,78
<i>Lokalna cesta</i>	0,00	24,06	10,75	10,31	26,29
<i>Nerazvrstane cesta</i>	0,00	44,98	20,88	42,26	59,19
<i>UKUPNO</i>	0,00	111,63	54,49	52,66	106,82
<i>UKUPNO</i>	325,60				



Slika 37: Prometnice na analiziranom području

6.1.3. Poljoprivreda

Poljoprivredna zemljišta mogu biti brojni zagađivači unutar zona sanitarne zaštite. Stoga je za područje zona sanitarnih zaštita provedena analiza pokrova zemljišta. Poljoprivredne površine su izvedene iz CORINE pokrova i namjene zemljišta (prema atributnoj tablici sloja). U atributnoj tablici sloja izračunate su pojedinačne površine poligona poljoprivrednih površina te su za svaku zonu na kojoj se nalaze zbrojene primjenom funkcije združivanja. Tako su dobivene ukupne poljoprivredne površine unutar svake ZSZ (Slika 38).

OBJECTID	Code_18	Remark	Area_Ha	ID	CLASS_1_18	P_ha	P_UK	P_ha_class	
1	828345,0000000...	311	NULL	5337,057514684...	EU_828345	Forest and semi-natural areas	2525,421	13870,444	8498,930
2	842115,0000000...	324	NULL	683,3884274850...	EU_842115	Forest and semi-natural areas	651,850	13870,444	8498,930
3	834724,0000000...	313	NULL	848,3590024099...	EU_834724	Forest and semi-natural areas	431,785	13870,444	8498,930
4	842156,0000000...	324	NULL	421,5550481850...	EU_842156	Forest and semi-natural areas	408,583	13870,444	8498,930
5	828217,9999999...	311	NULL	348,2862658649...	EU_828218	Forest and semi-natural areas	348,286	13870,444	8498,930
6	841960,0000000...	324	NULL	383,7999468049...	EU_841960	Forest and semi-natural areas	307,954	13870,444	8498,930
7	841924,0000000...	324	NULL	497,5800230350...	EU_841924	Forest and semi-natural areas	290,990	13870,444	8498,930
8	834812,0000000...	313	NULL	640,3118616901...	EU_834812	Forest and semi-natural areas	279,824	13870,444	8498,930
9	842086,0000000...	324	NULL	297,0351950899...	EU_842086	Forest and semi-natural areas	273,941	13870,444	8498,930
10	834749,0000000...	313	NULL	260,0620087049...	EU_834749	Forest and semi-natural areas	260,062	13870,444	8498,930
11	841915,0000000...	324	NULL	216,0390043449...	EU_841915	Forest and semi-natural areas	216,039	13870,444	8498,930
12	841974,0000000...	324	NULL	149,5280373950...	EU_841974	Forest and semi-natural areas	149,528	13870,444	8498,930
13	841977,0000000...	324	NULL	149,2950861500...	EU_841977	Forest and semi-natural areas	149,295	13870,444	8498,930
14	841979,0000000...	324	NULL	144,9739534700...	EU_841979	Forest and semi-natural areas	144,974	13870,444	8498,930
15	837833,0000000...	321	NULL	129,1068824049...	EU_837833	Forest and semi-natural areas	129,107	13870,444	8498,930
16	842081,0000000...	324	NULL	125,4263192850...	EU_842081	Forest and semi-natural areas	125,426	13870,444	8498,930
17	842006,0000000...	324	NULL	102,1569655800...	EU_842006	Forest and semi-natural areas	102,157	13870,444	8498,930
18	842097,0000000...	324	NULL	95,22113750498...	EU_842097	Forest and semi-natural areas	95,221	13870,444	8498,930
19	834788,0000000...	313	NULL	748,5031797899...	EU_834788	Forest and semi-natural areas	94,373	13870,444	8498,930
20	828223,0000000...	311	NULL	86,53987215995...	EU_828223	Forest and semi-natural areas	86,540	13870,444	8498,930
21	842016,0000000...	324	NULL	82,40083132003...	EU_842016	Forest and semi-natural areas	82,401	13870,444	8498,930
22	842028,0000000...	324	NULL	78,14078431996...	EU_842028	Forest and semi-natural areas	78,141	13870,444	8498,930
23	828171,0000000...	311	NULL	69,77749508001...	EU_828171	Forest and semi-natural areas	69,777	13870,444	8498,930
24	834750,0000000...	313	NULL	69,67538108503...	EU_834750	Forest and semi-natural areas	69,675	13870,444	8498,930
25	834757,0000000...	313	NULL	69,36358992003...	EU_834757	Forest and semi-natural areas	69,364	13870,444	8498,930
26	828241,0000000...	311	NULL	66,06376695501...	EU_828241	Forest and semi-natural areas	66,064	13870,444	8498,930

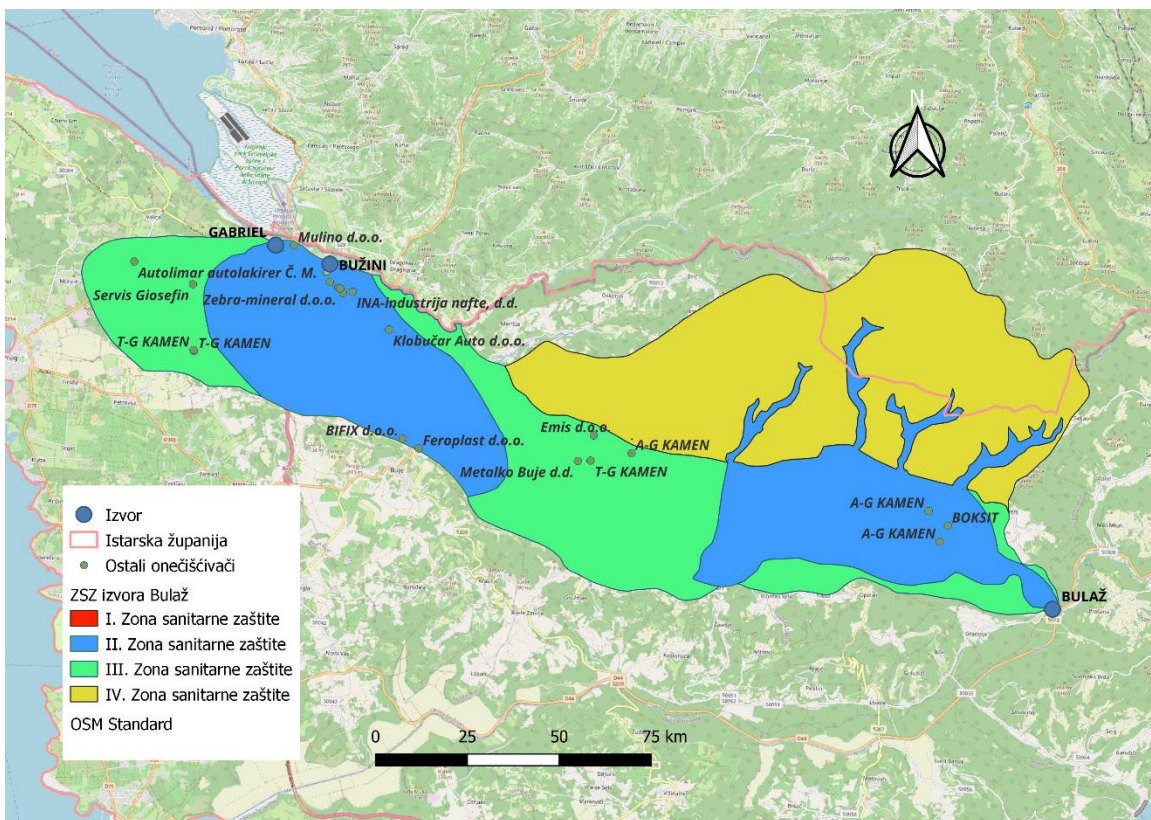
Slika 38: Atributna tablica pokrova i namjene zemljišta

Prva zona je veličine 5 hektara. 2,9 ha zemljišta je prekriveno šumama i raslinjem, dok je 2,1 ha prekriveno umjetnim strukturama. II. zona je veličine 5 525,76 hektara. Od kojih su 2 735, 96 ha poljoprivredna zemljišta, 2686,85 ha šume i raslinje, te 112,95 ha umjetne strukture. III. zona je veličine 4 406,48 ha. 1600, 76 ha otpada na poljoprivredna zemljišta, 2 705,89 ha na šume i raslinje, te 99,84 ha na umjetne strukture. IV. zona je najveća i veličine 5 750 ha, ali 1 800 ha se nalazi unutar Slovenije za koju nemamo podatke o pokrovu zemljišta. Podaci koje imamo pokazuju da je 818,79 ha prekriveno poljoprivrednim zemljištem i 3092,80 ha šumama i raslinjem. Na području IV. zone sanitarne zaštite nema umjetnih struktura, barem ne na području Republike Hrvatske.

Ukupna površina zaštitnih zona na području Republike Hrvatske iznosi 13 870,44 ha (Slika 38). 8 498,93 ha otpada na šume i raslinje koje nisu opasne za izvorište. 215,77 ha otpada na umjetne strukture koje mogu biti ugroziti kvalitetu pitke vode, ali se o njima vodi briga raznim mjerama zaštite i kontrolama. 5 155,74 ha otpada na poljoprivredna zemljišta koja mogu u sezonama tretiranja korova biti opasne za kvalitetu pitke vode i potrebno ih je redovno motriti i kontrolirati kakvoću vode.

6.1.4. Ostali onečišćivači

Pomoću Registra onečišćivanja okoliša na području zona sanitarne zaštite locirani su i prikazani ostali onečišćivači koji nisu obuhvaćeni prethodnim stavkama katastra. Riječ je uglavnom o industrijskim i komercijalnim objektima (Tablica 4, Slika 39). Lokacija onečišćivača usklađena je s podacima preuzetim iz OSM baze.



Slika 39: Ostali onečišćivači na analiziranom području

Utvrđeno je da se unutar zona sanitarne zaštite nalaze tri polja za eksploataciju arhitektonsko – građevnog kamena, četiri polja za eksploataciju tehničko – građevnog kamena i jedno polje za eksploataciju boksita. Osim polja za eksploataciju ruda na području zona nalaze se i dva postrojenja u kojima se skladište i u proizvodnji koriste za okoliš opasne tvari. Također, na području zona nalazi se desetak manjih komercijalnih objekata koji se vode i kontroliraju u registru onečišćivanja okoliša (Tablica 4).

Tablica 4: Ostali onečišćivači unutar zona

Onečišćivač	Vrsta	Zona
Rudnik boksita	Industrija	
Eksploatacijsko polje arhitektonsko-građevnog kamena	Industrija	II. i III. zona sanitarne zaštite
Eksploatacijsko polje tehničko-građevnog kamena	Industrija	II. i III. zona sanitarne zaštite
Rudnik boksita	Industrija	II. zona sanitarne zaštite
Holcim d.o.o.	Industrija	II. zona sanitarne zaštite
INA-industrija nafte d.d.	Komercijalni objekt	II. zona sanitarne zaštite
Emis d.o.o.	Komercijalni objekt	III. zona sanitarne zaštite
Metalko Buje d.d.	Komercijalni objekt	III. zona sanitarne zaštite
Servis Giosefin	Komercijalni objekt	III. zona sanitarne zaštite
Autolimar autolakirer Č. M.	Komercijalni objekt	III. zona sanitarne zaštite
Mulino d.o.o.	Komercijalni objekt	II. zona sanitarne zaštite
Klobučar auto d.o.o.	Komercijalni objekt	II. zona sanitarne zaštite
Konzum d.d.	Komercijalni objekt	II. zona sanitarne zaštite
Zebra-mineral d.o.o.	Komercijalni objekt	II. zona sanitarne zaštite
BIFIX d.o.o.	Komercijalni objekt	II. zona sanitarne zaštite
Feroplast d.o.o.	Komercijalni objekt	II. zona sanitarne zaštite

7. ZAKLJUČAK

GIS olakšava i ubrzava izradu modela i projekata koji bi klasičnim postupcima uzeli previše vremena, a ujedno je i precizniji. Određivanje fizičkih karakteristika sliva pomoću GIS alata je brz i jednostavan postupak iako je za postupak potrebno predznanje o softveru i razumijevanje funkcija i QGIS alata.

Geografski informacijski sustav (GIS) postao je jedan od najvažnijih alata za razumijevanje i donošenja odluka o problemima vezanim za upravljanje vodama i drugim prirodnim resursima. Zbog toga je GIS postao važan alat u evidentiranju i analizi procesa koji su se odvijali u prošlosti, sadašnjosti i koji će se odvijati u budućnosti. Važan je alat za analiziranje postojećeg stanja i predviđanje budućih scenarija.

Određivanje zona sanitarne zaštite je složen proces koji zahtijeva veliku količinu podataka i suradnju različitih sektora. Primjenom GIS-a taj je proces znatno olakšan, počevši od prikupljanja i razmjene podataka preko prostorne analize i konačne vizualizacije dobivenih rezultata. Posebnu je pažnju potrebno posvetiti prikupljanju i pripremi podataka odnosno kvaliteti podataka na kojima će se temeljiti analiza. Podaci potrebni za analizu obuhvaćaju atributnu i prostornu komponentu. Budući da su preuzeti iz različitih izvora, potrebno je voditi računa da vjerodostojno opisuju stanje te da su međusobno usklađeni. OSM baza je besplatan izvor vektorskih podataka koju izrađuju korisnici diljem svijeta. Prije korištenja podataka nužno je provjeriti njihovu prostornu točnost (kako je ovdje i učinjeno preklapanjem OSM podataka s DOF-om i topografskim kartama) i atributnu točnost (reklasifikacijom linijskih elemenata na temelju klasifikacije definirane Zakonom o cestama). Nadalje, CORINE pokrov zemljišta preuzet iz COPERNICUS progama je srednje rezolucije što nije potpuno adekvatno za male površine kao što su ZSZ izvora Bulaž pa je te podatke potrebno upotpuniti terenskim istraživanjem ili ih zamijeniti podacima visoke rezolucije.

Analizom i preklapanjem dostupnih podataka u GIS-u, dobiva se bolji uvid u prirodne karakteristike područja i postojeću infrastrukturu te je moguće brže, jednostavnije i

sveobuhvatnije identificirati i locirati potencijalne probleme. To se u ovom radu konkretno odnosi na kartiranje potencijalnih izvora onečišćenja u sklopu izrađenog katastra onečišćivača.

Izvor Bulaž smješten je u blizini granice sa susjednom Slovenijom. Općenito, određivanje zona sanitarne zaštite na prekograničnim vodonosnicima, a tako i izvora Bulaž, podrazumijevaju suradnju svih zemalja na čijem se teritoriju nalaze, a to se odnosi i na harmonizaciju podataka. INSPIRE direktiva donesena na razini EU uređuje pripremu, pohranu i razmjenu podataka te omogućuje dosljedno kombiniranje prostornih podataka iz različitih izvora u zemljama diljem EU kao i njihovo zajedničko korištenje.

8. LITERATURA

- [1] Hrvatske vode: *Naslovnica*, <https://voda.hr/hr>, pristup 15.04.2023.
- [2] Ministarstvo regionalnog razvoja, šumarstva i vodnog gospodarstva, *Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta*, *Narodne novine*, br. 66/2011, Zagreb, 2011.
- [3] Istarski vodovod, *Izješće o poslovanju za 2020. godinu*, Istarski vodovod d.o.o., Buzet, 2021.
- [4] I. Duždagić, *Analiza vodnog režima i korištenje voda izvora Bulaž*, diplomski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2014.
- [5] I. Martinić, *Pregled klasifikacija i suvremenih istraživanja izvora u svijetu i Hrvatskoj*, HRVATSKI GEOGRAFSKI GLASNIK, br. 84/1, p. 31–68, 2022.
- [6] V. Novak, *Mogućnosti GIS-a kao alata za prikaz zona sanitarne zaštite*, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, 2019.
- [7] O. H. a. R. A. D. By, *Principles of Geographic Information Systems, An introductory textbook*, Nizozemska: The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), 2009.
- [8] ESRI, *ArcGIS Online*, Available: <https://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/reference/geo-info.htm>, pristup 15.06.2023.
- [9] DESA - Dubrovnik, *GIS radionica: Osnove GIS - a*, Dubrovnik, 2015.
- [10] Europski parlament i vijeće Europske Unije, *Direktiva 2007/2/EZ Europskog parlamenta i vijeća o uspostavljanju infrastrukture za prostorne informacije u Europskoj zajednici (INSPIRE)*, Službeni list Europske unije, svez. 108/1, 2007.
- [11] *Narodne novine, Zakon o vodama*, br. 66/19, 2019.
- [12] BONACCI - hidro- geo d.o.o., *Hidrološka analiza izvora Bulaž*, Split, 1997.
- [13] ISTRA - HIDRO, *Prva edukativno-informativna radionica projekta ISTRA-HIDRO*, Istarske toplice, 2014.

- [14] A. Magdalenić, *Zone sanitarne zaštite izvora Bulaž u Istri*, Zagreb: Rudarsko - geološko - naftni fakultet, 1988.
- [15] Upravni odjel za održivi razvoj Istarske županije, *Zaštita krškog vodonosnika u Istarskoj županiji i očekivani rezultati projekta DRINKADRIA*, Istarske toplice, 2014.
- [16] Institut IGH d.d., *SUSTAV JAVNE ODVODNJE I ZAŠTITE VODA ISTARSKE ISTARSKE ŽUPANIJE - 1B FAZA*, Rijeka, 2017.
- [17] INSTITUT ZA GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA, *GRANIČNI VODONOSNICI HRVATSKE I SLOVENIJE IZMEĐU KVARNERSKOG I TRŠĆANSKOG ZALJEVA*, Zagreb, 2004.
- [18] T. Vlahović, *SMJERNICE ZA DALJNJE AKTIVNOSTI NA ISTRAŽIVANJU STRATEŠKIH ZALIHA PODZEMNE VODE I PRATEĆIH MJERA ZAŠTITE*, Zagreb, 2014.
- [19] G. V. B. K. Rino Nemarnik, *Estimation Of Pollutant Load In Drinking Water Protection Areas Of Springs Sv. Ivan, Bulaž, And Gradole*, Rijeka, 2016.
- [20] Hrvatske vode , *GeoPortal*,
https://preglednik.voda.hr/?lang=hr&topic=Registar%20za%C5%A1ti%C4%87enih%20podru%C4%8Dja&layers=hr.rzp.c_morske-plaze,hr.rzp.b_podrucja-voda-pogodnih-za-zivot-slatkovodnih-riba-poligoni,hr.rzp.e_zasticene-prirodne-vrijednosti-poligoni,hr.rzp.a_zone-sanit, pristup 15.6.2023.
- [21] E. Hrvojić, *SLIV RIJEKE MIRNE*, Rijeka, 1988.
- [22] HRVATSKI GEOLOŠKI INSTITUT, *GEOLOŠKE KARTE*, <https://www.hgi-cgs.hr/geoloske-karte/>, pristup 15.7.2023.
- [23] HRVATSKI GEOLOŠKI INSTITUT, *Analiza trasiranja provedenih na području krša u Republici Hrvatskoj*, Zagreb, 2020.
- [24] Karag, *Essais de traçage*, <https://www.karag.be/fr/hydrogeologie/essais-de-tracages/>, pristup 17.7.2023.
- [25] Zavod za zaštitu okoliša i prirode, *Sustav Registra onečišćavanja okoliša (ROO)*, <https://www.haop.hr/hr/tematska-podrucja/otpad-registri-oneciscavanja-i-ostali-sektorski-pritisci/postrojenja-i-registri-6>, pristup 15.8.2023.

- [26] Europska Unija, *Copernicus*, <https://www.copernicus.eu/en>, pristup 15.8.2023.
- [27] Open Street Map Foundation, Open Street Map, <https://www.openstreetmap.org/about>, pristup 30.8.2023.
- [28] Open Geospatial Consortium, *Web Map Services*, <https://www.ogc.org/standard/wms/>, pristup 15.8.2023.
- [29] Državna geodetska uprava, *Naslovnica*, <https://dgu.gov.hr/>, pristup 15.7.2023.
- [30] The Copernicus Global Land Service, *EU-DEM v1.1, The Copernicus Global Land Service*, <https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-dem-v1>, pristup 28.8.2023.
- [31] Copernicus, *CORINE Land Cover*, <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>, pristup 15.8.2023.
- [32] N. Ožanić, *Materijali sa predavanja kolegija "Inženjerska hidrologija"*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2023.
- [33] S. Božičević, *Istarska Enciklopedija*, <http://istra.lzmk.hr/clanak.aspx?id=1113>, pristup 15.7.2023.
- [34] H. vode, *GeoPortal*, https://preglednik.voda.hr/?lang=hr&topic=Registar%20za%C5%A1ti%C4%87enih%20podru%C4%8Dja&layers=hr.rzp.c_morske-plaze,hr.rzp.b_podrucja-voda-pogodnih-za-zivot-slatkovodnih-riba-poligoni,hr.rzp.e_zasticene-prirodne-vrijednosti-poligoni,hr.rzp.a_zone-sanit, pristup 15.6.2023.
- [35] Zavod za zaštitu okoliša i prirode, *Portal s podacima*, <http://envi-metapodaci.azo.hr/geonetwork/srv/hrv/catalog.search#/home>, pristup 15.8.2023.
- [36] Hrvatske vode (ur. D. Biondić), *Strategija upravljanja vodama*, Zagreb, 2009.