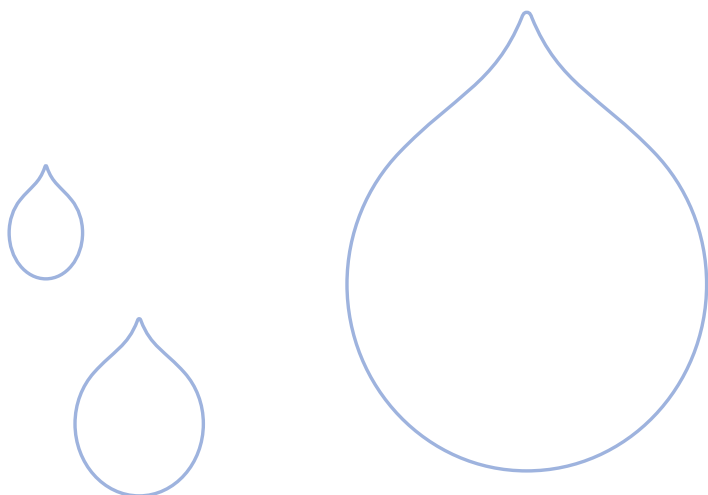


Standardni projekt

Skupni geoinformacijski sistem za varovanje virov pitne vode v izrednih dogodkih



HIDROGEOLOŠKE IN PROSTORSKE RAZISKAVE TER GEOINFORMACIJSKI SISTEM PROJEKTA GEP



2007-2013
cooperazione territoriale europea
programma per la cooperazione
transfrontaliera
Italia-Slovenia
evropsko teritorialno sodelovanje
program čezmejnega sodelovanja
Slovenija-Italija

www.gepgis.eu



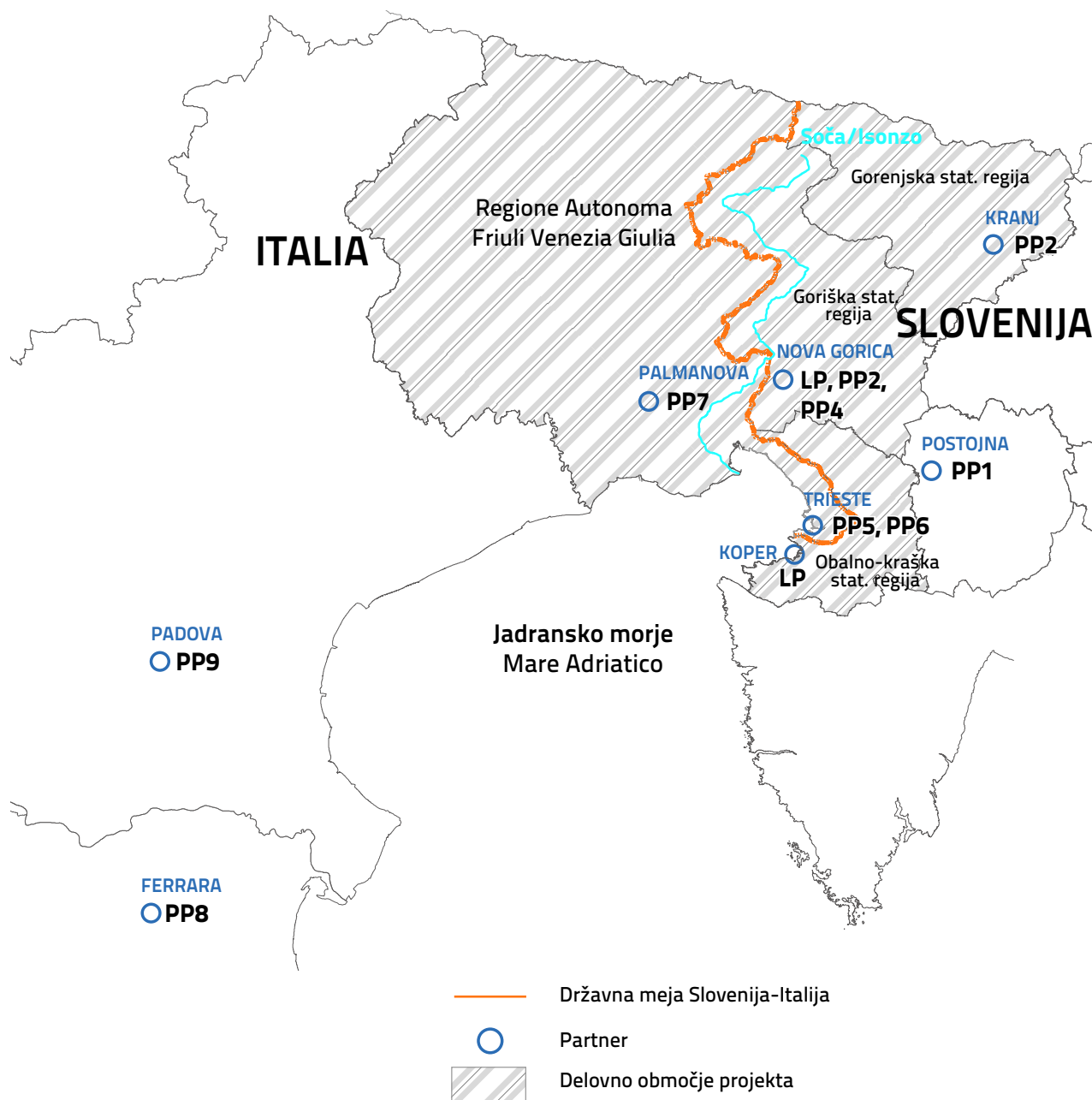
Investiamo nel
vostro futuro!

Naložba v vašo
prihodnost!

www.ita-slo.eu

Progetto cofinanziato dal Fondo europeo di
sviluppo regionale

Projekt sofinancira Evropski sklad
za regionalni razvoj





HIDROGEOLOŠKE IN PROSTORSKE RAZISKAVE TER GEOINFORMACIJSKI SISTEM PROJEKTA GEP

Založili: Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano (Lokacija Nova Gorica), Geologija d.o.o. Idrija (zunanji izvajalec VP), Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani (zunanji izvajalec VP)

Priprava za tisk: Università degli Studi di Trieste, A-media d.o.o.

Tisk: A-media d.o.o.

Naklada: 150

Kraj in datum tiska: Šempeter pri Gorici, oktober 2014

Publikacija sofinancirana v okviru Programa čezmejnega sodelovanja Slovenija-Italija 2007-2013 iz sredstev Evropskega sklada za regionalni razvoj in nacionalnih sredstev.

Vsebina publikacije ne odraža nujno uradnega stališča Evropske unije.

Za vsebino publikacije so odgovorni izključno avtorji Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Geologija d.o.o. Idrija (zunanji izvajalec VP), Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani (zunanji izvajalec VP), Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano (Lokacija Nova Gorica), Dipartimento di Matematica e Geoscienze-Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Scienze della Vita-Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra-Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali-Università degli Studi di Padova

**HIDROGEOLOŠKE IN PROSTORSKE
RAZISKAVE TER GEOINFORMACIJSKI
SISTEM PROJEKTA GEP**

KAZALO

UVOD	7
1 HIDROGEOLOŠKI MODEL KRAŠKEGA VODONOSNIKA TRNOVSKO-BANJŠKE PLANOTE IN ALUVI- ALNEGA VODONOSNIKA ZGORNJE SOŠKE NIŽINE	8
1.1 POMEN IN NAMEN HIDROGEOLOŠKIH MODELOV	8
1.2 HIDROGEOLOŠKE OSNOVE	8
1.2.1 Vodni krog	8
1.2.2 Osnove hidrogeologije	9
1.2.3 Opazovanja podzemne vode	9
1.2.4 Voda v krasu	10
1.3 HIDROGEOLOŠKE ZNAČILNOSTI TRNOVSKO-BANJŠKE PLANOTE	11
1.3.1 Litostratigrafija in tektonika	11
1.3.2 Hidrogeološka zgradba	12
1.3.3 Veliki kraški izviri	14
1.4 HIDROGEOLOGIJA ZGORNJE SOŠKE NIŽINE	17
1.4.1 Zgornja Soška nižina	17
1.4.2 Kamninska podlaga	19
1.4.3 Hidrodinamične in hidrokemične značilnosti	20
1.4.4 Podnebne značilnosti	22
1.4.5 Naravna ranljivost	23
1.4.6 Ogroženost	25
1.5 IZDELAVA HIDROGEOLOŠKIH MODELOV	25
1.5.1 Modelska orodja	25
1.5.2 Karta izohron za kraški vodonosnik Trnovsko-Banjške planote	26
1.5.3 Skupni hidrogeološki model	30
2 SMERNICE ZA SPREMLJANJE KAKOVOSTI KRAŠKIH VODNIH VIROV	32
2.1 SPLOŠNE SMERNICE	32
2.2 SPREMLJANJE KAKOVOSTI KRAŠKIH VODNIH VIROV OB IZREDNIH DOGODKIH	33
2.2.1 Pridobivanje podatkov ob izrednem dogodku	34
2.2.2 Izdelava načrta vzorčenja	34
2.2.3 Obdelava rezultatov meritev in analiz	35
3 PROSTORSKA ANALIZA IN UPRAVLJANJE Z OKOLJEM	36
4 GEOINFORMACIJSKI SISTEM PROJEKTA GEP	41
4.1 UREJANJE PODATKOV O VODNIH VIRIH IN IZREDNIH DOGODKIH	43
5 VIRI	45

UVOD

Namen projekta »Skupni geoinformacijski sistem za varovanje virov pitne vode v izrednih dogodkih (GEP)« je vzpostaviti enoten čezmejni sistem ukrepanja civilne zaščite v primeru ogroženosti virov pitne vode zaradi tehnološkega tveganja in naravnih nesreč na območju Gorenjske, Goriške in Obalno–kraške statistične regije v Sloveniji ter Avtonomne dežele Furlanije–Julijske krajine v Italiji. Za pripravo ustreznih načrtov ukrepanja je potrebno upoštevati hidrogeološke in hidrološke značilnosti območja v prispevnem zaledju vodnih virov. Od teh je namreč odvisno, na kakšen način in v kakšnem obsegu se bo morebitno onesnaženje širilo proti vodnim virom in v kolikšni meri bo ogrozilo njihovo kakovost.

Pomembna pridobitev projekta je hidrogeološka nadgradnja GIS-a virov pitne vode na osnovi skupnih čezmejnih hidrogeoloških raziskav z metodami kartiranja ranljivosti in numeričnega modeliranja za kraški vodonosnik Trnovsko–Banjske planote in aluvialni vodonosnik Soške nižine, ki sta glavna skupna vira pitne vode. Zbrane podatke smo povezali v hidrogeološki model, ki povzema značilnosti pretakanja vode in širjenja onesnaženja ter ga vključili v obstoječi GIS. Ta omogoča, da lahko v primeru onesnaženja na določeni lokaciji takoj ocenimo, kateri vodni viri so ogroženi in kdaj najprej lahko pričakujemo pojav onesnaženja v njih.

Da bi lahko onesnaženje pravočasno zaznali, je potrebno na ogroženih vodnih virih vzpostaviti monitoring kakovosti. Pri njegovem načrtovanju moramo upoštevati hidrogeološke značilnosti območja in izvajanje sproti prilagajati trenutnim hidrološkim razmeram. Podane so osnovne smernice za spremljanje kakovosti vodnih virov ob izrednih dogodkih.

Izdelani GIS omogoča, da lahko tudi osebe, ki niso strokovnjaki na področju hidrogeologije, enostavno in hitro pridejo do prvih informacij o ogroženosti virov pitne vode ob izrednih dogodkih ter jih upoštevajo pri načrtovanju takojšnjega ukrepanja. V naslednjih fazah pa je za bolj podrobno analizo nastalih razmer in optimizacijo ukrepov zelo koristno sodelovanje hidrogeologov.

V okviru projekta smo izvedli tudi prostorsko analizo, pri kateri smo upoštevali vse človekove dejavnosti, ki lahko vplivajo na kakovost vodnih virov. Analiza je privedla do poznavanja najpomembnejših onesnaževalcev in najbolj občutljivih območij v Soški nižini. Kot primer pravilnega upravljanja z okoljem smo pripravili alternativni scenarij, ki bi na podlagi ekonomsko in ekološko izvedljivih ukrepov lahko pripeljal do izboljšanja trenutnega stanja.

Postavljen je bil geoinformacijski sistem (GIS) projekta GEP, ki vključuje zbrane podatke o vodnih virih na obravnavanem območju.

Projektni partnerji delovnih sklopov 5, 6 in 7:

VP Nacionalni inštitut za javno zdravje (OE Nova Gorica, OE Koper)

Geologija d.o.o. Idrija (zunanji izvajalec VP)

Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani (zunanji izvajalec VP)

PP1 Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU

PP2 Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano (Lokacija Nova Gorica, Lokacija Kranj)

PP5 Dipartimento di Matematica e Geoscienze, Università degli studi di Trieste

PP6 Dipartimento di Scienze della Vita, Università degli studi di Trieste

PP8 Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra, Università degli studi di Ferrara

PP9 Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli studi di Padova

1 HIDROGEOLOŠKI MODEL KRAŠKEGA VODONOSNIKA TRNOVSKO-BANJSKE PLANOTE IN ALUVIALNEGA VODONOSNIKA ZGORNJE SOSKE NIZINE

1.1 POMEN IN NAMEN HIDROGEOLOŠKIH MODELOV

Na čezmejnem območju Goriške statistične regije in Furlanije-Julijske krajine sta glavna vira pitne vode kraški vodonosnik Trnovsko-Banjske planote in aluvialni vodonosnik Soške nižine. Eden najpomembnejših kraških virov, ki se napaja iz vodonosnika Trnovsko-Banjske planote, je izvir Mrzlek, ki oskrbuje s pitno vodo približno 45.000 ljudi na obeh straneh meje. Ob vznožju planote so še številni drugi kraški izviri (Podroteja pri Idriji, Hubelj pri Ajdovščini, Kajža pri Kanalu ob Soči, Hotešk pri Idriji pri Bači), ki so viri pitne vode za približno 44.000 ljudi. Iz aluvialnega vodonosnika Soške nižine črpajo vodo za oskrbo Trsta, Gorice in okolice (350.000 prebivalcev).

Da bi lahko te pomembne vodne vire v primeru izrednih dogodkov ustrezno zaščitili, moramo dobro poznati hidrogeološke značilnosti v njihovem prispevnem zaledju in jih upoštevati pri načrtovanju ukrepov. Kam in kako hitro se bo širilo morebitno onesnaženje, lahko uspešno napovemo le, če poznamo značilnosti kamninske zgradbe in hidrogeološke razmere. Za to so potrebne ustrezne predhodne hidrogeološke raziskave.

Na obravnavanem območju so bile v preteklosti opravljene številne študije, v projektu GEP pa smo jih projektni partnerji in zunanji sodelavci dopolnili z novimi. Zaradi razlik v delovanju kraških in aluvialnih vodonosnikov ter različnih metodologij, ki jih uporabljamo za njihovo proučevanje, smo v prvi fazi izdelave hidrogeološkega modela testna vodonosnika obravnavali ločeno. Združena v okviru GIS-a virov pitne vode pa omogočata, da v primeru onesnaženja na določeni lokaciji takoj ocenimo, kateri vodni viri so ogroženi in kdaj najprej lahko pričakujemo pojav onesnaženja v njih.

1.2 HIDROGEOLOŠKE OSNOVE

Goran Vižintin (NTF UL), Metka Petrič (IZRK ZRC SAZU)

1.2.1 VODNI KROG

Vodni krog opisuje procese kroženja vode v naravi. Voda je v naravi praktično povsod in območje, kjer se izmenjuje med atmosfero, površinskimi vodami, morji in kamninami, imenujemo hidrosfera. Razlog, da se izmenjava v hidrosferi dogaja, je sonce. Sonce s svojo sevalno energijo omogoča neprestan dotok energije, ki povzroča izhlapevanje vode predvsem iz oceanov, v manjši meri pa iz površinskih kontinentalnih vod (ledenikov, zasneženih površin, ribnikov, jezer) in z evapotranspiracijo s površine kamnin. Izhlapela voda se pri ohladitvi s pomočjo dviganja zračnih mas kondenzira in se spremeni v meglo, roso ali pa v oblake. Pri še večji ohladitvi se spremenijo vodni hlapi v točo, sneg in led. S padavinami dežja, toče in snega se voda spet vrne na tla. Del je odteče kot površinski odtok, del pa vstopi v tla, kjer lahko odteče s pripovršinskim odtokom, ali pa se infiltrira v globlje plasti. Za infiltracijo vode v tla morajo biti izpolnjeni določeni hidrogeološki pogoji. Predvsem mora biti kamnina porozna, torej mora vsebovati pore ali praznine, ki jih voda lahko napolni.

Pri tem velja omeniti, da imamo na območju projekta GEP prisotne vse dejavnike vodnega kroga. Voda izhlapeva iz Jadranskega morja in kontinentalnih površinskih vod ter z evapotranspiracijo iz vezanih in nevezanih kamnin. Se dviga, kondenzira ob visokih planinskih masivih in vrača nazaj na tla. Del vode nadaljuje pot kot površinski odtok, del kot pripovršinski odtok, preostanek pa se infiltrira v kamnine, ki lahko akumulirajo vodo. Končno iz njih odteče skozi različne izvire, kjer podzemna voda postane del površinskih vod, ki se preko reke Soče stečejo v Jadransko morje in tako zaključijo vodni krog.

Za razumevanje dogajanja v podzemni vodi pa moramo uporabiti znanja hidrogeologije, stroke, ki se ukvarja s pojavljanjem in pretakanjem vode pod površjem.

1.2.2 OSNOVE HIDROGEOLOGIJE

Hidrogeologija je veda, ki se ukvarja s pojavljanjem vode v kamninah. Glede na obliko por, po katerih se pretaka podzemna voda, ločimo medzrnske (medzrnska poroznost), razpoklinske (razpoklinska poroznost) in kraško razpoklinske tipe kamnine (kraško razpoklinska poroznost). Za razumevanje dinamike pretakanja vode je poznavanje razlik med njimi velikega pomena. Dinamika pretakanja v kraško razpoklinskih kamninah je večja kot v medzrnskih in razpoklinskih. V kraško razpoklinskih kamninah je lahko hitrost pretakanja vode nekaj 100 metrov na uro, v medzrnskih pa so največje hitrosti reda velikosti nekaj 10 metrov na dan.

Ne glede na tip poroznosti kamnine se podzemna voda nahaja v vodonosnikih. Vodonosnik je plast ali geološka formacija, ki omogoča gibanje vode v porah ali razpokah. Glede na zgoraj opisane tipe kamnin ločimo medzrnske (npr. aluvialni vodonosnik ob reki Soči), razpoklinske in kraške vodonosnike (npr. osrednji del Trnovsko-Banjške planote). Vodonosnike ločimo tudi glede na njihov hidrodinamičen značaj:

- **Odprti vodonosnik** ima prosto gladino podzemne vode, s tlakom na gladini površine enakim atmosferskemu tlaku. V splošnem se smatrajo kot uniformni, če obstaja napajanje iz reke ali pada vin.
- **Zaprti vodonosnik** ima zgornjo in spodnjo mejno ploskev neprepustno, voda v njem je pod tlakom. Take vodonosnike imenujemo tudi arteški vodonosniki, če v njih izdelamo vrtino, voda zaradi tlaka naraste.
- **Polzaprti vodonosnik** ima podobne razmere kot zaprt, le da se polzaprt napaja iz spodnjih ali zgornjih mejnih plasti. Napajanje je proporcionalno razliki v nivoju med vodonosno plastjo in zgornjo ali spodnjo mejo.
- **Polodprti vodonosnik** si lahko predstavljamo kot vodonosnik sestavljen iz dobro prepustne plasti, ki ga pokriva slabše prepustna plast z nezanemarljivo horizontalno komponento toka.

Poleg plasti in geoloških formacij, ki omogočajo gibanje vode, obstajajo tudi plasti, ki zaradi svoje nizke prepustnosti podzemni vodi otežujejo gibanje. Te plasti so zelo pomembne, saj določajo smeri gibanja podzemne vode in njeno akumulacijo v vodonosnih kamninah:

- **Polprepustna plast** je sestavljena iz slabo prepustnega medija, ki lahko počasi prevaja vodo.
- **Neprepustna plast** ima tako majhno prepustnost, da ne more prevajati vode; ni pa nujno, da je ta plast suha.

1.2.3 OPAZOVANJA PODZEMNE VODE

Podzemno vodo opazujemo v vrtinah, ki omogočajo meritve hidravličnega potenciala ali gladine podzemne vode. Vrtine, namenjene opazovanju gladin podzemne vode, imenujemo piezometri. Ustrezati morajo predvsem naslednjim zahtevam:

- izdelani morajo biti na mestu, ki odraža pravo stanje v vodonosniku;
- stik med notranjostjo vrtine in vodonosnikom mora biti čim bolj prehodan;
- onemogočati mora morebitna onesnaženja vodonosnika ali medsebojno povezanost različnih plasti;
- območje stika z vodonosnikom, ki ga imenujemo filter, mora biti izdelano po celotni debelini vodonosnika (popoln piezometer);
- premer vrtine mora biti postavljen tako, da omogoča vzorčenje in izvedbo zveznih meritev v piezometru.

Vodnjaki so objekti, ki so predvsem namenjeni črpanju podzemne vode. Primerni so lahko za vzorčenje podzemne vode, pri meritvah gladin pa je treba upoštevati, da se v njih črpa podzemna voda.

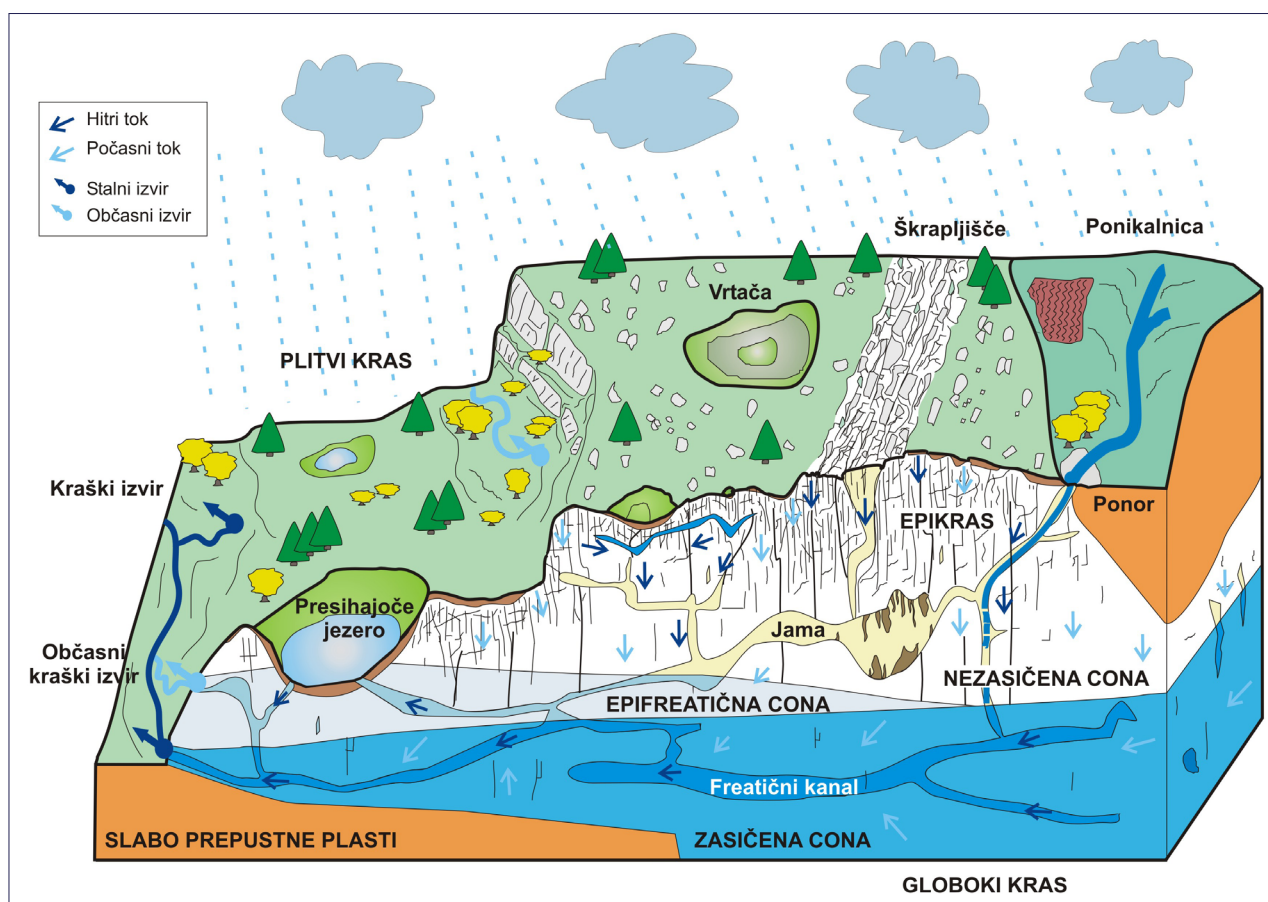
Za določitev lastnosti vodonosnika moramo imeti vsaj en vodnjak in piezometer. Za določitev smeri toka podzemne vode v medzrnskih vodonosnikih zadostujejo že trije piezometri. Za določanje smeri in hitrosti toka podzemne vode v kraških vodonosnikih pa uporabljamo sledilne poskuse.

1.2.4 VODA V KRASU

Kraški vodonosniki so običajno obsežna območja karbonatnih kamnin (predvsem apnenca in dolomita), ki so bila izpostavljena procesu raztapljanja (korozije) in so se v njih oblikovali značilni površinski in podzemni pojavi (slika 1). Padavinska voda hitro najde pot skozi razpoke v kraškem površju v podzemlje. Zaradi običajno majhne debeline prsti je možnost zadrževanja v njej relativno majhna. Voda se s površja pretaka večinoma v navpični smeri skozi pore različnih oblik in velikosti (majhne pore med zrni kamnine, razpoke, kraški kanali) proti gladini podzemne vode. Zgornji del vodonosnika, kjer so te pore le občasno zapolnjene z vodo, imenujemo nezasičena ali vadozna cona, gladina podzemne vode pa predstavlja mejo s spodaj ležečo zasičeno ali freatično cono. V tej so vse pore stalno zapolnjene z vodo in prevladuje pretakanje v bolj ali manj vodoravni smeri proti kraškim izvirom, ki predstavljajo naravni iztok podzemne vode na površje.

Na stiku s krasom poniknejo v podzemlje tudi površinski vodotoki z nekraškega obrobja. Če so te ponikalnice onesnažene, pomenijo zelo hiter in koncentriran vnos onesnaževal v velike podzemne kraške kanale in po njih naprej proti kraškim izvirom.

Zaradi izrazito heterogene zgradbe z različnimi oblikami in velikostmi por imajo kraški vodonosniki posebne značilnosti pretakanja vode v podzemlju. Za tok skozi kraške kanale so značilne zelo visoke



Slika 1: Shematski model kraškega vodonosnika. (Vir: Ravbar 2007.)

hitrosti (tudi do več sto metrov na uro) in različne smeri odtekanja vode, ki segajo tudi do več deset kilometrov oddaljenih predelov. V slabše prepustnih delih s počasnejšim tokom pa se lahko voda tudi za daljši čas zadrži v podzemlju.

Opisane lastnosti so vzrok za veliko ranljivost kraških vodonosnikov v primeru razlitja različnih onesnaževal v vode, na površje ali v podzemlje. Procesi samoočiščevanja v krasu so zaradi večinoma hitrega ponikanja, majhne filtracije ter visokih hitrosti toka manj učinkoviti in del onesnaženja lahko v visokih koncentracijah že v nekaj urah preide nezasičeno cono in v nekaj dneh doseže izvir. Del onesnaženja pa se zadrži v slabše prepustnih conah ter več dni, tednov, mesecev ali let zastaja v podzemlju.

Poleg zgradbe vodonosnikov na pretakanje vode značilno vplivajo tudi razporeditev, količina in intenziteta padavin, ki se odražajo s spreminjanjem pretokov kraških izvirov. Hkrati s pretoki se spreminjajo njihove fizikalne in kemijske lastnosti, kar potrjuje, da sta na padavine neposredno vezana tudi prenos onesnaženja in s tem kakovost vodnih virov. V daljših sušnih obdobjih, ko se občasne padavine pretežno shranjujejo v razpokani kamnini pod površjem (v nezasičeni coni) in prihaja le do minimalnih povečanj pretoka, je tudi pojav onesnaženja v kraških izvirih minimalen ali celo izostane. Zato je v takih razmerah kakovost vode sorazmerno dobra (v kolikor ne pride do kakšnih izrednih onesnaženj). Ko pa nastopijo izdatnejše padavine, ki pospešijo pretakanje vode in povečajo pretoke izvirov, prihaja tudi do intenzivnega prenosa onesnaženja (predvsem jeseni v času prvih povečanj pretokov po poletni suši). Tedaj se namreč iz nezasičene cone krasa in strug ponikalnic spira onesnaženje, ki se je nabiralo v sušnem obdobju (odpadne vode naselij, čiščene ali neočiščene, ki odteka v reke ponikalnice, ki v sušah lahko celo presušijo; spiranje odlagališč odpadkov, cest, kmetijskih površin, ipd). Ta največji prenos onesnaženja, ki se odrazi v povečanih koncentracijah merjenih parametrov, je običajno hiter in ne traja dalj časa, saj nadaljnje padavine povzročijo izrazito povečanje pretokov in s tem veliko razredčenje. Posledica je izboljšanje kakovosti vode na izvirih. Le v primeru daljših obdobj z minimalnimi padavinami, kot sta bili zaporedni leti 2011 in 2012, pa do onesnaženja kraških izvirov prihaja po vsakih nekoliko izdatnejših padavinah, saj zaradi suše izostanejo učinki večjega razredčenja.

1.3 HIDROGEOLOŠKE ZNAČILNOSTI TRNOVSKO-BANJŠKE PLANOTE

Jože Janež (Geologija d.o.o.)

1.3.1 LITOSTRATIGRAFIJA IN TEKTONIKA

Trnovski gozd in Banjšice gradijo predvsem karbonatne sedimentne kamnine zgornjega triasa, jure in krede. Starejše karbonske, permske in triasne kamnine najdemo samo na Idrijskem in Tolminskem. Južno obrobje Trnovskega gozda v Vipavski dolini in zahodni rob na Banjšicah in v dolini Soče gradita paleocenski in eocenski fliš.

Karbonske in permske klastične kamnine, zgornjepermske dolomite in apnenice, spodnjetriasne dolomite, laporovce in meljevce z lečami oolitnega apnenca, siv dolomit in laporaste apnenice, anizijski dolomit ter pisane ladinjske konglomerate, peščenjake in tufe, najdemo na Idrijskem v zgornjem toku potoka Zala. Bel zrnat cordevolski dolomit najdemo v dolini Trebušice in v dolini Zale. Julsko-tuvalski peščenjaki in meljevci ter dolomiti gradijo strma pobočja severnega obrobja Trnovskega gozda v dolini Trebušice in manjša območja na desnih pobočjih hudournika Zale.

Zgornjetriasni norijsko-retijski "glavni" dolomit se začne v dolini Idrijce pri Mostu na Soči, gradi terene tja do Čepovanskega dola in severno obrobje Trnovskega gozda nad Trebušo in dolino Belce, prekriva Zadloško in Črnovrško planoto do Javornika. Najdemo ga še na vzhodnem pobočju Čavna. Siv plastnat dolomit prehaja navzgor v svetlo siv plastnat organogen dachsteinski apnenec, ki je v sklenjenem pasu razvit med Čepovansko dolino in osrednjim delom Trnovskega gozda, Križne gore in Javornika.

Norijsko-retijski apnenici in dolomiti prehajajo zvezno v jurske kamnine. Na Banjški planoti in Trnovskem

gozdu so razvite liasne, doggerske in malmske plasti. Kamnine vpadajo proti jugozahodu. Jurske kamnine, debele od 1000 do 1500 metrov, so razvite kot različno obarvani gosti in oolitni apnenci in beli, sivi do rjavkasto obarvani dolomiti z vsemi medsebojnimi prehodi.

Kredne kamnine so debele od 2500 do 3000 metrov. Spodnja kreda je razvita kot rjavkasti do svetlosivi apnenec z vložki zrnatih bituminoznih dolomitov. Sledijo zgornjekredni sivi do beli organogeni apnenci. Severovzhodno od doline Avščka je zgornja kreda razvita v značilnem flišnem razvoju in turbiditnem tipu volčanskega apnenca. Nad njim sledijo apnenčeve breče z vložki laporovca in rjavi laporovci in peščenjaki z vložki breč (scaglia). Karbonatni kredni razvoj se zaključuje z erozijsko diskordanco, nad katero ležijo terciarne flišne kamnine.

Na Banjšicah ležijo na erodiranem zgornje ali spodnjekrednem apnencu najprej paleocenske, nato pa eocenske flišne kamnine. Paleocenske kamnine (rdečkasti laporovci, apnenčevi konglomerati, sivi laporovci) najdemo na zahodnem delu Trnovskega gozda, Banjšicah in tektonskih oknih v okolici Idrije. Eocenske kamnine so razvite kot menjavanje rjavkastih do zelenkasto sivih laporovcev in kremenovih peščenjakov z vložki kalkarenitov in kalkruditov.

Periglacialne debelo zrnate blokovne breče, ki prekrivajo flišne kamnine na jugozahodnem pobočju Trnovskega gozda od Vipave na zahodu do Soške doline pri Mrzleku, so kvartarne starosti. K holocenu prištevamo ilovice z roženčevo preperino na nekaterih izravninah Trnovskega gozda ter obsežne nesprijete pobočne grušča od Cola na vzhodu do doline Soče na zahodu.

Prevladujoč tektonski element so obsežni narivi, ki so bili v zadnji alpski tektonski fazi prerezani z gostim sistemom subvertikalnih prelomov. Za narivno zgradbo obravnavanega ozemlja je značilno ponavljanje paleocensko-eocenskega fliša v narinjenih in podrinjenih strukturnih enotah. V podlagi narivne strukture je Hruški pokrov. Na Idrijskem leži na hruški narivni enoti kredni apnenec Koševniške vmesne luske, nato pa plošča zgornjetriasnega dolomita Čekovniške vmesne luske v inverzni legi. Nad njimi leži Trnovski pokrov, ki ga gradijo kamnine od karbona do eocena. Obsega celoten Trnovski gozd, Banjšice, Lokovec, Čepovanski dol in dolino Trebušice.

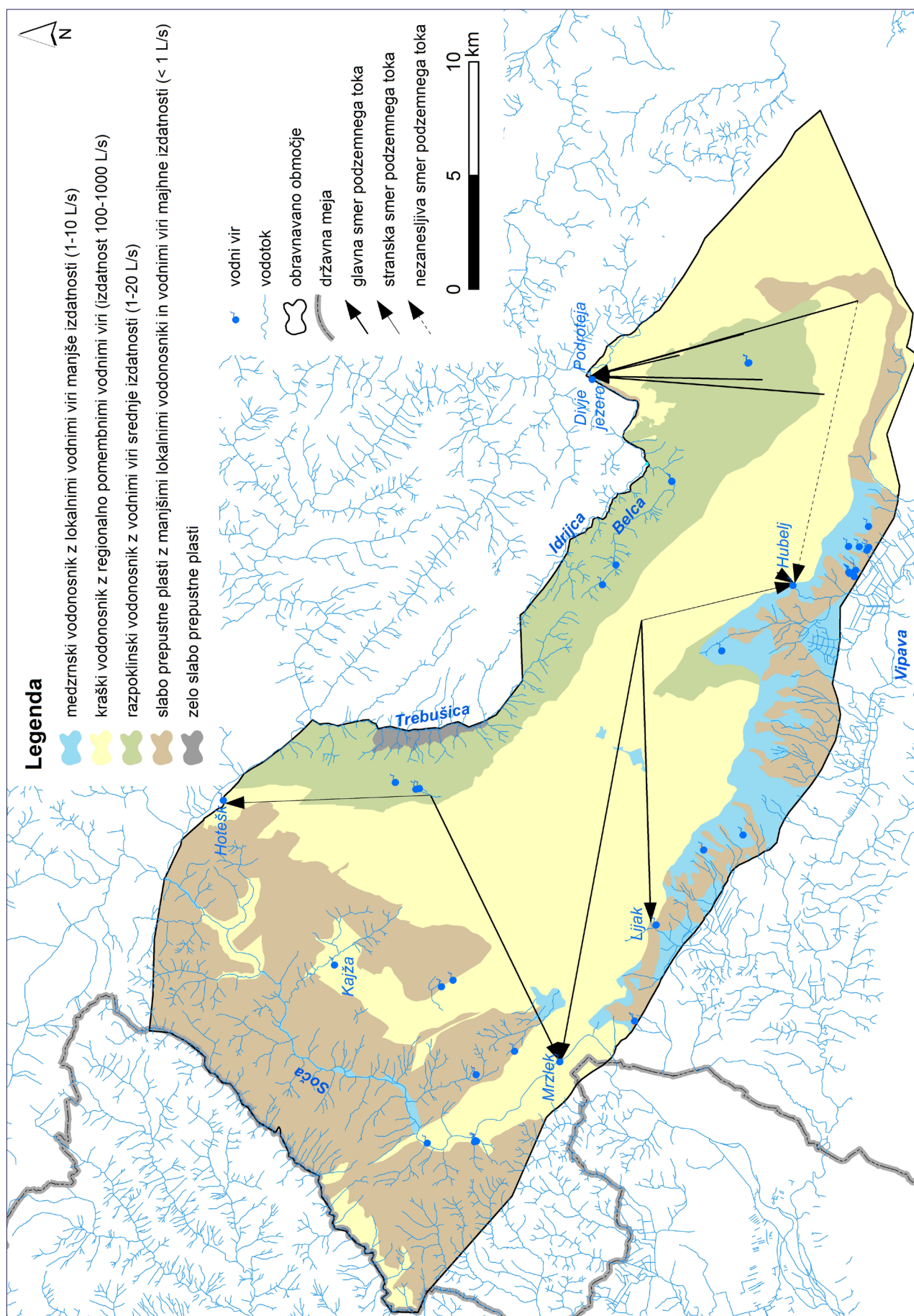
S severovzhodne strani omejuje obravnavano ozemlje Idrijski prelom. Vzporedno z njim poteka Zalin prelom. Regionalni Avški prelom, v vzhodnem delu imenovan tudi Predjamski prelom, sledimo od Soške doline pri Avčah do obrobja Pivške kotline. Na jugozahodni strani Trnovsko-Banjške planote poteka Raški prelom, ki pod Lijakom izginja v flišne kamnine Vipavske doline. Med naštetimi prelomi potekajo številne različno široke pretrte cone v smeri sever-jug, vzhod-zahod ali severoseverozahod-jugojugovzhod, ki so dale genetsko osnovo za razvoj krasa in hidrogeoloških pojavov.

1.3.2 HIDROGEOLOŠKA ZGRADBA

Hidrogeološke razmere Trnovskega gozda in Banjšic so določene z litologijo in s strukturno-geološko zgradbo ozemlja, ki je posledica narivne tektonike v starejšem terciarju in prelomnih neotektonskih premikov, rezultat pa je superpozicijska zgradba narivnih grud, pokrovov in manjših vmesnih lusk.

Fliš Vipavske doline pripada dvema tektonskima enotama: južni del Komenski narivni grudi, severni pa skupaj z Nanosom in Hrušico Hruškemu pokrovu. Fliš Hruškega pokrova predstavlja za kraški vodonosnik Trnovskega gozda in Banjšic neprepustno talnino, v Vipavski dolini neprepustno južno in jugozahodno bočno pregrajo, na vzhodu (Vodice, Lome, Novi Svet) pa se stanjša in je za vodo prepusten. Flišne plasti, ki ležijo pri Vodica v nadmorski višini okrog 1000 m, padajo proti zahodu. V tektonskih oknih na Idrijskem ga najdemo v višini nekaj nad 300 m, pri Lijaku je bil navrtan na koti 16 m, vrtine v Prelesju (do kote -220 m) in v Desklah (do kote -190 m) pa fliša niso dosegle. Oblikovanost in nagnjenost neprepustne podlage usmerja odtekanja kraške podzemne vode proti zahodu.

Mezozojske karbonatne kamnine Trnovskega pokrova gradijo osrednji del kraškega vodonosnika (slika 2). Med reko Sočo in Lijakom so nizke vode na koti 77 m in jih vzdržuje gladina vode v akumulacijskem jezeru hidroelektrarne Solkan. Višje je podzemna voda v severnem delu Banjšic (izvir Kajža 191 m) in v zaledju Hublja (270 do 290 m).



Slika 2: Hidrogeološka karta izbranega območja Trnovsko-Banjske planote.

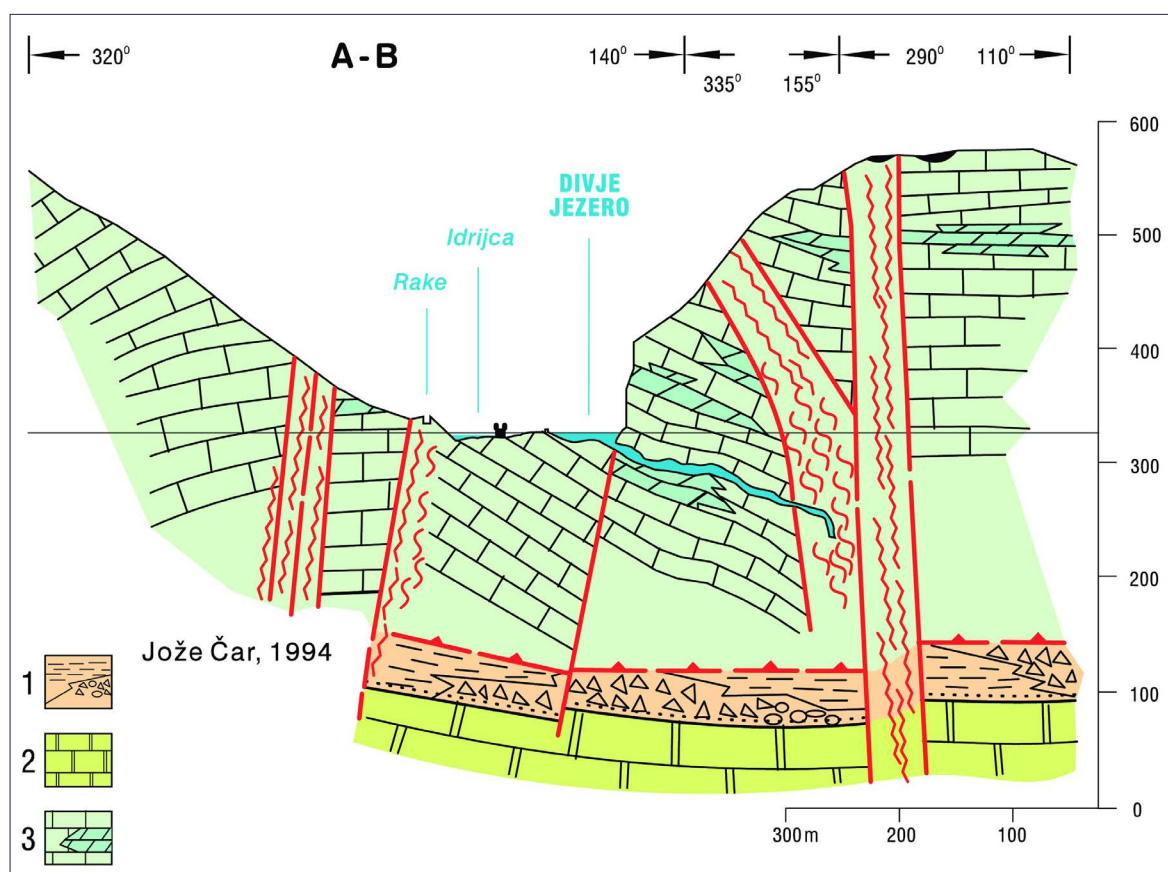
Podzemne vode kraškega vodonosnika Trnovsko-Banjške planote se izlivajo na površje v najnižjih točkah neprepustnega obrobja, pri Idriji na izviri Divje jezero in Podroteja, pri Ajdovščini na izviru Hublja, pri Novi Gorici na Lijaku (občasno) in Mrzleku, ter pri Kanalu ob Soči na izviru Kajža. Severno mejo kraškega vodonosnika gradijo dolomitne kamnine zgornjetriasne starosti, ki imajo vzdolž dolin Trebušice in Belce v podlagi neprepustne karnijske klastične kamnine. Zgornjetriasni dolomiti so lokalno pomembni vodonosniki z razpoklinsko poroznostjo (greben med Čepovansko dolino in dolino Trebušice, Belca, Črni vrh nad Idrijo).

Debelo zrnate do blokovne kvartarne periglacialne breče in nesprijeti holocenski pobočni grušči na južnem obrobju Trnovskega gozda zbirajo in prevajajo manjše količine podzemne vode, ki napajajo številne manjše, a lokalno pomembne izvore.

1.3.3 VELIKI KRAŠKI IZVIRI

Podroteja in Divje jezero

Kraška izvira Podroteja in Divje jezero ležita pri Idriji, pri sotočju Idrijce in Zale, na nadmorski višini 330 m. Voda priteka iz temnih debeloplastnatih spodnjekrednih apnencev (slika 3). Vokliški izvir Divje jezero ima kraški rov, kjer so se potapljači spustili kar 160 m globoko. V Podroteji so kraški kanali ožji in neprehodni.



Slika 3: Geološki prerez Divjega jezera. (1 – laporovec, peščenjak, apnenčeva breča, paleocen; 2 – debeloplastnati apnenec, zgornja kreda; 3 – plastnati apnenec z vložki dolomita, spodnja kreda.)

Sušni pretok Podroteje je 200 l/s, a po deževju naraste na več tisoč l/s. Divje jezero ob sušah ne preliva, čeprav je sifonska kotanja vedno polna. Ob visokih vodah ima Jezernica, ki izteka iz Divjega jezera, pretok 10 m³/s.

Temperatura Podroteje niha med letom med 7,2 in 9,8 °C. Divje jezero se poleti, kadar voda miruje, na površini segreje celo do 20 °C. Po kemični sestavi imata oba izvira vodo magnezij-kalcijevo-hidrogen-karbonatnega tipa. Razmerje rMg/rCa kaže na prevlado apnenčevega zaledja nad dolomitnim.

Tabela 1: Kemična sestava vode Podroteje in Divjega jezera.

	Podroteja			Divje jezero		
	min	sr	max	min	sr	max
Temperatura (°C)	6,4	8,5	12	7,0	9,6	20,5
Skupna trdota (°dH)	6,6	8,9	10,6	7,0	8,7	10,3
Ca (mg/l)	37,2	41,3	44,8	32,3	42,6	50
Mg (mg/l)	11,4	13,1	17,5	10,5	12,7	16,8
rMg/rCa (mekv)	0,11	0,55	0,85	0,39	0,48	0,62

Nihanje kemičnih parametrov je pri Podroteji in Divjem jezeru vzporedno in odvisno od pretoka oziroma padavin, s tem da je pri Divjem jezeru odvisnost od padavin izrazitejša. Podrotejo napajajo globlje kraške vode ter vode iz nekraškega porečja Zale.

Hubelj

Strmo pobočje Trnovskega gozda nad izvirom Hublja gradi svetlo rjav zrnat do gost, ponekod ooliten in dolomitiziran apnenec jurske starosti. Na izviru so plasti apnenca debele od 40 cm do 2 m in celo 10 m, višje v pobočju pa je apnenec masiven. Plasti vpadajo 30 do 60° proti jugozahodu, le na samem izviru Hublja proti jugu pod kotom 22–40°.

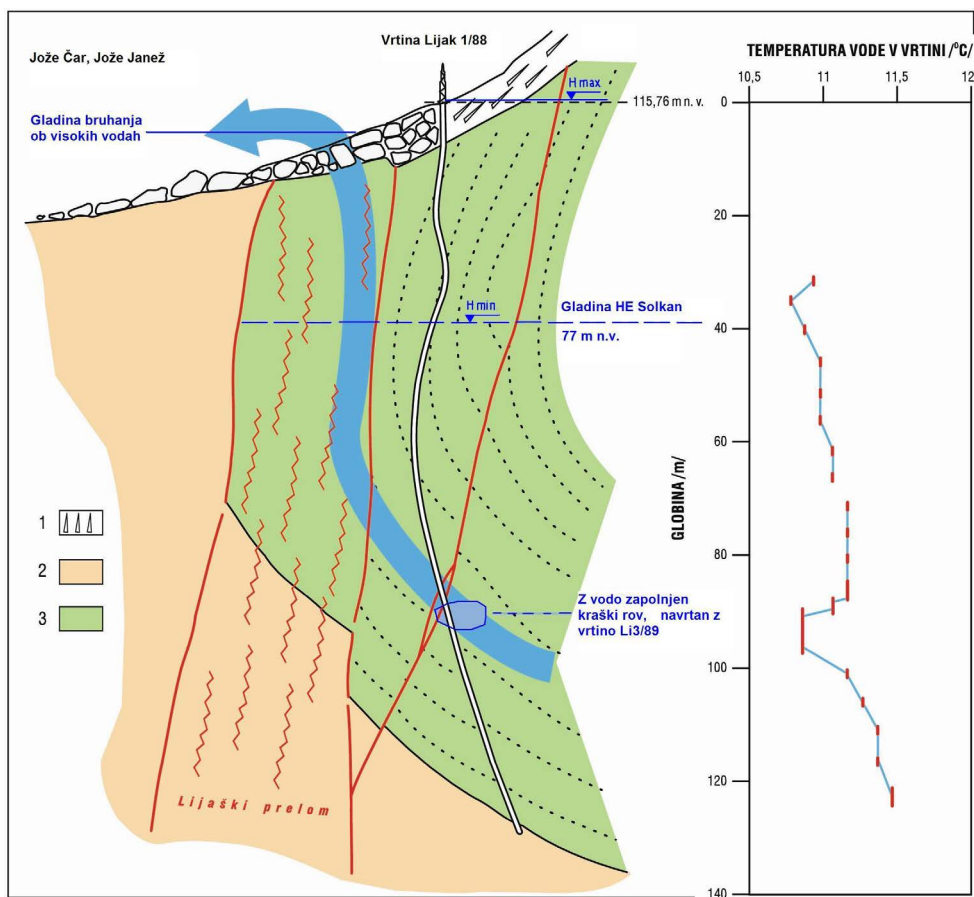
Eocenski fliš sestavljajo 5 do 30 cm debele plasti laporovcev, meljevcev in peščenjakov. Zahodno od izvira je stik med karbonati Trnovskega gozda in flišem ob prelomu Avče-Dol subvertikalen. Vzhodno od Hublja dobimo fliš pod plitvo pobočno brečo na nadmorski višini 475 m, pri Hublju pa na 240 m. Hubelj torej leži v dnu izrazite in ozke strukturne depresije v narivni ploskvi Trnovskega pokrova. Izviri se pojavljajo v 70 m širokem pasu 240 do 265 m nad morjem. Vode iztekajo po korozijsko razširjenih lezikah. Najvišji izviri so na vzhodni strani, proti zahodu pa kote izviranja vode padajo. Nad stalnimi izviri sta še dve jami, Veliki Hubelj in Hubljeva kuhinja. Veliki Hubelj je horizontalna jama – občasni visokovodni izvir – s stalno vodo v notranjosti tudi ob nizkih vodah.

Lijak

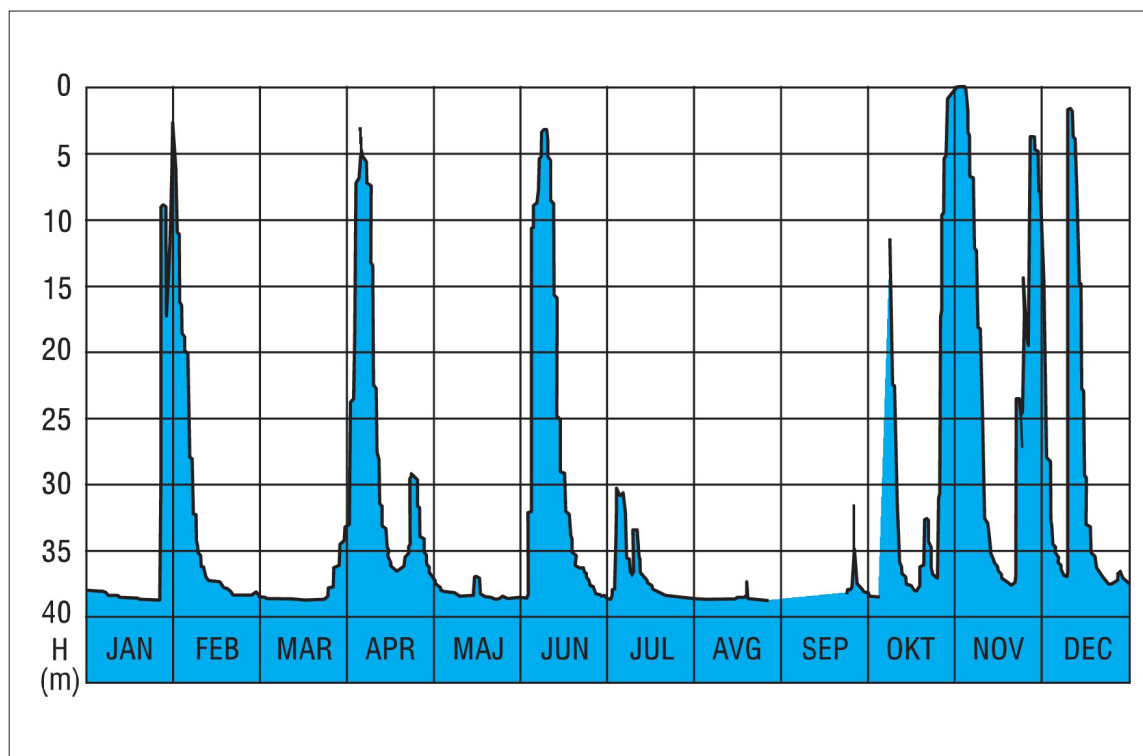
Občasni kraški izvir Lijak pri Novi Gorici je hidrološka posebnost zaradi močnih, a kratkotrajnih izbruhov. Deluje kot preliv za visoke podzemne vode Trnovskega gozda, ki sicer odteka proti 6 km oddaljenim izviro ob Soči. Apnenčeve stene nad Lijakom so zgornjekredne starosti, s flišem Vipavske doline pa so ločene z navpičnim prelomom. Vrtini pri Lijaku sta navrtali kraške kanale šele okoli 90 metrov globoko (slika 4).

Lijak bruha sedem do desetkrat na leto. Njegovi izbruhi trajajo od enega do nekaj dni, največ pa tja do dvajset dni ob dolgotrajnejših deževjih. Do sedaj največji izmerjeni pretok Lijaka na vodomerni postaji Šmihel je bil 32,6 m³/s.

V piezometriški vrtini za izvirom niha podzemna voda po za kras značilnem režimu, z daljšimi obdobji nizkih voda in kratkimi visokimi valovi, ter veliko amplitudo, večjo od 40 m (slika 5). Po deževju vodna gladina hitro narašča, celo do 13 m na uro. Ob nizkih vodah se gladina približa gladini jezera hidroelektrarne Solkan (77 m). Umetna spreminjanja gladine v akumulacijskem jezeru Solkan imajo jasen odziv v zapisu nihanja nivoja vode na Lijaku.



Slika 4: Geološki prerez izvira Lijak. (1 – pobočni grušč; 2 – fliš; 3 – apnenec, zgornja kreda.)



Slika 5: Nihanje podzemne vode v piezometru Lijak 1 v letu 1990.

Hidrološke meritve na Lijaku kažejo, da je med Lijakom in Sočo visokoprepusten potopljen kras. S tem se Lijak kaže kot zelo obetajoč vodni vir, kar so potrdili tudi rezultati prvih poskusnih črpanj.

Skupna trdota vode Lijaka niha med 7,72 in 11,1 °dH. Kalcij (45,7 do 75,0 mg/l) močno prevladuje nad magnezijem (1,7 do 5,2 mg/l). Razmerje rMg/rCa (v mekv, med 0,04 in 0,14) kaže na čisto apnenčevo zaledje.

Kajža

V dolini Avščka, nekaj več kot 2 km jugovzhodno od Avč pri Kanalu, je na nadmorski višini 191 m več izvirov, med katerimi je Kajža največji. Voda pride na površje na stiku apnencev in 20 m široke cone Avškega preloma. Na izviru so urejena tri vodna zajetja. Najnižji pretoki izvira padejo na 7 l/s, medtem ko po nalivih dosežejo 1,5 od 2 m³/s. Temperatura vode (med 7,0 in 11,9 °C) je precej podobna ostalim izvirov na južnem in zahodnem obrobju planote.

Voda Kajže je mehka do zmerno trda. Skupna trdota niha med 7,6 in 10,0 °dH. Voda je kalcijevo-hidrogenkarbonatnega tipa. Kalcij (52,1 do 67,1 mg/l) prevladuje nad magnezijem (0,43 do 4 mg/l). Razmerje Mg/Ca (v mekv) niha od 0,04 do 0,10 in kaže na čisto apnenčevo zaledje.

Mrzlek

Kraški izviri Mrzleka so razporejeni v dolini Soče nad Solkanom. Voda se na razdalji okrog 400 m preliva v Sočo po številnih razpokah na obeh straneh struge. Dva pomembnejša in stalnejša izvira sta na levem bregu, dva na desnem bregu pa sta ob visoki vodi močnejša. Odkar je Soča pri Solkanu zajezena z jezom, so izviri potopljani in opazni le ob višjih vodah, ko v kalno Sočo iz podzemlja priteka čistejša kraška voda.

Mrzlek je najnižji izvir na vsem obrobju Trnovsko-Banjške planote. Njegov položaj je odvisen od geološke zgradbe in od tektonske razpokanosti apnencev. Soča je vrezala strugo med Plavami in Solkanom v teme polegla in na fliš narinjene gube apnencev Trnovskega pokrova. Odločilen je tudi vzdolžni prelom, ob katerem se pod Sveto Goro v strugi Soče pojavlja eocenski fliš, ki zajezuje kraške vode Trnovskega pokrova, da ne izvirajo bliže Solkanu. Vzhodno od prečnega solkanskega preloma je fliš zaslediti v višini okrog 200 m, nad 30 m globoke vrtine za hidroelektrarno Solkan pa tega fliša niso dosegli. Flišna podlaga sega nedvomno globoko pod strugo.

Neposredno izlivanje kraške vode v Sočo onemogoča merjenje izdatnosti Mrzleka. Zato ne poznamo dovolj njegovega hidrološkega režima. Pretok Mrzleka je v suši ocenjen na okrog 500 l/s, srednji pretok na 10 m³/s in visoki pretok na 30 m³/s.

Temperatura vode se giblje med 8 in 10 °C. Kemijska sestava vode ustreza predpisom za pitno vodo. Občasno je voda kalna in bakteriološko oporečna, zato jo je potrebno čistiti na čistilni napravi. Mrzlek se po trdoti vode bistveno ne loči od Soče, obe vodi pa se razlikujeta po razmerju Mg/Ca .

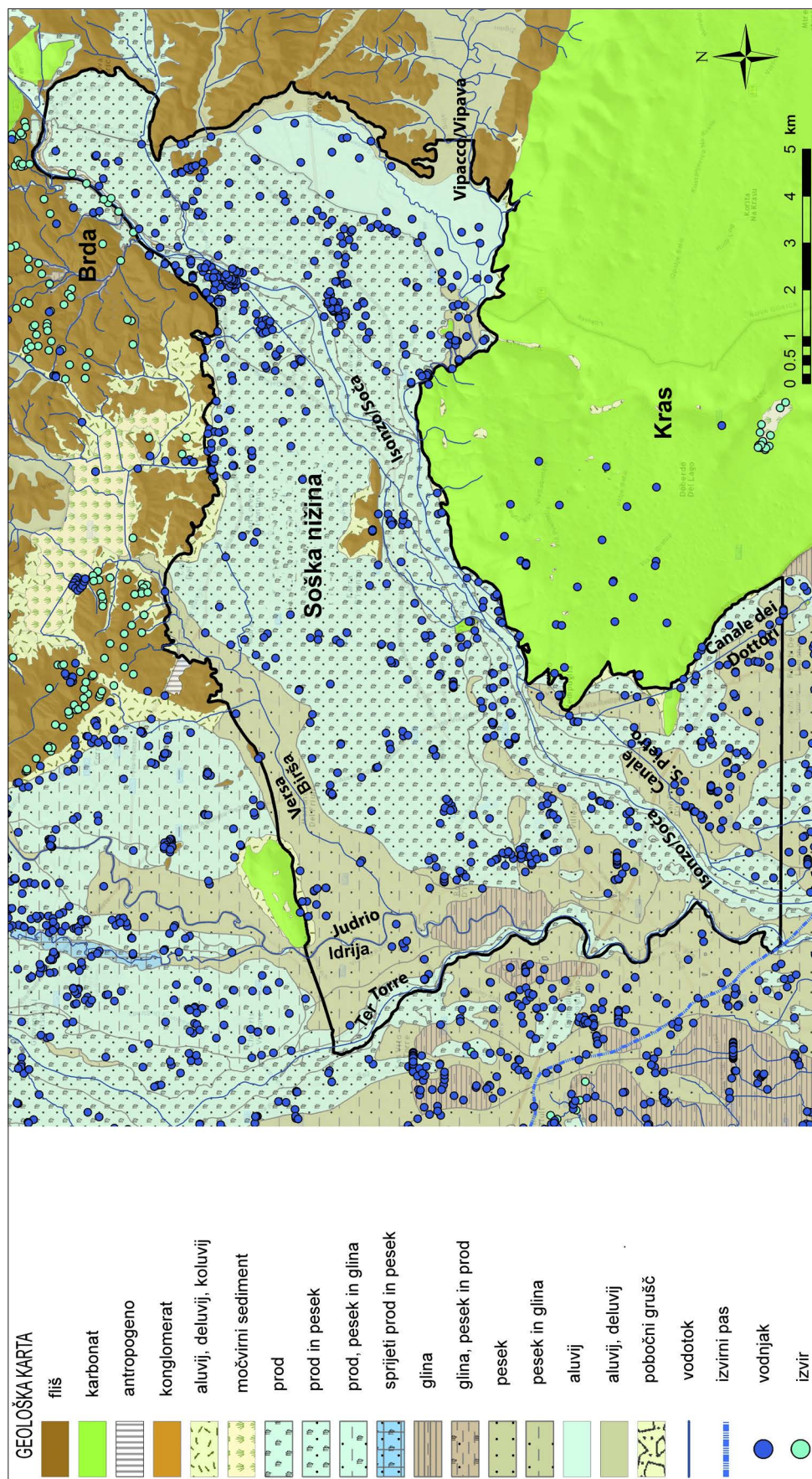
1.4 HIDROGEOLOGIJA ZGORNJE SOŠKE NIŽINE

Luca Zini, Franco Cucchi, Francesco Treu, Sara Biolchi, Chiara Boccali, Silvia Cleva, Enrico Zavagno (DMG-UniTS), Marco Borga, Francesco Marra, Davide Zoccatelli, Giulia Zuecco (UniPD), Massimiliano Fazzini, Sabrina Russo, Carmela Vaccaro (UniFE)

1.4.1 ZGORNJA SOŠKA NIŽINA

Soška nižina je skrajni vzhodni del Furlanske nižine. Gradijo jo aluvialne naplavine, ki so jih v obdobju kvartarja odlagale reke Soča, Ter, Idrija, Birša in Vipava (slika 6). Tako imenovana linija vodnih izvirov (Fascia delle Risorgive) jo deli na Zgornjo Soško nižino na severu in Spodnjo Soško nižino na jugu.

Na severu in severovzhodu omejujejo Zgornjo Soško nižino gričevnati predeli Brd in Vrtojbe, ki so zgrajeni iz laporjev in peščenjakov flišne formacije, na vzhodu prodni nanosi reke Ter, na jugovzhodu



Slika 6: Zgornja Soška nižina: območje raziskave (črna obroba), vrtine (modre pike), izviri (zelene pike).

pa apnenčaste vzpetine Krasa. Za ta del nižine so značilni debelozrnati prepustni sedimenti, ki zaradi padavin in precejanja rečnih voda vsebujejo velike količine podzemne vode. Reki Ter in Idrija sta namreč večji del leta suhi, reka Soča pa izgubi skoraj tretjino svojega pretoka ob preplavljanju bregov.

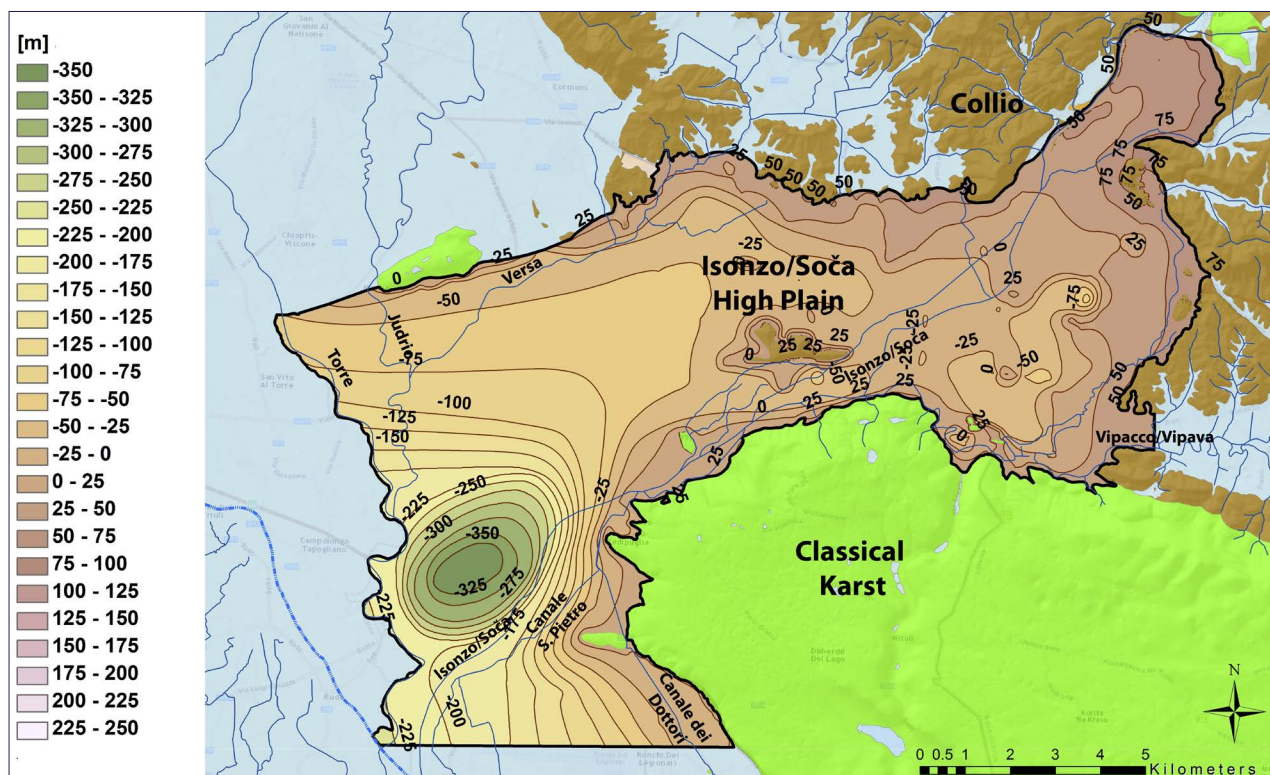
V južnem predelu prehaja ta odprti vodonosnik v številne višje in nižje ležeče zaprte vodonosnike, ki so rezultat menjavanja drobnozrnatih (mulj in glina) in debelozrnatih usedlin (pesek in prod), značilnih za spodnji del nižine. Zaradi tega postopnega zmanjševanja prepustnosti v južnem delu pronica del podzemne vode na površje vzdolž t. i. linije vodnih izvirov.

Celotno območje obsega približno 147 km² in zajema 23 občin – 20 v Italiji in 3 v Sloveniji. Vzdolž aluvialnih naplavin se nahaja približno 1550 vrtin; 31,8 % le-teh je namenjenih gospodinjstvom, 23,5 % neznanim uporabnikom, 15 % industriji, 6,8 % kmetijstvu in namakanju, 5,4 % črpanju pitne vode in vodovodom, 0,5 % ribogojnicam, 3 % mehanskemu sondiranju in preostalih 14 % drugim rabam. Količina vse črpane vode znaša skoraj 2 m³/s.

1.4.2 KAMNINSKA PODLAGA

Za izdelavo hidrogeološkega modela je bilo potrebno rekonstruirati obliko vodonosnika v Soški nižini in tako določiti strukturo kamninske podlage, ki jo na severu tvorita peščenjak in lapor eocene starosti, na jugu pa apnenci iz obdobja krede in paleogena. Za izdelavo tovrstnega modela smo uporabili različne podatke: 243 litostratigrafskih popisov vrtin (od teh jih 55 sega do kamninske podlage), 197 vertikalnih električnih sondiranj (od teh jih 47 sega do kamninske podlage), podatke iz literature, tri povsem na novo izdelane potresne profile in tri električne tomografije.

Na karti izobat (črt, ki povezujejo točke na enaki globini) je vidna kompleksna morfologija kamninske podlage, za katero so značilne doline in vzpetine, ki so rezultat erozijskih procesov in tektonskih premikov v preteklosti (slika 7). V depresiji južno od Gorice je podlaga na globini več kot -100 m, v globeli, ki se začneja v občini Marjan na -50 m pa se postopno niža vse do -350 m na območju Vileša.



Slika 7: Karta izobat: višina kamninske podlage, označena vsakih 25 metrov in zapisana s povprečno vrednostjo nadmorske višine.

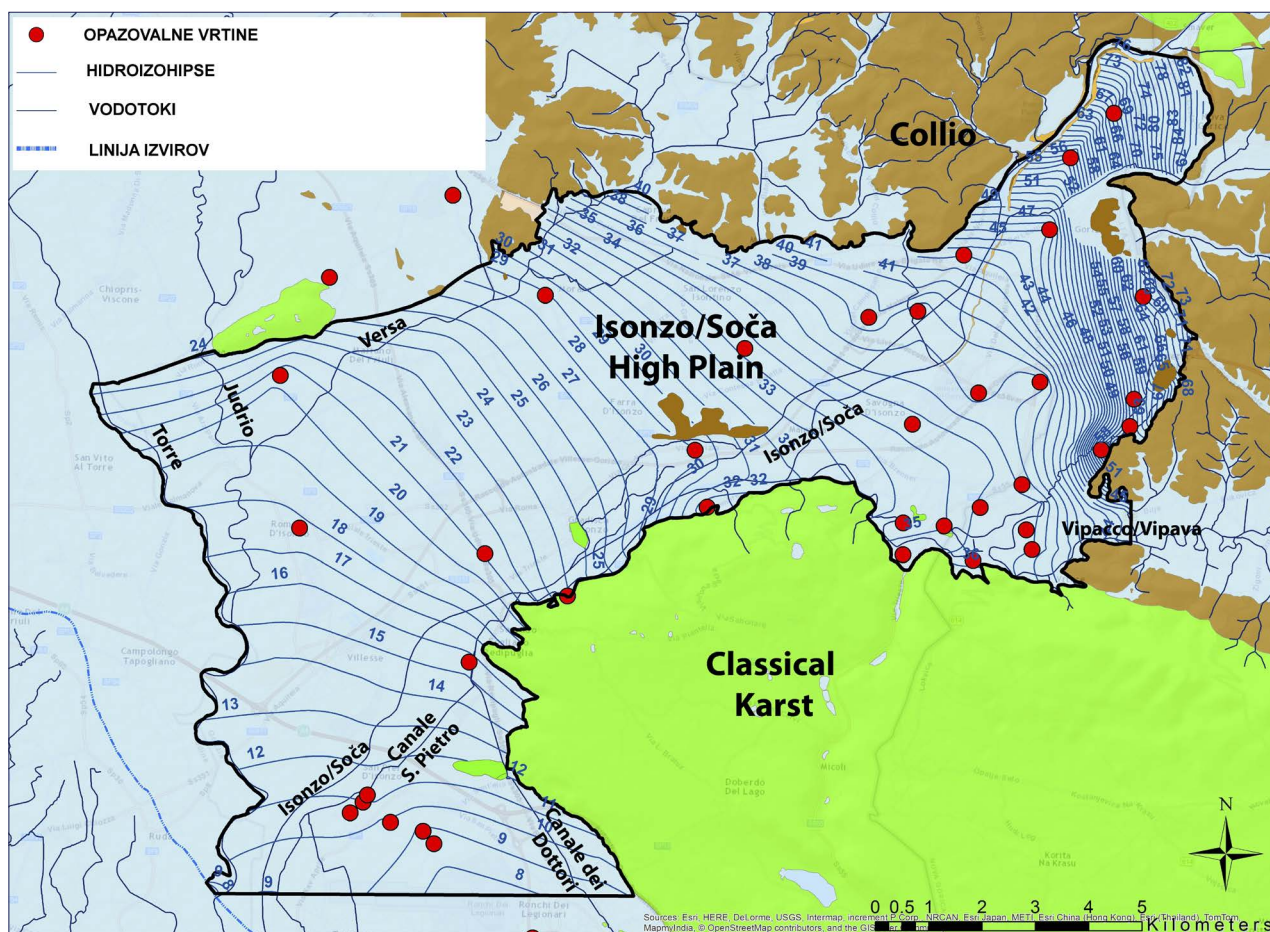
Karta izopah (črt, ki povezujejo točke z enako debelino plasti) naplavin, ki jo dobimo tako, da v digitalnem modelu reliefa (DMR) odštejemo vrednost izobat, kaže, da debelina usedlin v nižini dosega 100 m v depresiji južno od Gorice, 75 m na območju med Faro in Medejo in več kot 350 m na predelu Vileša.

1.4.3 HIDRODINAMIČNE IN HIDROKEMIČNE ZNAČILNOSTI

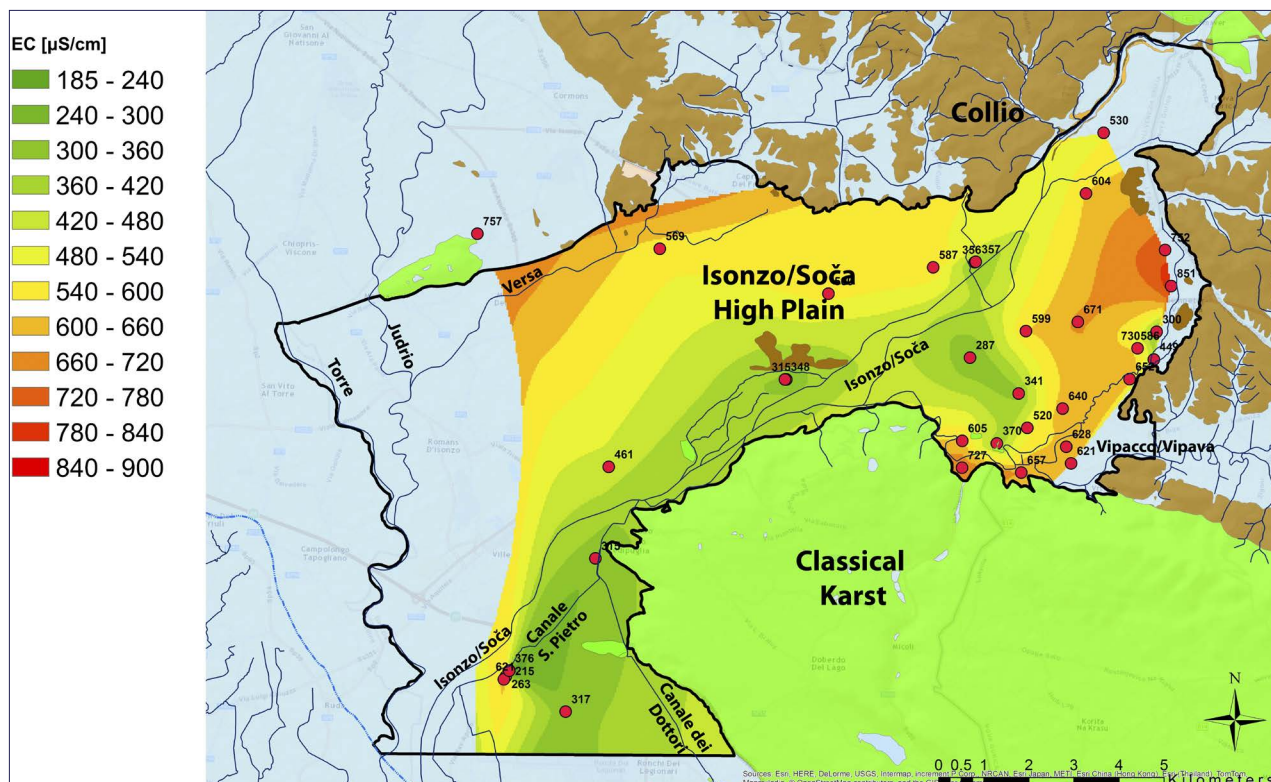
Pri ocenjevanju hidrodinamičnih značilnosti modela Zgornje Soške nižine smo uporabili podatke iz literature ter izsledke preteklih in dodatno izvedenih meritev. Na podlagi gladin podzemne vode, izmerjenih v približno 40 vrtinah v obdobju od decembra 2012 do februarja 2014, smo izdelali različne karte hidroizohips (črt, ki povezujejo točke z enako gladino podzemne vode) – na primer ob suši avgusta 2013 in ob najvišji gladini podzemnih voda v prvi tretjini februarja 2014 (slika 8). Karta kaže na splošno smer odtoka podzemne vode, ki je povečini vzporeden vodotokom in gre torej najprej od vzhoda proti zahodu in nato proti jugu. Opaziti je odtok proti doberdobskemu Dolu, kar je verjetno posledica morfologije kamnite podlage, ki se postopno spreminja v kraško.

Pri ocenjevanju hidrokemijskih lastnosti modela Zgornje Soške nižine smo uporabili podatke kemijskih (koncentracije glavnih ionov in elementov v sledih) in izotopskih analiz (stabilni izotopi vode ^{18}O in ^2H), ki smo jih pridobili iz literature, preteklih opazovanj in iz namenskega vzorčenja.

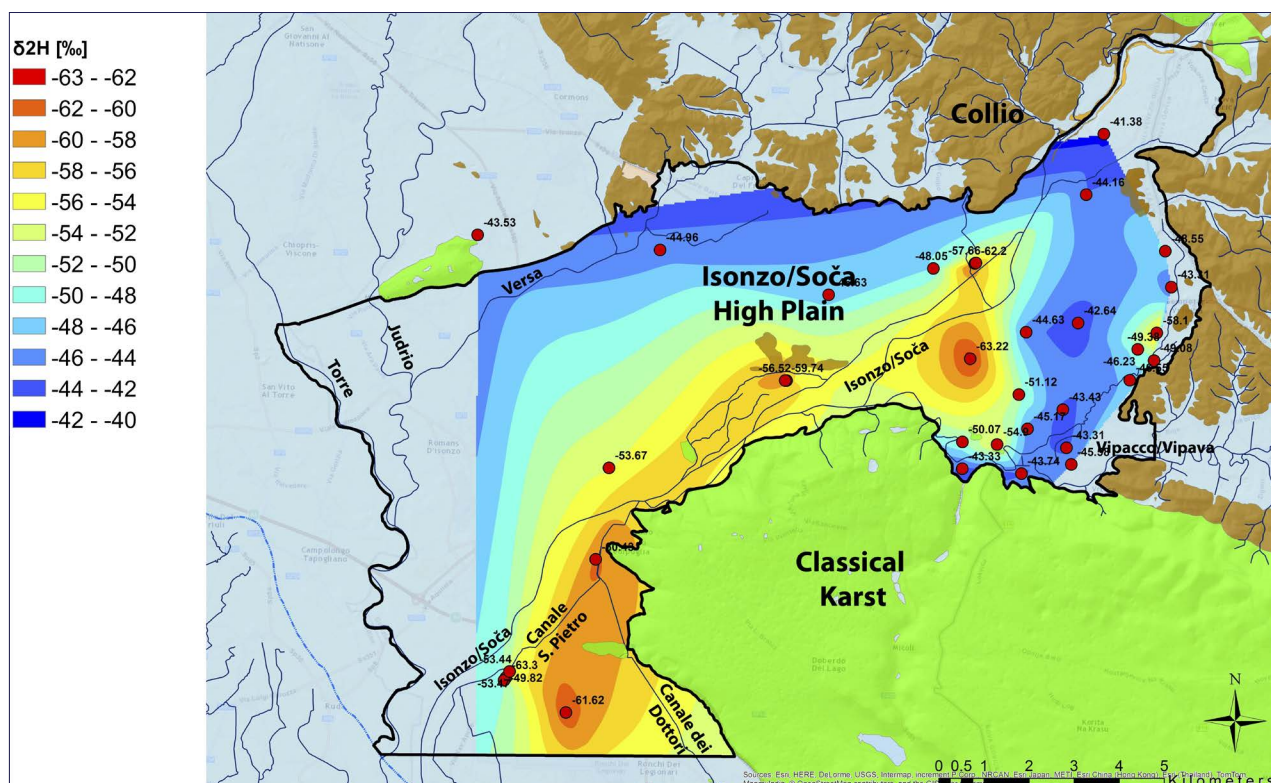
Prevladujoči hidrokemijski tip podzemne vode je kalcijev in/ali magnezijev hidrogenkarbonat z bolj ali manj izrazito koncentracijo sulfatov in je skladen z litološkimi značilnostmi območij, v katerih prevladujeta apnenec in dolomit. Porazdelitev koncentracije nitratov in drugih elementov nazorno kaže, da



Slika 8: Karta hidroizohips v času najvišje gladine podzemne vode v prvi tretjini februarja 2014. Rdeče pike predstavljajo opazovalne vrtine, modre črte so hidroizohipse (gladina podzemne vode je izražena v metrih povprečne nadmorske višine).



Slika 9: Karta razporeditve vrednosti električne prevodnosti EC [$\mu\text{S}/\text{cm}$] za mesec julij 2013. Rdeče pike predstavljajo opazovalne vrtine.



Slika 10: Karta porazdelitve devterija (vrednosti so izražene v ‰) za mesec julij 2013. Rdeče pike predstavljajo opazovalne vrtine.

vsebuje podzemna voda vzdolž reke Soče majhne koncentracije teh elementov, kar je rezultat redčenja, medtem ko je v bolj oddaljenih predelih bogatejša z njimi (slika 9).

Do podobnih zaključkov pridemo tudi z analizo spreminjanja razmerja izotopov kisika in vodika v prostoru. Najnižje vrednosti ^2H so zabeležene v bližini reke Soče, medtem ko izkazuje podzemna voda na levi in predvsem na desni strani reke manj negativno izotopsko sestavo (slika 10). Voda reke Soče, ki se napaja s padavinami z območij večjih nadmorskih višin, ima zelo negativne vrednosti, medtem ko so vrednosti padavin v nižini manj negativne.

1.4.4 PODNEBNE ZNAČILNOSTI

Pri določitvi letne količine efektivnih padavin smo upoštevali obdobje med letoma 1981 in 2010 ter uporabili meritve dnevnih količin padavin 15 postaj in meritve dnevnih temperatur 10 postaj, tako italijanskih kot slovenskih (tabela 2).

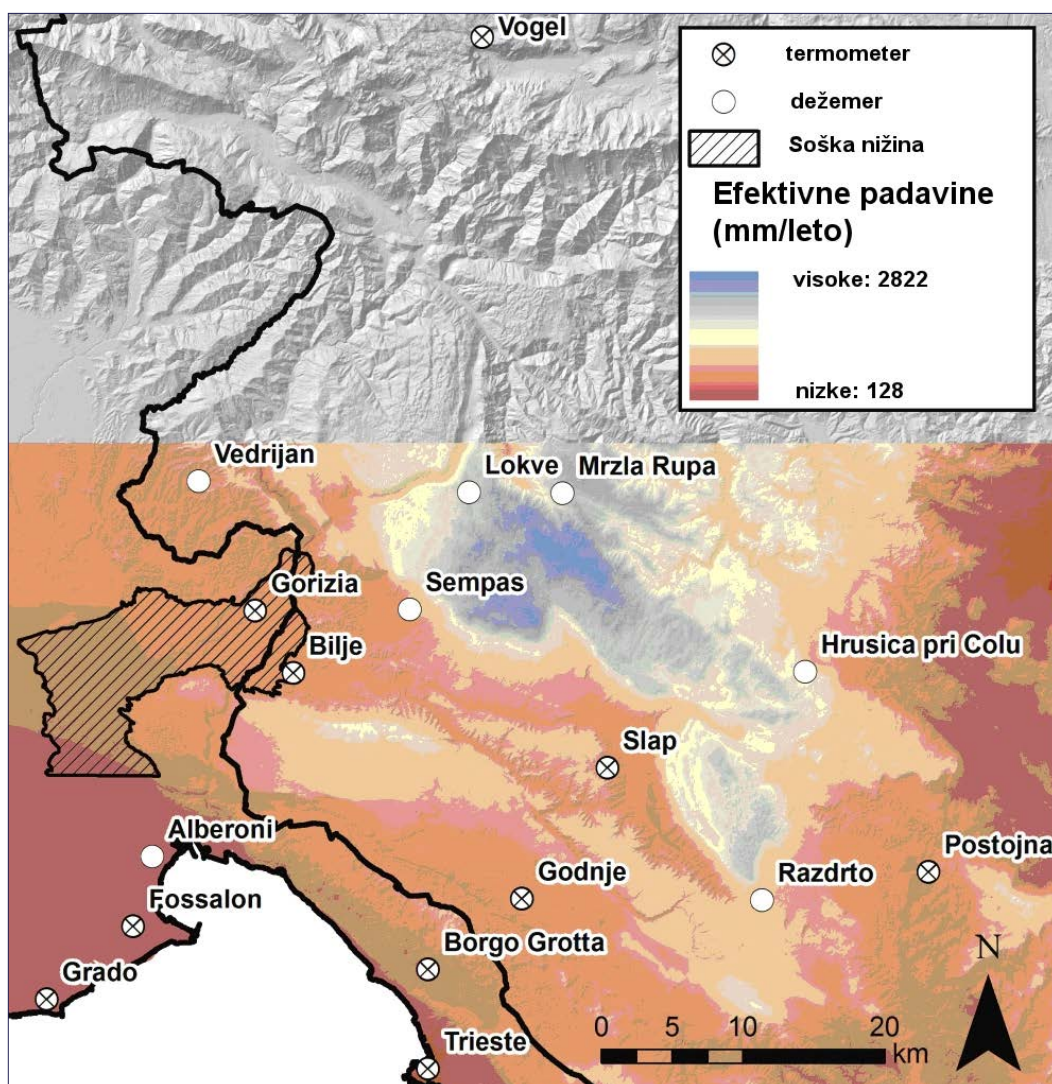
Tabela 2: Padavinske in temperaturne postaje.

Postaja	Nadmorska višina (m)	Povprečne letne padavine 1981-2010 (mm)	Povprečna letna temperatura 1981-2010 (°C)
Alberoni	-1	1053	-
Bilje	49	1379	12,3
Briščiki (Borgo Grotta)	274	1212	12,2
Fossalon	0	1007	13,9
Godnje	327	1370	11,3
Gorica (Gorizia)	61	1364	13,6
Gradež (Grado)	1	965	14,6
Hrušica pri Colu	865	1895	-
Lokve	970	2312	-
Mrzla Rupa	954	2572	-
Postojna	554	-	9,1
Razdrto	564	1528	-
Šempas	124	1446	-
Slap	172	1434	12,1
Trst (Trieste)	34	965	15,0
Vedrijan	247	1609	-
Vogel	1535	-	4,7

Analize podatkov o padavinah, izmerjenih v obdobju tridesetih let, so pokazale, da imata padavinski postaji Mrzla Rupa in Lokve v povprečju največjo skupno mesečno količino padavin skozi vse leto ter najvišje povprečje letnih padavin. Najnižje skupno mesečno količino padavin in povprečne letne padavine imata postaji Trst in Gradež. Postaja Šempas najbolje predstavlja »povprečno sliko« skupne količine letnih padavin.

Iz analiz podatkov o padavinah poleg tega izhaja, da je najnižja poletna povprečna skupna količina padavin v mesecu juliju, medtem ko je najnižja zimska v mesecu februarju. Največjo skupno količino padavin spomladi beležimo navadno meseca junija, kar pa ne velja za postaji Mrzla Rupa in Lokve, kjer sta viška v mesecu aprilu (Mrzla Rupa) in maju (Lokve). Postaje, ki ležijo nižje od 100 m, beležijo največjo jesensko skupno količino padavin v septembru, ostale postaje pa od oktobra do novembra.

Iz podatkov o temperaturi je razvidno, da je povprečna letna temperatura najvišja v Trstu in Gradežu, najnižjo pa sta zabeležili postaji, ki ležita na višji nadmorski višini oziroma v notranjosti dežele, in sicer Vogel in Postojna. Postaja Slap je najbolj reprezentativna postaja za ugotavljanje povprečne letne temperature. Mesec z najnižjimi povprečnimi temperaturami je januar, medtem ko so najvišje v mesecu juniju.



Slika 11: Karta efektivnih padavin.

Da bi ugotovili prostorsko razporeditev padavin in temperatur območja glede na njegove orografske značilnosti, smo z metodo kokrigiranja preučili razmerja med nadmorsko višino postaj, padavinami in povprečnimi letnimi temperaturami.

Efektivne padavine (P_e) v Zgornji Soški nižini in v njeni bližini (slika 11) smo izračunali po formuli:

$$P_e = P - E_r$$

kjer je E_r povprečna letna evapotranspiracija in P povprečna letna količina padavin. Povprečno letno evapotranspiracijo smo določili s Turcovo metodo.

1.4.5 NARAVNA RANLJIVOST

Naravna ranljivost je sposobnost vodonosnika, da sprejme, razširi in tudi razredči ter s tem zmanjša učinke snovi, ki lahko v prostoru in času vplivajo na kakovost podzemnih voda.

Za določanje naravne ranljivosti vodonosnikov Zgornje Soške nižine smo uporabili metodo SINTACS, sistem z ocenami in utežmi, ki upošteva sedem parametrov: globino do gladine podzemne vode (S), efektivno infiltracijo (I), lastnosti nezasičene cone (N), lastnosti tal (T), hidrogeološke značilnosti vodonosnika (A), prepustnost vodonosnika (C) in naklon pobočja (S).

Vsakemu parametru, ki se deli na vrednostne intervale, so dodeljene vrednosti med 1 in 10 glede na pomen, ki ga ima pri splošnem ocenjevanju ranljivosti. Območje je torej razdeljeno na celice; vsaki od teh je dodeljena vrednost, ki je seštevek ocen vseh sedmih parametrov, pomnoženih z ustrežno utežjo glede na hidrogeološke razmere. Z normalizacijo vrednosti celice (100) dobimo karto naravne ranljivosti, ki jo na podlagi ocen razdelimo v šest razredov: zelo nizka (od 0 do 24), nizka (od 24 do 36), srednja (od 36 do 49), visoka (od 49 do 69), zelo visoka (od 69 do 79) in ekstremno visoka ranljivost (od 79 do 100). Območje raziskave v projektu GEP je bilo razdeljeno na celice v izmeri 10 metrov.

Globina do gladine podzemne vode (S) je bila določena tako, da so bile digitalnemu modelu reliefa (DMR) odštete vrednosti hidroizohips v času najvišje gladine podzemne vode februarja 2014. Dobljene so bile vrednosti od nekaj metrov vzdolž strug vodotokov in v najnižjih predelih do več kot 35 metrov na območju Gorice.

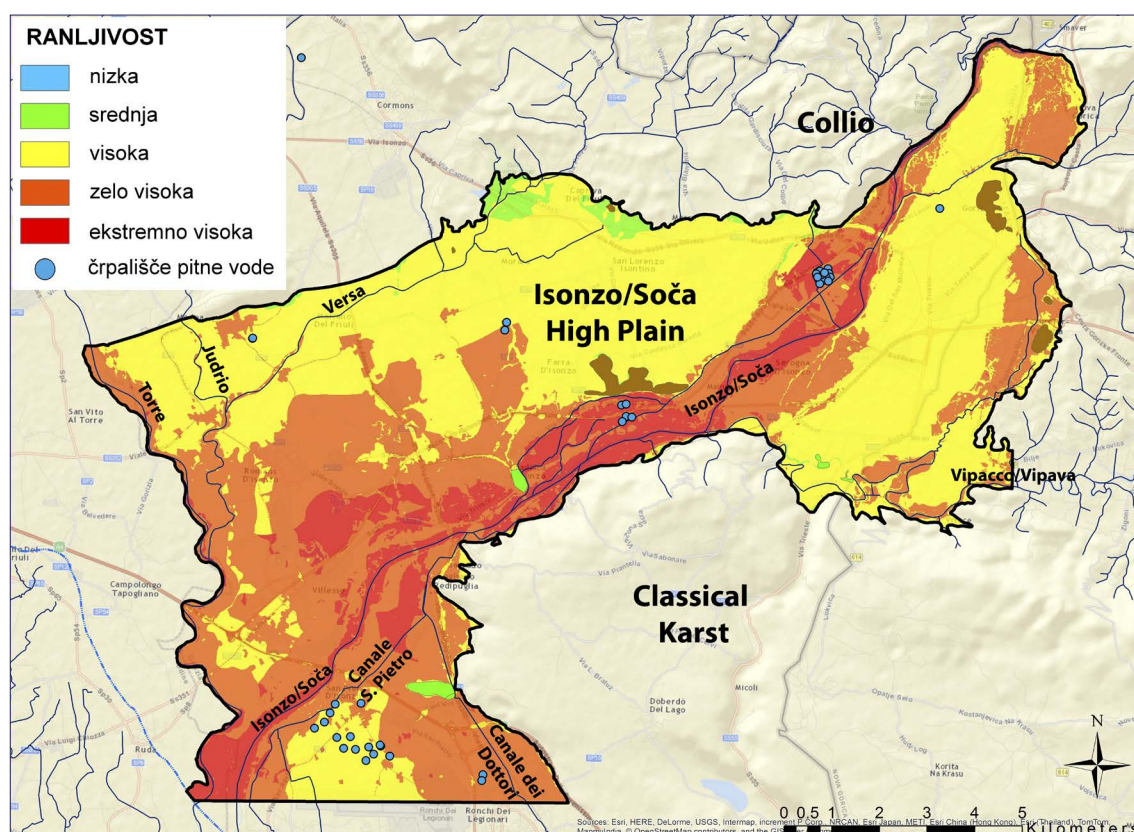
Podatek o efektivni infiltraciji (I) pridobimo na podlagi karte efektivnih padavin za zadnjih 30 let. Infiltracija se spreminja od 40 do 700 mm letno glede na prepustnost površja.

Na osnovi podatkov 210 litostratigrafskih profilov vrtin so bile določene lastnosti nezasičene cone (N). Upoštevani so bile le odseki med površjem in najvišjo gladino podzemne vode. Določene so bile vrednosti od 5 do 9.

Prav tako je bilo 210 profilov vrtin, a z upoštevanjem območja zasičene cone, uporabljenih za oceno hidrogeoloških značilnosti vodonosnika (A). Določene so bile vrednosti od 6 do 9.

Za izračun zadrževalne kapacitete tal (T) je bila uporabljena pedološka karta. Vsaki celici je bila dodeljena vrednost glede na tip prsti.

Za oceno hidravlične prevodnosti K (C) smo izvedli tri poskusna črpanja na vodonosniku in štiri slug teste, poleg tega pa smo uporabili tudi okvirno metodo specifičnega pretoka. Hidravlična prevodnost je visoka; vrednosti se gibljejo od 10^{-2} do 10^{-4} m/s, ocene pa od 7 do 10.



Slika 12: Karta ranljivosti.

Z digitalnim modelom reliefa je bila izdelana karta naklonov površja. Na obravnavanem območju so vrednosti na splošno zanemarljive, zato so ocene naklonov pobočij (S) visoke.

S seštevkom sedmih kazalnikov SINTACS in z normalizacijo rezultata (100) smo dobili karto naravne ranljivosti (slika 12), iz katere izhaja, da ima 11 % pregledanega območja ekstremno visoko stopnjo ranljivosti, 37 % zelo visoko stopnjo, 49 % visoko, 2 % srednjo in 1 % ozemlja nizko stopnjo ranljivosti. Na splošno je ranljivost večja v nižinskih predelih z visokimi vrednostmi hidravlične prevodnosti ob majhnih globinah do gladine podzemne vode. Upoštevati moramo dejstvo, da so vodovodi postavljeni v zelo ranljivih območjih.

1.4.6 OGROŽENOST

Onesnaženost podzemnih voda v času in prostoru je skoraj vedno posredno ali neposredno povezana s človekovimi dejavnostmi. Vire onesnaževanja predstavljajo namreč različne dejavnosti, npr. industrija, kmetijstvo, promet in gospodinjstva. Glede na prostorski obseg govorimo o omejeni nevarnosti (na primer poškodovana vrtina) in razširjeni nevarnosti za onesnaženje (na primer kmetijske površine). Z namenom dopolnitve karte naravne ranljivosti smo zato na novo zbrali in digitalizirali podatke o vseh virih onesnaževanja na obravnavanem območju, predvsem o odpadnih vodah, komunalnih odpadkih, skladiščenju tekočin, prometu in transportu, rekreativnih dejavnostih, črpanju (dejavnost v teku ali opuščena), industrijskih skladiščih, živinoreji, kmetijstvu in o drugih občin nevarnostih. Karta ponuja posodobljeno splošno sliko potencialnih območij nevarnosti.

Z namenom določitve primernosti zaščite podzemnih vodnih virov smo za vsako lokacijo ocenili stopnjo nevarnosti za onesnaženje. Med različnimi metodami določevanja uteži za ovrednotenje učinka posameznih virov onesnaževanja smo izbrali točkovne sisteme, ki omogočajo hitro oceno potencialne onesnaženosti virov pitne vode zaradi teh obremenitev.

Zahvala

Za sodelovanje in izkazan trud se zahvaljujemo:

AcegasApsAmga s.p.a., ARPA FVG Laboratorio e Dipartimento di Gorizia, ARPA FVG Laboratorio Unico Multisito, ARPA FVG Sede Centrale, Irisacqua S.r.l., Servizio disciplina servizio idrico integrato, gestione risorse idriche, tutela acque da inquinamento - R.A.F.V.G., Servizio Geologico - R.A.F.V.G.

1.5 IZDELAVA HIDROGEOLOŠKIH MODELOV

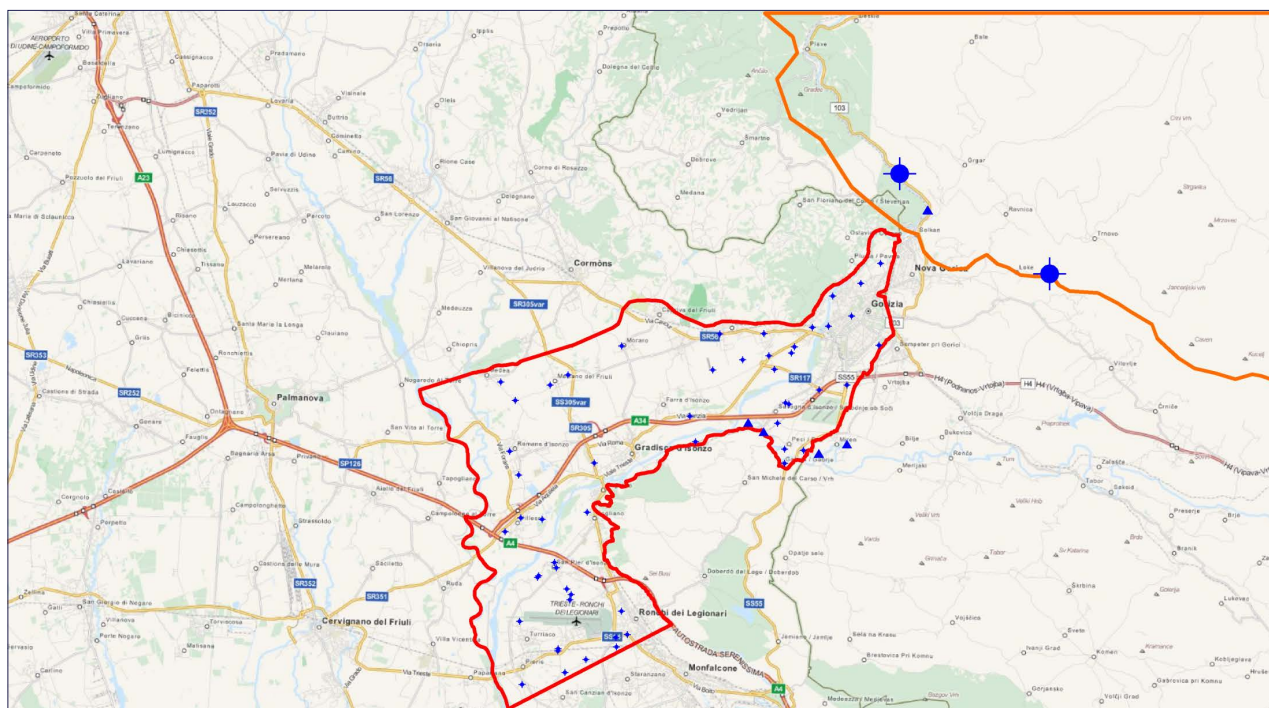
Goran Vižintin (NTF UL), Nataša Ravbar, Metka Petrič (IZRK ZRC SAZU), Jože Janež (Geologija d.o.o.)

1.5.1 MODELSKA ORODJA

Modelska orodja so namenjena izračunu časov in prikazu smeri ogrožanja vodnih virov na območju Trnovsko-Banjške planote in aluvija Soške nižine. Na območju projekta GEP imamo kamnine z medzrnsko, razpoklinsko in kraško razpoklinsko poroznostjo. Za celotno območje je značilno, da kraško razpoklinske kamnine Trnovsko-Banjške planote delujejo kot veliki zbiralniki padavinske vode, ki na robovih planote v nekaj večjih izvirih priteka na površje, se preko površinskih vodotokov drenira v reko Sočo in od tu naprej v Jadransko morje.

Pri postavitvi modelov je bilo predvsem pomembno razumeti naravno pot vode vse od njenega pojava v padavinski obliki, pronicanja skozi tla, formiranja vodnih horizontov v kamninah, njenega izviranja na površje in na koncu njenega odtoka proti morju preko površinskih rek (Vipava in Soča). Reka Soča se pretaka po prodnato peščenih zasipih, bogatih s podzemno vodo, ki se na italijanski strani uporablja tako za vodooskrbo kot tudi za druge rabe.

Pisanost različnih tipov kamnin zahteva, da se modeliranje toka podzemne vode in prenosa snovi izvede na različne načine. Tako iz prakse poznamo, da matematično modeliranje toka in transporta snovi v



Slika 13: Prikaz območja modeliranja. Majhne modre točke so piezometri v aluviju, modri trikotniki so rečne postaje, modri veliki točki pa kraška izvira (Mrzlek – zahodna in Lijak – vzhodna). Rdeča črta označuje meje modela toka podzemne vode v aluviju, oranžna pa meje kraškega območja.

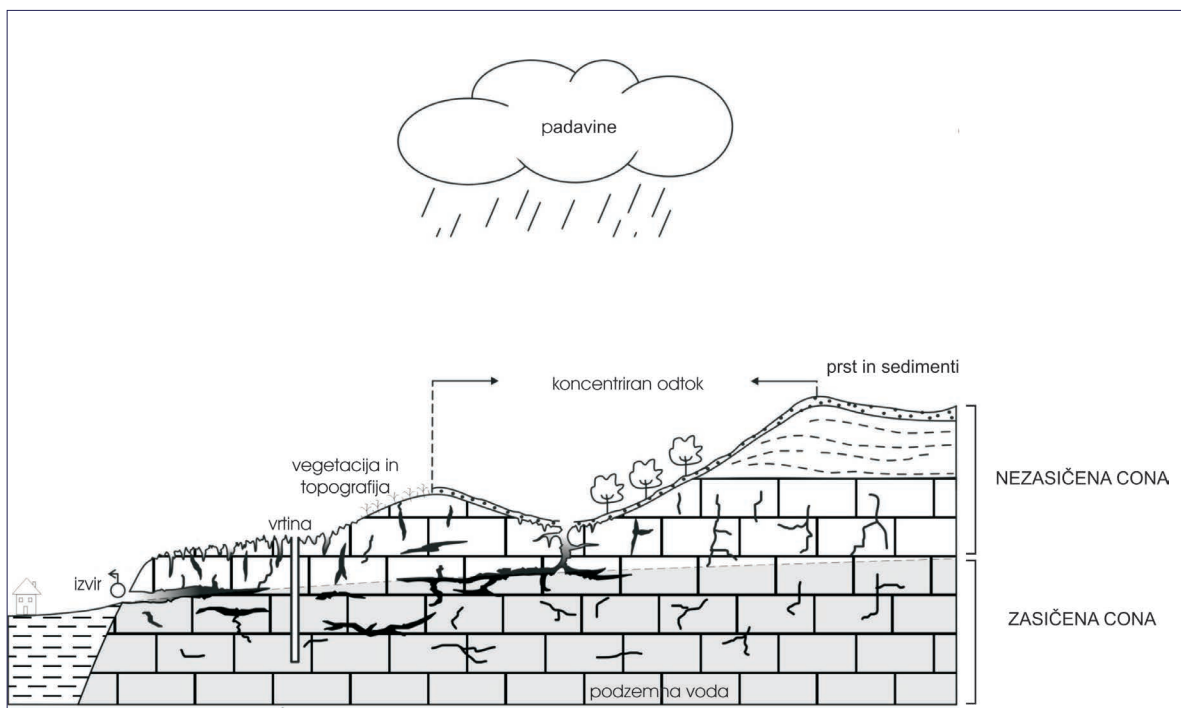
podzemni vodi v kraško razpoklinskih kamninah ne daje želenih rezultatov, zato smo si tam pomagali z različnimi raziskovalnimi metodami kraške hidrogeologije, predvsem s sledilnimi poskusi. Povsem drugačna zgodba pa je na peščeno prodnatih kamninah, kjer je uporaba matematičnega modeliranja že dolgo v uporabi. Poleg teh dveh posebnosti moramo omeniti še tretjo, ta je povezana z glavnima drenažama tega območja, rekama Vipavo in Sočo. Prav ti dve reki poskrbita, da je zbrana padavinska voda na kraški Trnovsko-Banjski planoti povezana s podzemno vodo Soške nižine in Krasa, ki se nahaja na jugovzhodnem robu območja projekta GEP (slika 13). Obe reki s sabo prenašata tudi vsa morebitna onesnaženja.

V kratkem bi lahko povzeli, da območje modeliranja sestavljajo pestri naravni pogoji, ki onemogočajo izdelavo enotnega modela prenosa snovi od izvora do uporabnika, zato izdelava enega numeričnega modela za celotno območje ne pride v poštev.

Namesto neobvladljivega enotnega numeričnega modela smo izdelali sistem modelov, ki kamnine z različno poroznostjo povezuje v sistem modelskih orodij. Osnovna zamisel je postavljena na oceni časov in smeri potovanja onesnaženja od mesta izrednega dogodka do vodnega vira. Hkrati smo se odločili, da bomo računali najkrajše možne čase v razmerah stalnega napajanja območja s padavinsko vodo, ko je sposobnost morebitnega zadrževanja onesnaževal v kamnini minimalna (najslabši možni scenarij). Za uporabo tega pristopa smo morali najprej določiti smeri in hitrosti potovanja onesnaženja. Za kraški vodonosnik Trnovsko-Banjske planote smo uporabili različne raziskovalne metode in na osnovi primerjave zbranih rezultatov izdelali karto izohron, na kateri so predstavljene linije, ki povezujejo točke z enakim časom, potrebnim, da voda pride do izbranega kraškega izvira.

1.5.2 KARTA IZOHRON ZA KRAŠKI VODONOSNIK TRNOVSKO-BANJSKE PLANOTE

V preteklih letih so bile v številnih projektih opravljene osnovne geološke, geomorfološke, speleološke, hidrogeološke, meteorološke in hidrološke raziskave, bolj podrobne študije pa so vključevale tudi hidrokemijske analize in sledilne poskuse (Placer in Čar 1974, Habič 1982, Habič 1987, Čar in Gospodarič 1988, Janež in Čar 1990, Kranjc 1997, Janež s sodelavci 1997, Trček 2003, Turk s sodelavci 2013). V



Slika 14: Shematski prikaz kraškega vodonosnika in parametri, ki vplivajo na ranljivost podzemne vode ali vodnega vira. (Prirejeno po Andreo s sodelavci 2009.)

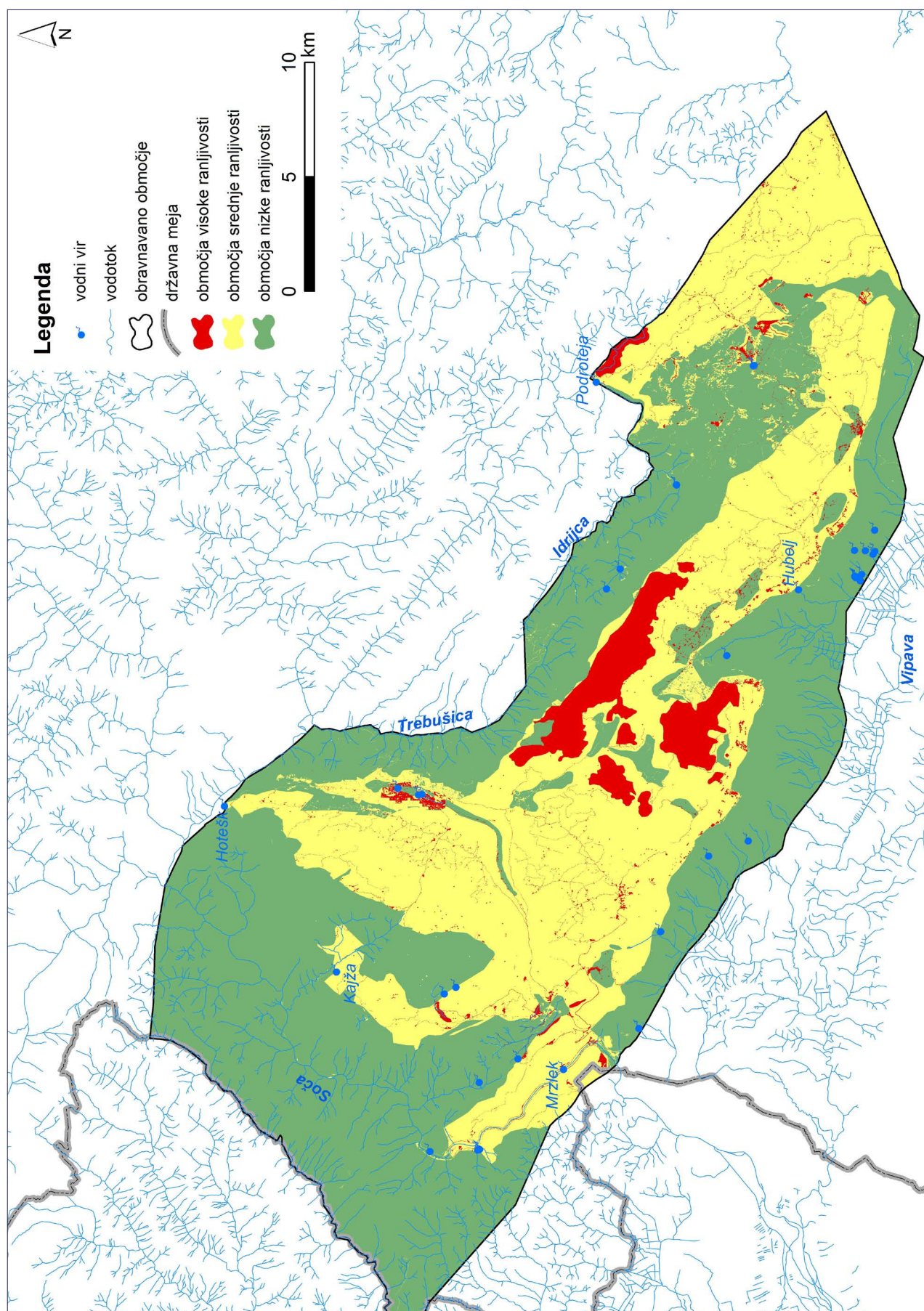
projektu GEP smo zbrali vse obstoječe podatke, jih kritično ovrednotili in dopolnili s potrebnimi novimi terenskimi raziskavami.

Z uporabo različnih programskih orodij (ArcGIS 10.1, QGIS 2.2) smo izdelali hidrogeološki model, ki povezuje podatke o hidrogeoloških značilnostih območja, razmerjih med območji različne prepustnosti in ranljivosti, ugotovljenih smereh in hitrostih podzemnega pretakanja vode, prispevnih zaledjih posameznih vodnih virov, ipd. Osnovne informacije o značilnostih pretakanja vode in najpomembnejših vodnih virih na območju Trnovsko-Banjške planote povzema hidrogeološka karta (slika 2). Nadgradili smo jo z izdelavo karte ranljivosti, na kateri so določena območja z različno verjetnostjo onesnaženja podzemne vode glede na ugotovljene naravne razmere in z izdelavo karte izohron, iz katere je možno razbrati ocenjeni najkrajši čas potovanja morebitnega onesnaženja z izbrane točke na površju do posameznih vodnih virov.

Koncept kartiranja in ocenjevanja ranljivosti se vse pogostejše uporablja za učinkovito varovanje kraških vodnih virov, saj omogoča razlikovanje območij z različnimi stopnjami ranljivosti oziroma samočistilne sposobnosti. Tako ločuje med območji z visoko ranljivostjo, s katerih lahko onesnaževalo hitro in nerazredčeno doseže izvir, in območji z nizko ranljivostjo, s katerih onesnaževalo potuje do izvirov dlje časa in lahko na svoji poti tudi degradira. Rezultat so karte, kjer so različne stopnje ranljivosti simbolično prikazane z različnimi barvami. Pri izdelavi smo uporabili metodo Slovenski pristop (Ravbar 2007, Ravbar in Goldscheider 2007), ki se je že večkrat izkazala za uporabno. Ranljivost je bila ocenjena na podlagi dejavnikov, ki vplivajo na pretakanje infiltrirane vode od površja do izvirov (slika 14). To so geološke, geomorfološke, speleološke, hidrogeološke, pedološke in vegetacijske značilnosti Trnovsko-Banjške planote. Upošteevane so bile tudi meteorološke razmere območja ter raba tal.

Karta ranljivosti za izbrano območje Trnovsko-Banjške planote je bila izdelana za območje prispevnega zaledja petih pomembnejših kraških izvirov: Mrzleka, Kajže, Hoteška, Hublja in Podroteje (slika 15).

Izdelana karta ranljivosti predstavlja osnovo za analizo širjenja morebitnih onesnaževal proti najpomembnejšim virom pitne vode. Zanje smo z uporabo metode KARSYS določili obseg prispevnih zaledij ter smeri glavnih tokov med območji napajanja in izviri (Turk s sodelavci 2013). Z analizo spreminjanja

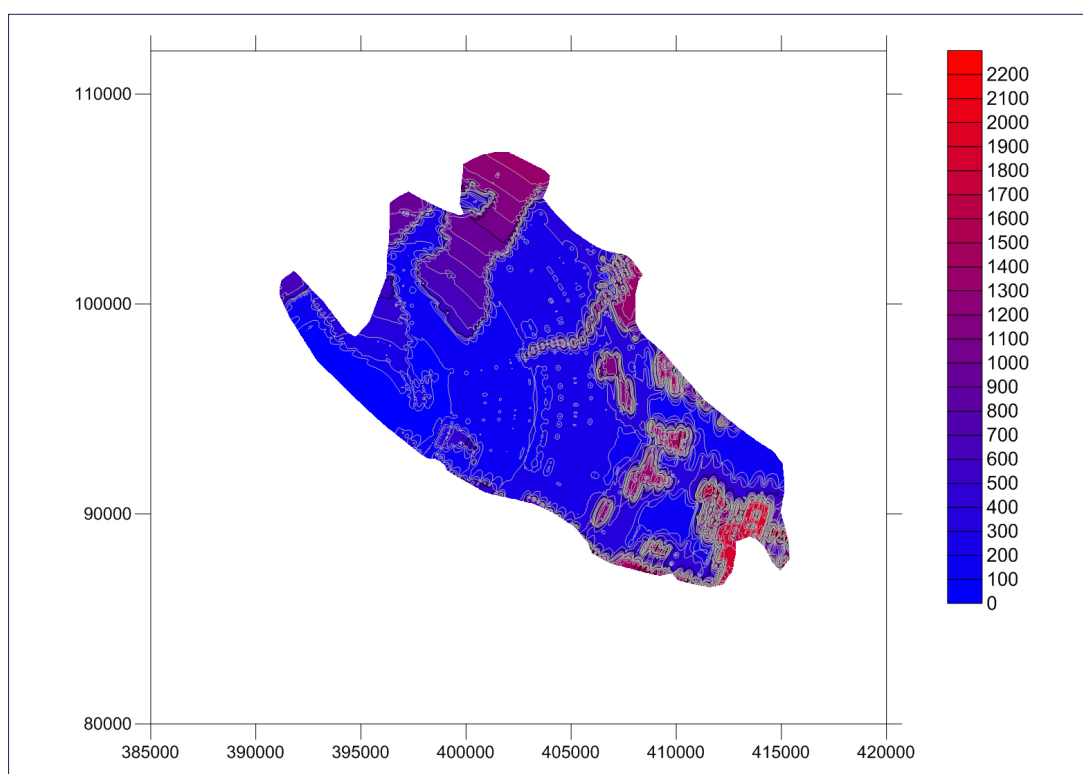


Slika 15: Karta ranljivosti za izbrano območje Trnovsko-Banjske planote.

fizikalnih parametrov izvirov (pretok, temperatura, specifična električna prevodnost) smo ocenili hitrosti in značilnosti njihovega odziva na padavinske dogodke, na tej podlagi pa sklepali tudi o značilnostih pojava morebitnega onesnaženja. Najpomembnejše informacije o načinu prenosa teh snovi v kraškem vodonosniku pa so dali sledilni poskusi. V preteklih letih so bila na območju Trnovsko-Banjške planote izvedena številna sledenja z uporabo različnih umetnih sledil, različnimi načini injiciranja in ob različnih hidroloških pogojih (Habič 1982, Habič 1987, Kranjc 1997, Janež s sodelavci 1997). Podrobno smo analizirali njihove rezultate in se zaradi nezanesljivo določene razvodnice med Podrotejo in Hubljem odločili za nov sledilni poskus v okviru projekta GEP.

Na območju Malega polja pri Colu smo 24. aprila 2014 s površja v kraško razpoko injicirali 6 kg uranina in opazovali 7 izvirov na obrobju Trnovsko-Banjške planote. Sledilo se je pojavilo v izviri Podroteja in Divje jezero konec maja, najvišje koncentracije pa doseglo konec junija 2014. Glede na čas pojava najvišje koncentracije ($0,5 \text{ mg/m}^3$ v Podroteji in $0,37 \text{ mg/m}^3$ v Divjem jezeru) in zračno razdaljo med točko injiciranja in izviroma smo ocenili dominantno navidezno hitrost pretakanja do Podroteje na $6,7 \text{ m/h}$ in do Divjega jezera na $5,8 \text{ m/h}$. S sledilnim poskusom smo potrdili, da se podzemne vode z območja Malega polja ne stekajo proti izviru Hublja, ampak proti Podroteji in Divjemu jezeru. Ustrezno smo popravili obseg zaledja teh izvirov.

Pri vseh omenjenih poskusih ugotovljene hitrosti pretakanja vode smo primerjali s hidrološkimi pogoji v času sledenj. Z analizo vseh zbranih podatkov smo za območja različne stopnje ranljivosti na karti ranljivosti določili največje možne hitrosti pretakanja vode in prenosa snovi proti posameznim vodnim virom. Zbrane podatke smo povezali v karto izohron. Izolinije na tej karti predstavljajo najkrajše čase, v katerih se lahko morebitno onesnaženje z območja izrednega dogodka pojavi v posameznih izviri. Z vidika načrtovanja ukrepov upošteva najslabše možne razmere, ko sta ob visokem vodostaju in intenzivnih trenutnih padavinah pretakanje podzemne vode in prenos snovi v krasu najhitrejša in čas za učinkovito ukrepanje najkrajši. Iz karte lahko torej za izbrano točko razberemo, kateri vodni viri bi bili ob onesnaženju prizadeti in kakšen je predviden najkrajši čas potovanja onesnaževala do tega vira. Upošteva tudi posebno značilnost kraških vodonosnikov, da se lahko z določene točke vode in z njimi onesnaženje pretakajo proti več izvirov.

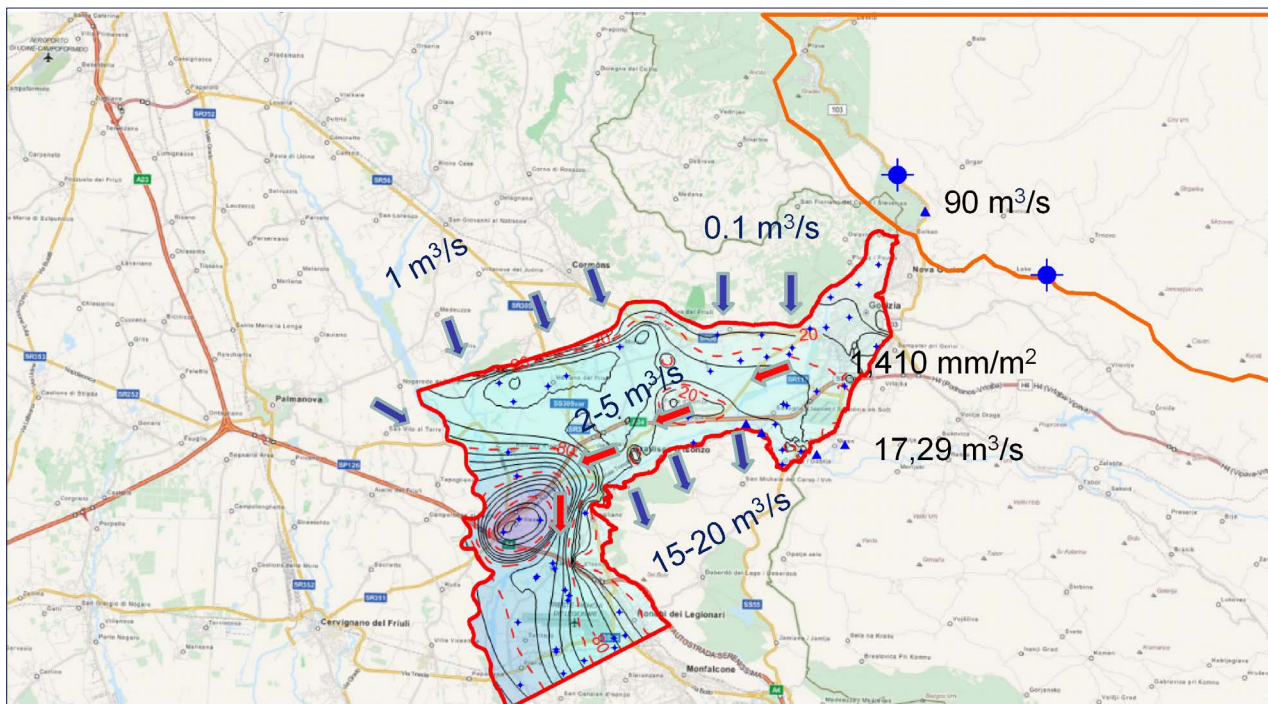


Slika 16: Časovni celični model, z urno skalo, primer za kraški izvir Mrzlek. (Koordinate po Y (proti severu): 374300 do 433650, po X (proti vzhodu): 73650 do 112050, velikost celice znaša 25 x 25 metrov.)

1.5.3 SKUPNI HIDROGEOLOŠKI MODEL

Tako dobljene vrednosti nam omogočajo, da onesnaženja, ki se zgodijo na območjih zaledij kraških izvirov in drugih površin, povežemo z deli reke Soče, kjer se njena voda infiltrira v aluvialne prodnato peščene zasipe Soške nižine (slika 18).





Slika 18: Model podzemne vode z vrisano podlago aluvija. Modre puščice prikazujejo iztoke v jugovzhodno kraško zaledje in dotoke na severozahodu, rdeče puščice pa ocenjene izgube reke Soče v aluvij. Majhne modre točke so piezometri v aluviju, modri trikotniki so rečne postaje, modri veliki točki pa kraška izvira (Mrzlek – zahodna in Lijak – vzhodna). Rdeča črta označuje meje modela toka podzemne vode v aluviju, oranžna pa meje kraškega območja.

Za izdelavo modela smo uporabili orodje Visual ModFlow 2011.1, verzijo 4.6.0.161, ki uporablja numerični model toka podzemne vode ModFlow (USGS). Numerični model temelji na reševanju diferencialne parcialne enačbe toka skozi porozni medij na osnovi metode končnih diferenc.

Končne diference za razumevanje in izdelavo programa so enostavne. Uporabljamo jih predvsem na področjih regionalnega 2D ali 3D modeliranja eno ali večplastnega sistema. Kljub temu, da lahko metode končnih diferenc za diskretizacijo prostora uporabljajo mreže različnih oblik, se v praksi pretežno obnesejo z mrežami enostavnih oblik. Po drugi strani pa so zelo uporabne v primerih heterogenih poroznih medijev, saj omogočajo dober opis problema, povezanega s heterogenostjo zgradbe vodonosnika z zgostitvami mreže na problematičnih delih modeliranega območja.

V peščeno prodnatih zasipih Soške nižine nastopa medzrnski vodonosnik s prosto gladino in z bogatimi zalogami podzemne vode. Koeficient prepustnosti (k) na območju Soške nižine znaša od $1 \cdot 10^{-4}$ do $1 \cdot 10^{-2}$ m/s. Koeficient S je ocenjen na vrednost 0,20, količina padavin znaša 1410 mm/a, količina evapotranspiracije pa je ocenjena na 700 mm/a. Razlika predstavlja direktno napajanje vodonosnika. Na samem območju smo imeli podatke iz piezometrov (slike 14 in 18), ki so nam služili za umeritev modela. Odvzeme smo upoštevali v obliki črpanih vodnjakov, s tem, da smo na območju aluvija trem večjim črpališčem pripisali po en sam ekvivalentni vodnjak.

Iz umerjanja modela sledi, da reka Soča izgubi približno 1/5 vode na svoji poti po zgornji Soški nižini, kar je dokaj skladno z opazovanji kolegov z Univerze v Trstu. Hitrosti potovanja vode v aluviju so znatno manjše, na krasu in površini smo operirali z urami, tukaj lahko govorimo o času nekaj let.

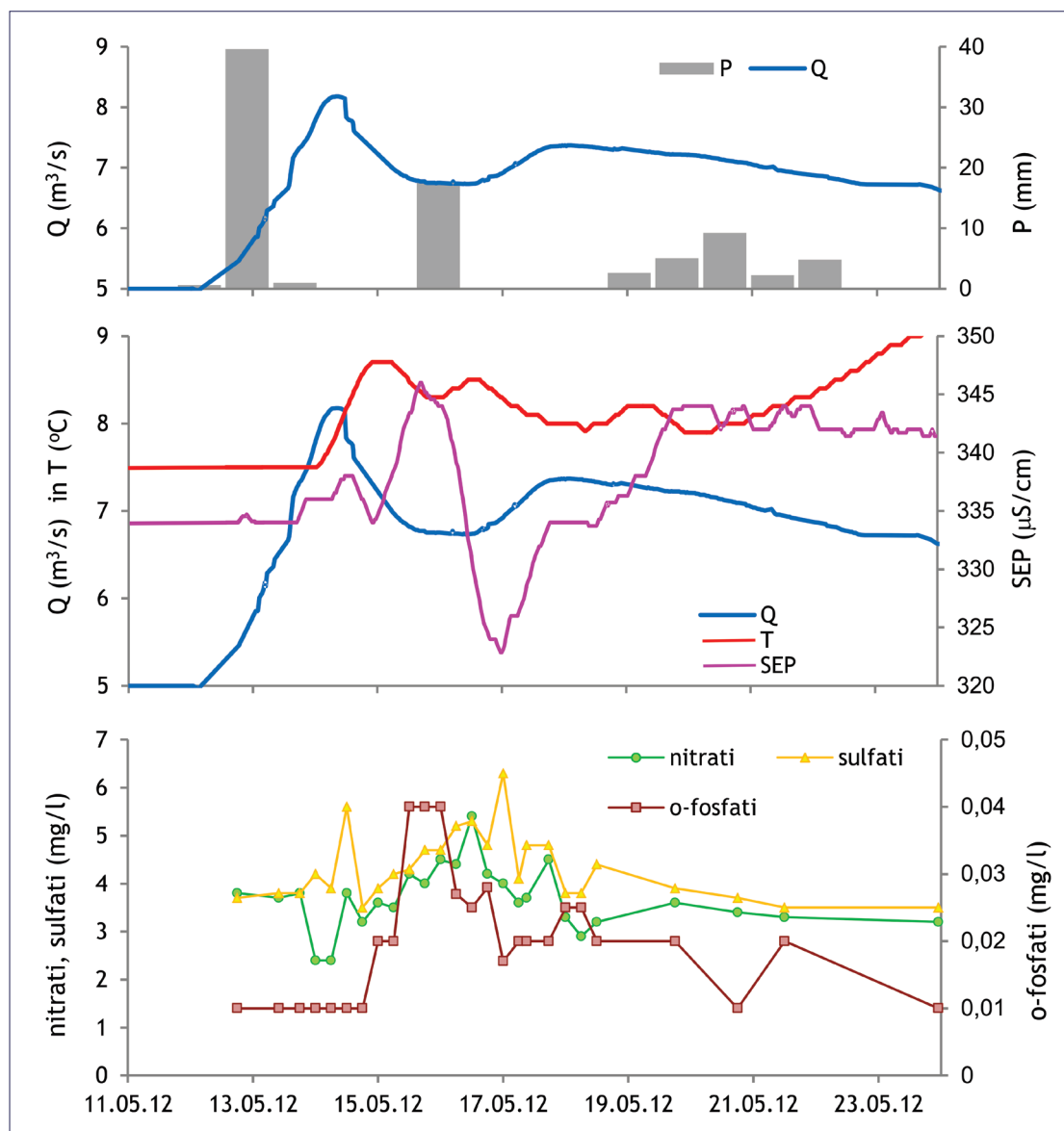
Kot pomembno ugotovitev modeliranja lahko izpostavimo, da kratkotrajna onesnaženja gorvodno na slovenski strani ne bodo povzročila takojšnjega onesnaženja vodnih virov v Italiji, problem pa lahko predstavljajo dolgotrajna onesnaženja, ki onesnažijo aluvialne sedimente Soške nižine.

2. SMERNICE ZA SPREMLJANJE KAKOVOSTI KRAŠKIH VODNIH VIROV

Janja Kogovšek, Metka Petrič (IZRK ZRC SAZU)

2.1 SPLOŠNE SMERNICE

Lastnosti kraških izvirov se ob različnih hidroloških razmerah različno hitro spreminjajo in temu moramo ustrezno prilagoditi tudi spremljanje njihove kakovosti. Če želimo zajeti celotni spekter kakovostnega stanja (od najnižje do najvišje vrednosti parametrov onesnaženja), moramo monitoring izvajati ob različnih vodostajih. Številne opravljene raziskave (Kogovšek in Pipan 2008a in 2008b, Kogovšek in Petrič 2008) so pokazale, da slabo kakovostno stanje surove vode najbolj verjetno zaznamo z vzorčenjem v izbranem vodnem valu (ob naraščanju in nato upadanju pretoka) po daljšem sušnem obdobju. Ob dovolj intenzivnem padavinskem dogodku vzorčimo v času od začetnega nizkega pretoka, faze naraščanja in po doseženem vrhu upadanja pretoka do vrnitve v razmere nizkega vodostaja. Ker so spremembe v vodnem valu zelo hitre, je potrebno začeti z vzorčenjem v začetku padavinskega dogodka, potem pa v času spreminjanja pretoka nadaljevati v intervalu vsakih nekaj ur. Pomembno je, da



Slika 19: Primerjava meritev padavin (P), pretoka (Q), temperature (T) in specifične električne prevodnosti (SEP) z rezultati kemijskih analiz odvzetih vzorcev kaže na značilno spreminjanje parametrov ob različnih hidroloških pogojih.

odvzamemo več vzorcev v vodnem valu od začetka naraščanja do sredine upadanja pretoka, saj so v tem obdobju običajno spremembe kakovosti vode največje. Monitoring kakovosti kraških vodnih virov mora biti torej vezan neposredno na dinamiko pretakanja vode (slika 19).

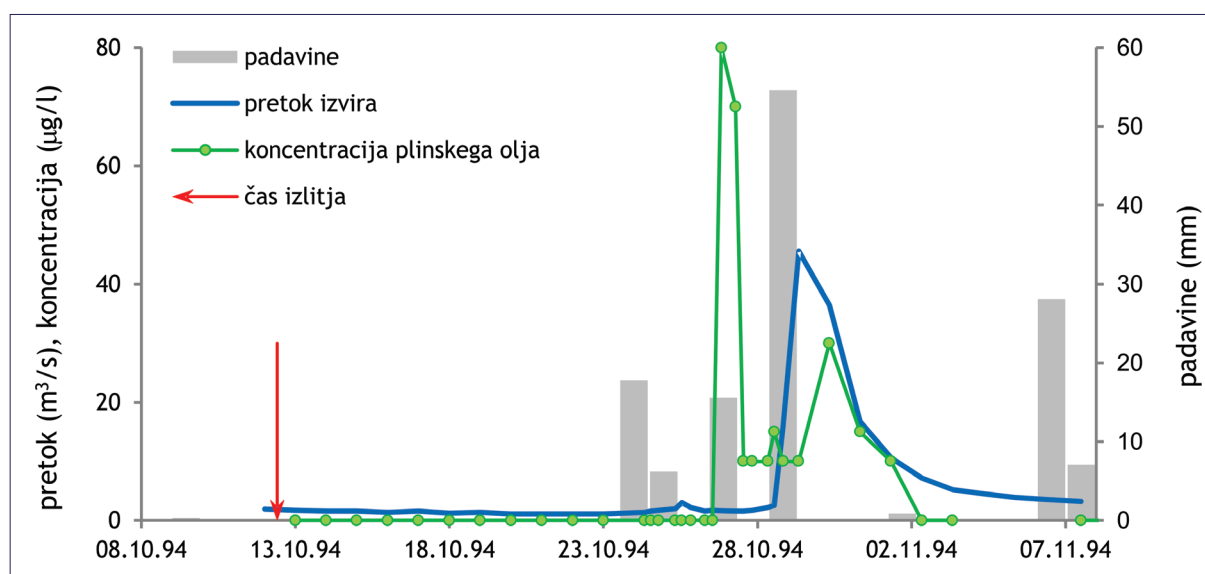
Dosedanje raziskave so pokazale, da prenos onesnaženja sprožijo le dovolj izdatne padavine, ki se odrazijo z ustrezno povečanim pretokom kraških izvirov. Pri načrtovanju vzorčenja moramo zato predhodno oceniti, kolikšne padavine in v kakšnih pogojih bodo zadostne. Zanesljivost ocene je odvisna od stopnje poznavanja delovanja opazovanega kraškega sistema in je dovolj visoka le v primeru, da so bile na tem območju že opravljene predhodne hidrogeološke raziskave.

Za načrtovanje monitoringa kakovosti surove vode je potrebno pridobiti podatke o pretokih ali vsaj nivojih vode v opazovanih vodnih virih. Zelo koristne so vzporedne zvezne meritve temperature in električne prevodnosti, saj nam začetek sprememb teh parametrov nakazuje tudi začetek dotoka novo infiltrirane padavinske vode, ki iztisne uskladiščeno onesnaženje iz slabše prepustnih con vodonosnika. Zbrani podatki so nam v pomoč pri interpretaciji rezultatov analiz. Meritve opisanih fizikalnih parametrov so lahko izvedljive, merilna oprema pa relativno poceni.

Mesta vzorčenja surove vode so na kraških območjih različna. Najbolj običajno in enostavno je spremljanje kakovosti v kraških izviroh. Pogosto pa nas zanima stanje podzemne kraške vode na mestih, ki so precej oddaljena od izvirov. Možnost koristnih in zgodnjih informacij ponujajo kraške jame z vodnim tokom, a se lahko pojavijo težave zaradi njihove težke dostopnosti, saj vzorčevalci večinoma niso usposobljeni za spuščanje v globoke kraške jame. Možna rešitev je sodelovanje z lokalnimi jamarji. V medzrnskih vodonosnikih so vrtine tisti objekti, ki omogočajo pridobitev podatkov o kakovosti podzemne vode na izbrani lokaciji. V krasu je uporabnost vrtin zelo omejena, saj so zaradi heterogene zgradbe krasa le redko reprezentativne za opis stanja kakovosti vode na širšem območju.

2.2 SPREMLJANJE KAKOVOSTI KRAŠKIH VODNIH VIROV OB IZREDNIH DOGODKIH

Opisane splošne smernice veljajo tudi za spremljanje kakovosti kraških vodnih virov ob izrednih dogodkih. Potrebno pa jih je ustrezno prilagoditi dejstvu, da gre v tem primeru za časovno in prostorsko točno določen pojav onesnaženja z običajno poznano sestavo.



Slika 20: Po izlitju 16 m³ plinskega olja v prometni nesreči 12. oktobra je potekalo vzorčenje 1-krat dnevno, po prvem dežju 24. oktobra pa v krajšem časovnem intervalu (3-krat dnevno). Po zmanjšanju koncentracije plinskega olja 29. oktobra je bil interval spet daljši. V bolj izrazitem vodnem valu, ki je sledil, so se koncentracije povečale. Žal je v tem obdobju vzorčenje še naprej potekalo v daljšem intervalu in je bilo spremljanje pojava onesnaženja premalo natančno. V celotnem vodnem valu bi bilo potrebno nadaljevati z vzorčenjem v krajšem intervalu. V obdobju opazovanja je skozi izvir izteklo le 0,5 % razlite količine.

Kam in na kakšen način se bo onesnaženje širilo, je odvisno predvsem od hidrogeoloških značilnosti območja. Smeri ter značilnosti pretakanja vode in prenosa snovi je možno oceniti na osnovi opravljenih predhodnih hidrogeoloških raziskav. Osnovni podatki so dostopni v ustrezni literaturi, sodelovanje hidrogeologov pa lahko bistveno izboljša zanesljivost napovedi verjetnosti ter lokacije in časa pojava onesnaženja v opazovanih vodnih virih. Zelo koristno je tudi pridobljeno znanje ob spremljanju izrednih dogodkov v preteklosti (Drew in Hözl 1999, Knez s sodelavci 2011), saj omogoča bolj učinkovito ukrepanje.

Poleg značilnosti kraškega vodonosnika imajo odločilen vpliv na prenos onesnaženja hidrološki pogoji. V sušnih razmerah je ob izlitju tekočine sicer možen hiter prenos po najbolj prepustnih kraških kanalih, a prevladuje začasno uskladiščenje v slabo prepustnem delu nezasičene cone. Če pa je vnos snovi razpršen in manj intenziven, prihaja v takih razmerah le do uskladiščenja. Šele dovolj intenzivne padavine v času po izrednem dogodku (lahko tudi šele čez več mesecev) iztisnejo to onesnaženje skozi izvire (slika 20). Kadar pa je nezasičena cona zaradi predhodnih in trenutnih padavin dobro namočena z vodo, je prenos večjega dela onesnaženja proti kraškim vodnim virom hiter in zvezen.

2.2.1 PRIDOBIVANJE PODATKOV OB IZREDNEM DOGODKU

Za oceno ogroženosti vodnih virov je potrebno najprej pridobiti osnovne podatke o izrednem dogodku in hidroloških razmerah:

- **lokacija izrednega dogodka:** natančna lokacija in način vnosa v kraško podzemlje (razpršeno s kraškega površja ali v vodni tok);
- **tip in količina onesnaženja;**
- **hidrološke razmere:** podatki o pretokih ali nivojih vode v opazovanih izvirih (podatki upravljalca ali objave na spletni strani ARSO) in spremljanje vremenske napovedi.

Na osnovi obstoječega znanja o značilnostih območja izrednega dogodka je potrebno:

- opredeliti ogrožene vodne vire in izdelati **seznam mest vzorčenja;**
- organizirati merjenje ali pridobiti podatke (iz že obstoječe mreže merilnih postaj) o **padavinah** na območju izrednega dogodka in **pretokih** ali **nivojih vode** na točkah odvzema vzorcev;
- izdelati **načrt vzorčenja.**

2.2.2 IZDELAVA NAČRTA VZORČENJA

Izdelava načrta vzorčenja je zelo pomembna za učinkovit nadzor spreminjanja kakovosti vodnega vira po izrednem dogodku. V nadaljevanju je navedenih nekaj osnovnih smernic za pripravo tega načrta. Ker pa so kraški vodonosniki heterogeni sistemi z izjemno kompleksnim delovanjem, ki se hitro odzivajo na spremembe v hidroloških razmerah, je za zagotavljanje večje zanesljivosti in učinkovitosti spremljanja kakovosti vodnih virov zelo koristno sodelovanje strokovnjaka s področja kraške hidrogeologije.

Pri izdelavi načrta odvzema vzorcev surove vode je potrebno upoštevati način vnosa onesnaženja v kraški vodonosnik in padavinske razmere:

Vnos onesnaženja v vodni tok (pretakanje je hitrejšo): čim prej izvedemo prvo vzorčenje (za oceno stanja pred izrednim dogodkom). Nato vzorčimo v daljšem časovnem intervalu (npr. 1-krat dnevno) in sproti analiziramo vzorce. Ko zaznamo spremembe, najverjetneje pa po prvih padavinah ob naraščanju pretoka, vzorčimo v krajšem intervalu (npr. 3-krat dnevno). Ko se vzpostavijo razmere nizkega vodostaja, lahko interval odvzema podaljšamo (1-krat dnevno). Ob pojavu naslednjih padavin je možen nadaljnji prenos onesnaženja, a so koncentracije običajno dosti manjše.

Onesnaženje na kraškem površju (pretakanje in prenos onesnaženja sta vezana na padavine): čim prej izvedemo prvo vzorčenje in nato nadaljujemo v daljšem časovnem intervalu (vsake 2 do 3 dni). Po padavinah (dovolj intenzivnih, da se oblikuje vodni val) začnemo z vzorčenjem v krajšem časovnem intervalu (2 do 3-krat dnevno). Ko se spet ustalijo razmere nizkega vodostaja, lahko interval odvezema podaljšamo. Ob pojavu naslednjega vodnega vala ga spet skrajšamo, saj po vsakih dovolj izdatnih padavinah prihaja do pomembnega prenosa onesnaženja še dalj časa.

Načrtovanje nadaljnega vzorčenja je odvisno od **rezultatov sprotnih analiz** odvzetih vzorcev surove vode. Če zaznamo onesnaženje, je interval vzorčenja kratek in ga spet podaljšamo šele takrat, ko vrednosti parametrov onesnaženja upadajo. V primeru razlitja na površju je prenos onesnaženja bolj dolgotrajen kot v primeru izlitja v vodni tok. Lahko traja več mesecev, tudi več let. Pojavlja se po vsakih nadaljnjih padavinah, ob vmesnih nizkih vodostajih pa izostane.

2.2.3 OBDELAVA REZULTATOV MERITEV IN ANALIZ

Sprotna obdelava rezultatov meritev in analiz nam omogoča bolj učinkovito načrtovanje nadaljnega monitoringa. Na osnovi podatkov o količini iztekle vode v obdobju opazovanja (pretok) in koncentracij parametra onesnaženja lahko izračunamo, kolikšen delež onesnaženja, ki se je sprostilo ob izrednem dogodku, je iztekel skozi opazovani vodni vir. Ta podatek nam omogoča oceno verjetnosti pojavljanja onesnaženja v naslednjih vodnih valovih in načrtovanje trajanja spremljanja kakovosti vodnega vira po izrednem dogodku.

Kdaj je smiselno končati z vzorčenjem v kraškem vodnem viru, v katerem onesnaženje ni bilo zaznano, je odvisno od deleža že izteklega onesnaževala ter od hidrogeoloških značilnosti območja in hidroloških razmer.

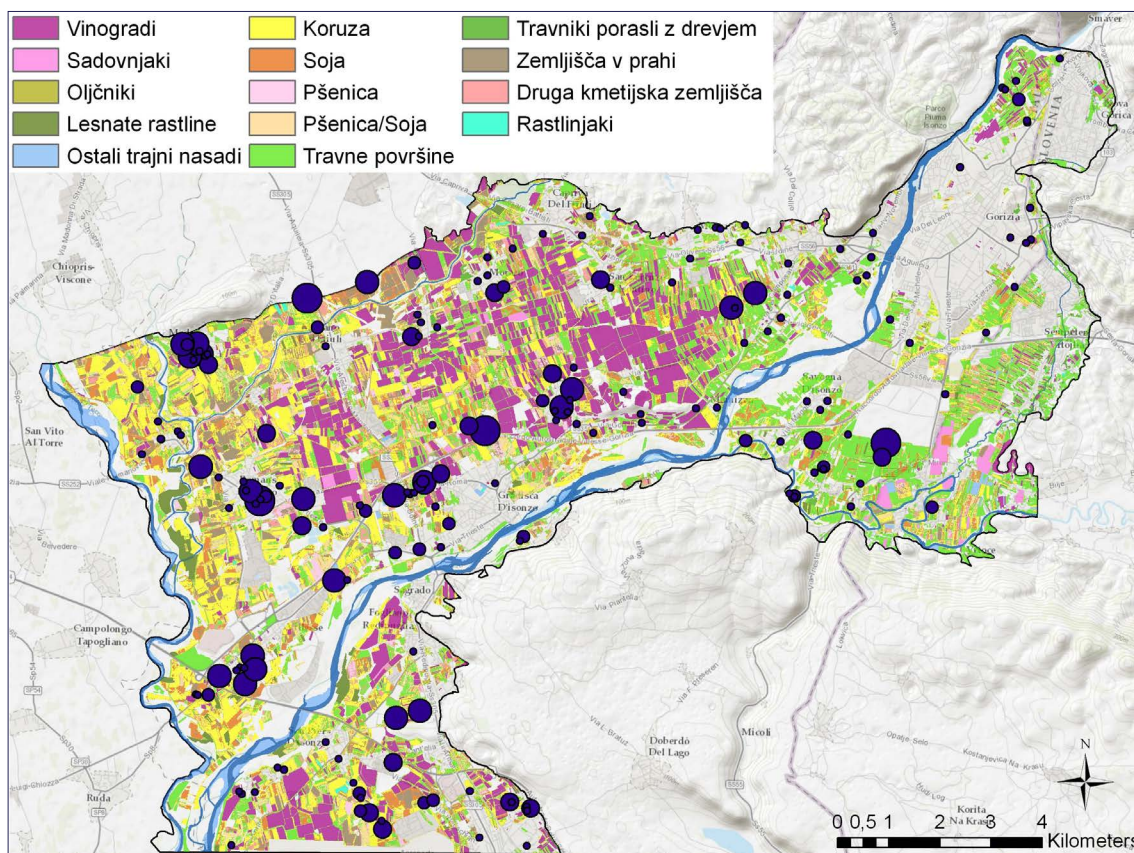
3. PROSTORSKA ANALIZA IN UPRAVLJANJE Z OKOLJEM

Alfredo Altobelli, Katja Mignozzi, Rossella Napolitano, Mauro Scimone (DSV-UniT5)

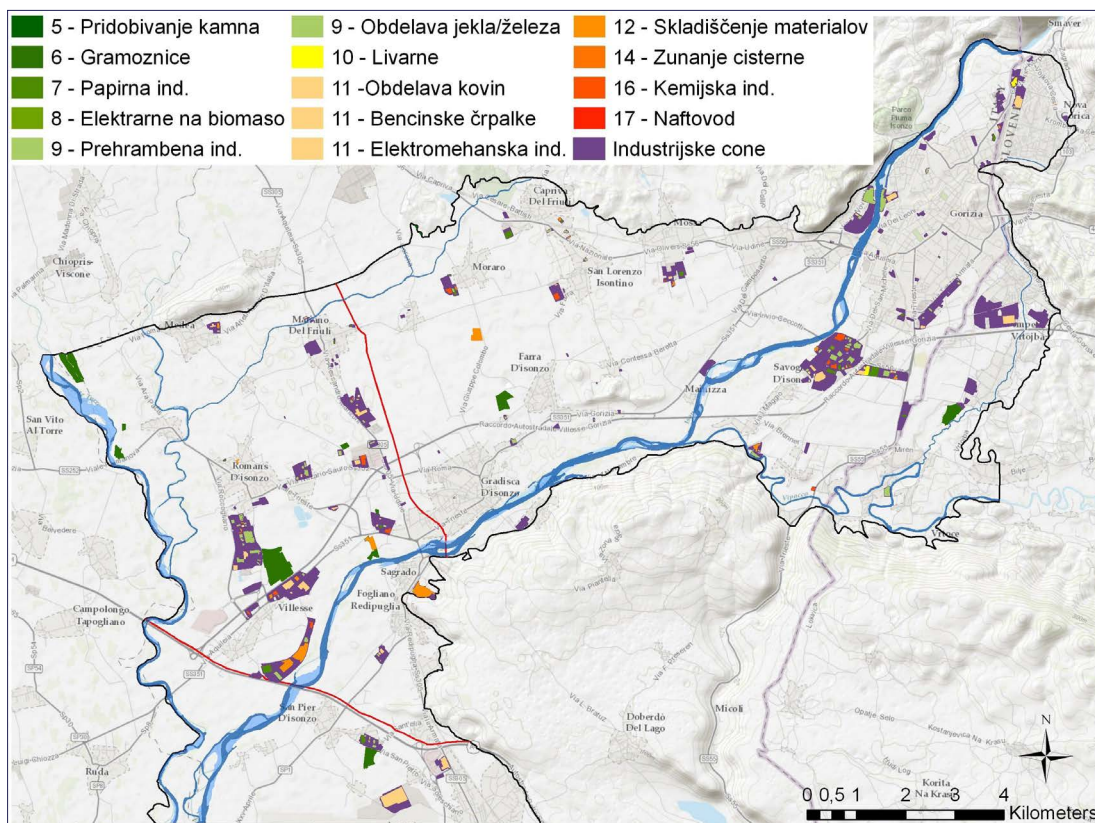
Prostorska analiza in predlog za drugačno upravljanje z okoljem v Soški nižini sta bila izdelana s pomočjo GIS (ArcGIS in GRASS GIS), v katera sta bila vključena metoda za ocenjevanje onesnaževalcev okolja in sistem za podporo odločanju. Pripravljen je bil študijski primer, v katerem je bila različnim kategorijam rabe tal dodeljena ocena nevarnosti človekovih dejavnosti, ki lahko negativno vplivajo na kakovost vodonosnikov. Z uporabo sistemov za podporo odločanju (SDSS) so bili simulirani alternativni scenariji, ki lahko pripomorejo k zmanjšanju vpliva človekovih dejavnosti na okolje in z njimi povezanega tveganja onesnaževanja.

V ta namen smo pripravili karte točkovnih virov onesnaževanja in splošno karto rabe tal. Točkovnim virom onesnaževanja so bili pripisani indeksi nevarnosti (IP) po sistemu točkovanja, ki sta ga opisala Civita in Zavatti (2006). Karti splošne rabe tal, v kateri pridejo bolj do izraza razpršeni viri onesnaževanja, kot so na primer kmetijske površine, pa so bili pripisani faktorji nevarnosti (FP), ki temeljijo na uporabi pesticidov in gnojil. Ti faktorji, kombinirani s korekcijskimi faktorji (npr. tip kmetijske prakse, podnebne cone, sistemi namakanja, itd.) so nadalje privedli do indeksa nevarnosti (IP). Dodelitev FP različnim kategorijam rabe tal za kmetijstvo je bila v primerjavi s točkovanjem, ki sta ga predlagala Civita in Zavatti, nadgrajena; kategorije so bile natančneje določene, točkovanje pa ustrezno urejeno. Za pripravo končne karte nevarnosti (IP) je bila vsaki celici (pikslu) dodeljena najvišja vrednost IP izmed vseh prekrivajočih se kart (npr. naftovod speljan po kmetijskih ali gozdnih površinah).

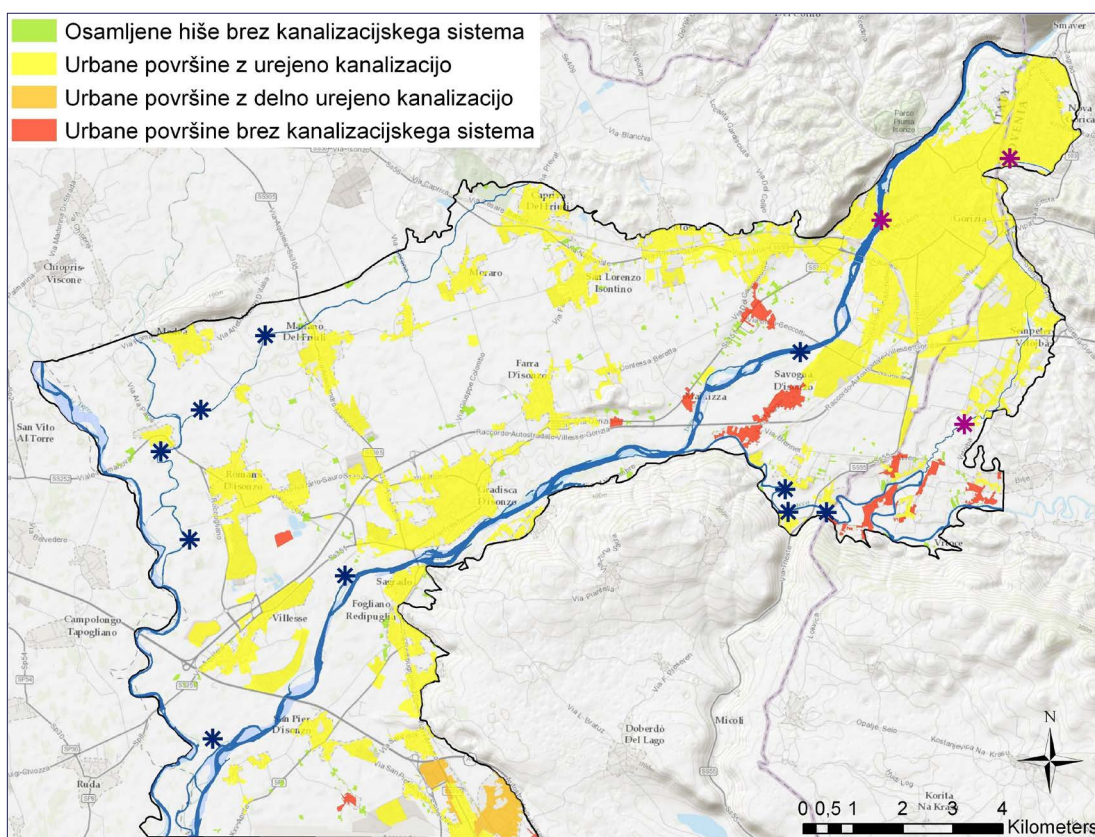
Vrednosti karte nevarnosti, ki se gibljejo med 0 in 19,2, so bile enakomerno razdeljene v 5 razredov, od zelo nizke (1) do zelo visoke nevarnosti (5). Pri razumevanju karte pa je potrebno upoštevati, da vrednosti za obravnavano območje niso absolutne temveč relativne.



Slika 21: Raba tal za kmetijstvo: kmetijske kulture in živinoreja. Velikost modrih krogov (živinorejska gospodarstva) je sorazmerna s številom GVŽ/površino.



Slika 22: Raba tal za industrijske namene: opredelitev industrijskih dejavnosti v območju.



Slika 23: Urbanizacija: opredelitev urbanih površin glede na naraščajočo nevarnost (od zelene do rdeče) v razmerju z urejenostjo kanalizacijskega sistema. Označeni so tudi izpusti iz komunalnih čistilnih naprav (modra zvezdica) ter izpusti neočiščenih komunalnih odpadkov (rdeča zvezdica).

Za lažjo interpretacijo stanja okolja na obravnavanem območju so prikazane tri tematske karte: kmetijstvo (slika 21), industrija (slika 22) in urbanizacija (slika 23). V kmetijstvu so najbolj razširjene kulture trta, koruza in travniki. Faktorji nevarnosti se gibljejo med nič (zemljišča v prahi) in 10 (pridelovanje koruze). Kar se tiče živinoreje, je bil indeks nevarnosti (IP) dodeljen glede na število glav velike živine (GVŽ) na površino. Na obravnavanem območju je sicer prijavljenih veliko živinorejskih farm, vendar je le nekaj izmed njih intenzivnih, z več kot 100 GVŽ. Indeksi nevarnosti za industrijo in z njo povezane dejavnosti se na obravnavanem območju gibljejo med najmanj 5 (pridobivanje kamna) in največ 17 (naftovod). Najpomembnejše industrijske cone se nahajajo v občinah Gorica, Romans d'Isonzo in Vileš. Na sliki 23, ki predstavlja urbanizacijo, je prikazana samo razdelitev urbanih površin glede na urejenost kanalizacijske mreže. Infrastrukturne in ostale dejavnosti povezane z urbanim življenjem, ki na tak ali drugačen način obremenjujejo okolje, niso prikazane, vendar so bile upoštevane pri pripravi končne karte nevarnosti.

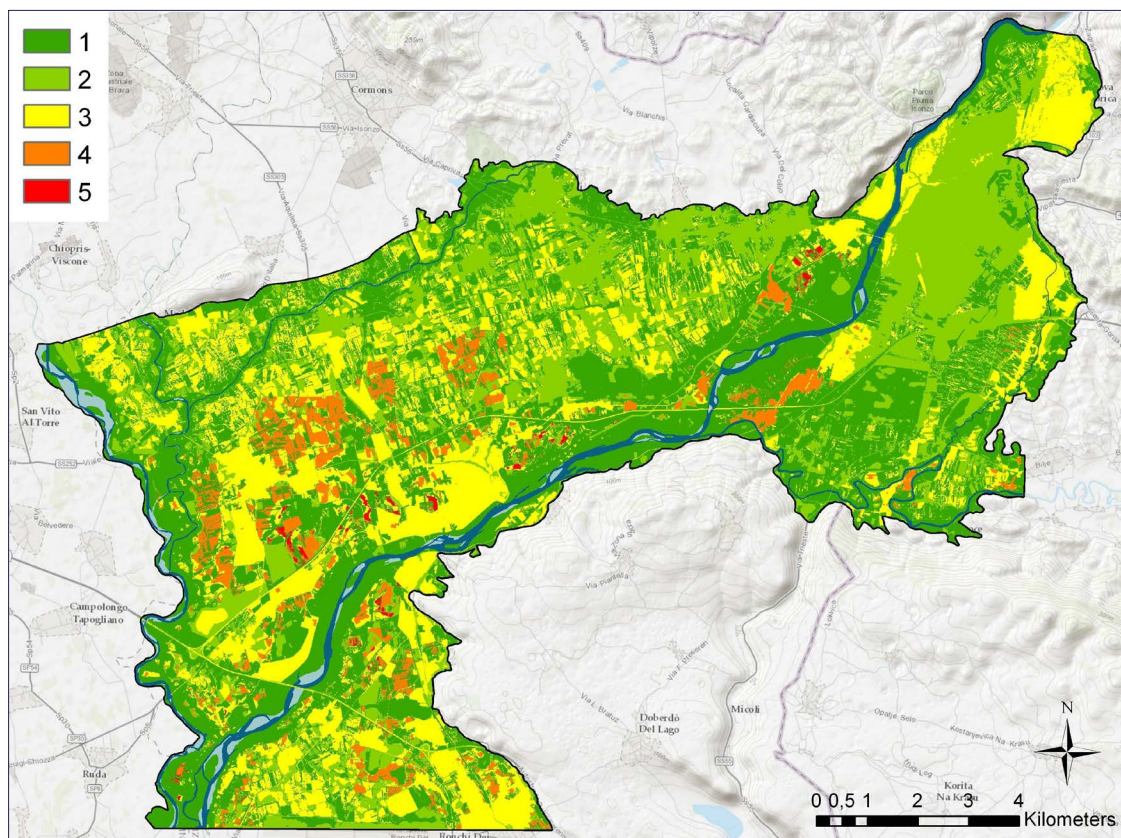
Za izračun tveganja onesnaževanja podzemnih vod je potrebno upoštevati različne faktorje, kot so nevarnost, ranljivost ter vrednost vodonosnika, za katerega se tveganje ocenjuje. Za potrebe tega študijskega primera pa smo pripravili poenostavljeno karto tveganja (slika 24), tako da smo karto nevarnosti (IP) združili s karto ranljivosti. Vrednosti, ki se v našem primeru gibljejo med 0 in 25, so bile razdeljene v 5 razredov (od zelo majhnega do zelo velikega tveganja). To je omogočilo določitev posebno občutljivih območij ("hot spots"), ki na karti ustrezajo območjem z visokim tveganjem (razreda 4 in 5).

Z analizo občutljivih območij, povezano z ustrežno kategorijo rabe tal, smo prišli do nekaterih opažanj:

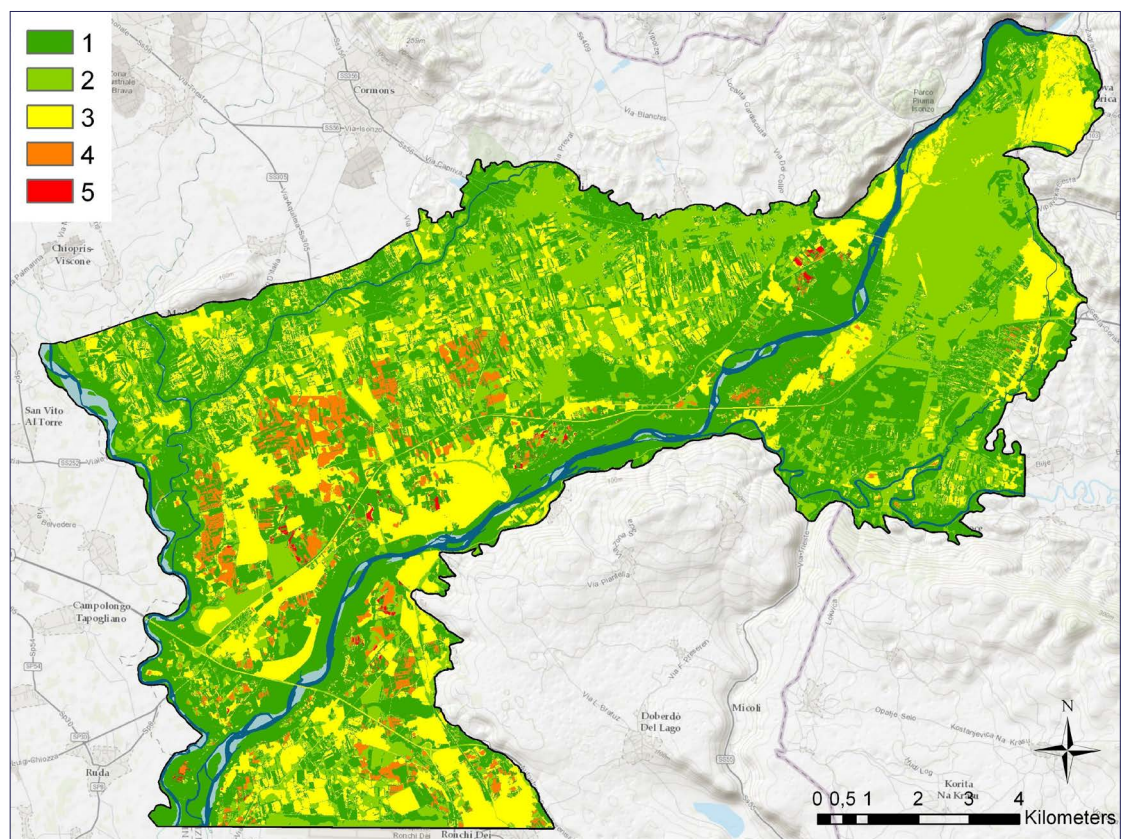
- najbolj občutljiva območja (razreda 4 in 5) pokrivajo skupno 5 % celotnega območja, območja ocenjena s srednjim tveganjem (razred 3) pokrivajo 25 % celotnega območja, območja z relativno nizkim tveganjem (razreda 1 in 2) pa 70 % celotnega območja;
- na splošno se lahko opredelijo tri občutljiva območja ("hot spots"), in sicer (1) nekoliko večje območje v zahodno-osrednjem delu Soške nižine, severno od Soče, ki vključuje občine Romans d'Isonzo, Marjan in Gradišče ob Soči, (2) območje v zahodno-osrednjem delu, južno od Soče, ki vključuje občino Foljan-Redipulja in (3) območje v vzhodno-osrednjem delu Soške nižine, severno in južno od Soče, ki vključuje kraj Mochetta in občino Sovodnje;
- če pri tem upoštevamo človekove dejavnosti, lahko ugotovimo, da je na območjih v zahodno-osrednjem delu tveganje onesnaženja odvisno predvsem od kmetijstva, natančneje od proizvodnje koruze in vinogradništva, ki skupno pokrivata 29 % in 24 % vseh občutljivih območij (razreda 4 in 5), medtem ko je na območju v vzhodno-osrednjem delu Soške nižine tveganje odvisno predvsem od pomanjkanja kanalizacijskih sistemov v urbanih naseljih.

Tovrstne ugotovitve so pripeljale do razvoja alternativnih scenarijev za upravljanje z okoljem, ki se lahko odrazijo v splošnem zmanjšanju tveganja za onesnaženje. Med različnimi možnimi podajamo simulacijo scenarija (scenarij 1), ki vključuje dve vrsti ukrepov:

- **Urbanizacija:** vključuje (i) izgradnjo kanalizacijskega sistema v občini Sovodnje in v naselju Mochetta (Italija) ter dograditev kanalizacijske mreže v naseljih, kjer je le delno prisotna, npr. Ronke v Italiji ter Miren in Bilje v Sloveniji; (ii) izgradnjo čistilne naprave v Vrtojbi, ki bo zagotovila čiščenje odpadnih vod na slovenski strani. Te se danes iztekajo delno v Vrtojbo, delno pa v Koren, kjer se nadalje priključijo na goriški kanalizacijski sistem in očistijo v čistilni napravi v Gorici; (iii) izgradnjo čistilne naprave z iztokom v morje, ki bo oskrbovala celotno območje Soške nižine na italijanski strani. Na ta način bodo odpravljene vse manjše čistilne naprave in popolnoma razbremenjeni površinski tokovi sladkih voda. Tak scenarij je dejansko že v teku; čistilna naprava v Vrtojbi (Slovenija) bi morala začeti delovati leta 2015, na italijanski strani pa je v končni fazi načrtovanja enotna čistilna naprava z lokacijo v občini Štarancan.
- **Kmetijstvo:** vključuje izvajanje ustreznih kmetijsko-okoljskih ukrepov, ki jih predvideva skupna kmetijska politika. Program za razvoj podeželja dežele Furlanije-Juljske krajine 2014-2020 (trenutno v postopku obravnave pri Evropski komisiji) navaja naslednje ukrepe, ki imajo večji pomen za varovanje kakovosti vodonosnikov: trajno zasajanje tal s travo v vinogradih in intenzivnih sadovnjakih; povečanje raznolikosti kultur z namenom zmanjševanja okoljskih vplivov: ne več kot 20



Slika 24: Karta tveganja onesnaževanja za vodonosnike: od zelo nizkega tveganja (1, temno zelena) do zelo visokega tveganja (5, rdeča).



Slika 25: Karta tveganja onesnaževanja za vodonosnike, ki izhaja iz simulacije alternativnih ukrepov (scenarij 1).

% koruze na KZU, spreminjanje njiv v travnate površine; ohranjanje travnikov, trajnih travnikov in pašnikov; ohranjanje habitatov in agro-ekoloških infrastruktur: drevoredi in mejice, sistemi grmičevje-poseke, mlake in manjša jezera, itd.

V predlaganem scenariju smo simulirali:

- trajno zasajanje vinogradov s travo: okoli 40 % vinogradov na obravnavanem območju nima tal prekritih s travo; od teh se za polovico naključno izbranih predvideva zasajanje s travo;
- spreminjanje koruznih njiv v travniške površine: za polovico naključno izbranih koruznih njiv v obravnavanem območju se predvideva spreminjanje v travniške površine.

Primerjava med trenutnim in simuliranim stanjem, kot ga predvideva scenarij 1 (slika 25), je na kratko povzeta v tabeli 3.

Tabela 3: Razdelitev obravnavanega območja glede na razred tveganja (ha), razlika (%) v sestavi razredov po simulaciji ukrepov ($D_{S1-trenutno\ stanje}$) in sestava razredov tveganja (%) glede na trenutno stanje in simulirano situacijo.

RAZRED TVEGANJA	TRENTNO STANJE (ha)	SCENARIJ 1 (ha)	$D_{S1-trenutno\ stanje}$ (%)	TRENTNO STANJE (%)	SCENARIJ 1 (%)
1	6541,28	6950,61	6,3	44,7	47,4
2	3792,19	3748,23	-1,2	25,9	25,6
3	3559,47	3374,67	-5,2	24,3	23,0
4	712,78	545,45	-23,5	4,9	3,7
5	44,32	31,08	-29,9	0,3	0,2
	14650,04	14650,04			

Simulirani alternativni ukrepi so pripeljali do zmanjšanja obsega vseh razredov tveganja razen razreda 1, v večji meri pa sta se zmanjšala predvsem razreda, ki predstavljata visoko tveganje (4 in 5). Obseg razreda z najnižjim tveganjem se je povečal za 6,3 %, ali v absolutnem smislu za več kot 400 ha. Gledano v odstotkih sta se s simulacijo alternativnih ukrepov razreda 4 in 5 skupno zmanjšala s 5,2 % na 3,9 %, razreda z nizkim tveganjem (1 in 2) pa se povečala s 70,6 % na 73 %.

Načrtovanje takega scenarija bi bilo torej pozitivno za okolje, saj gre za zmanjšanje vpliva človekovih dejavnosti na vodonosnik. Uporaba opisane metodologije lahko pripelje do simulacije številnih alternativnih scenarijev, načrtovalci pa lahko izberejo med tistimi, ki so najbolj obetajoči in obenem realni.

Zahvala

Zahvaljujemo se podjetju IrisAcqa, posebno inž. Furiu Pillanu, za pomoč pri iskanju podatkov in za koristne informacije. Prav tako se zahvaljujemo inž. Barbari Koncut in inž. Matjažu Hvaliču iz družbe Vodovodi in kanalizacija Nova Gorica.

4. GEOINFORMACIJSKI SISTEM PROJEKTA GEP

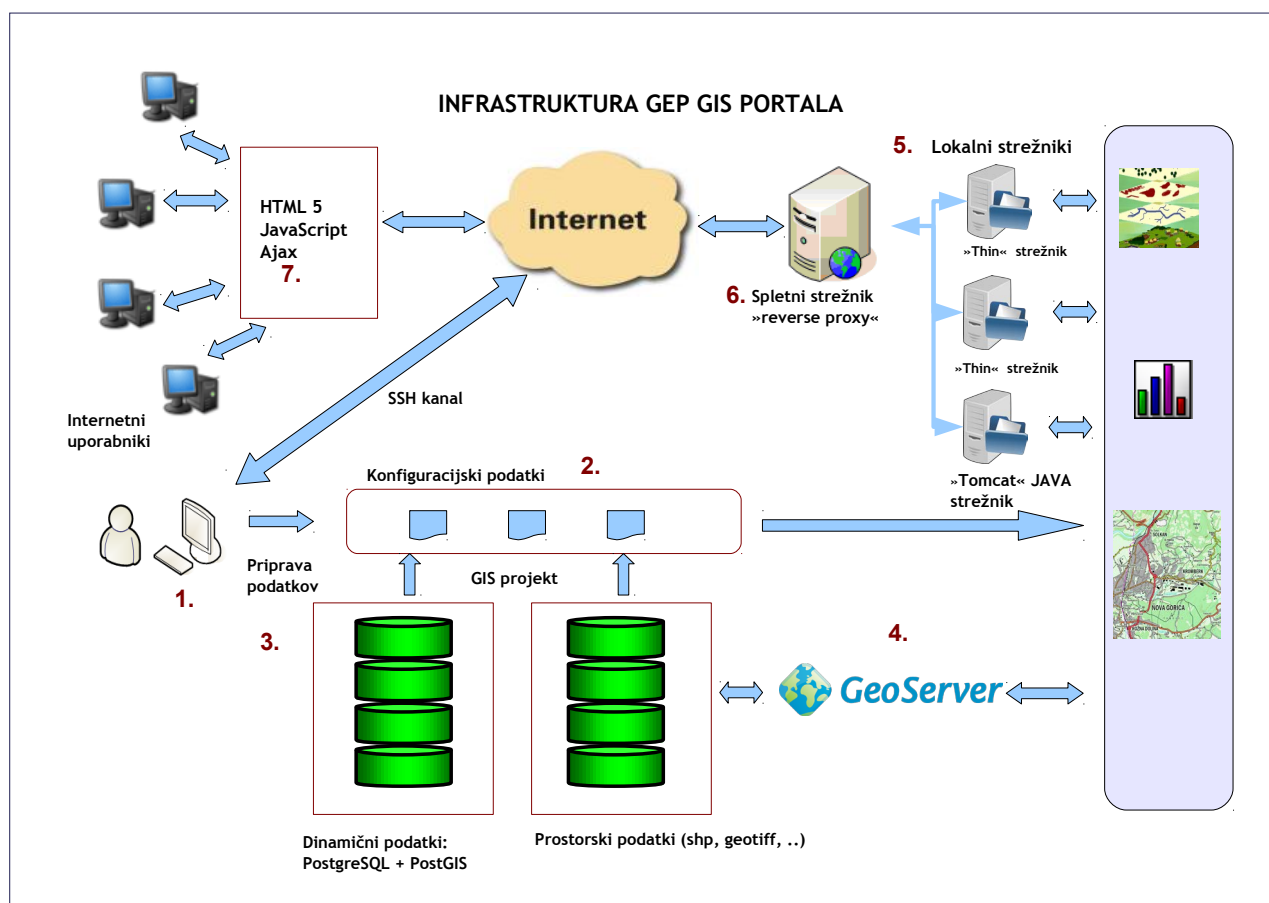
Edvard Grmadnik (NLZOH)

Geoinformacijski sistem GIS za projekt GEP je posodobljen GIS projekta JEDIS, ki je potekal v okviru programa pobude skupnosti INTERREG IIIa Italija-Slovenija 2000-2006. Izkazalo se je, da je bila takratna izbira informacijske tehnologije, ki temelji na odprti kodi, pravilna. Izbrana orodja je odprtokodna skupnost razvijala naprej in s tem povečevala njihovo funkcionalnost in zmogljivost. Za projekt GEP smo posodobili vse sistemske komponente in dodali nekatere nove.

Bistvena posodobitev je programski paket Geoserver, ki smo ga integrirali med ostale programske komponente spletnega strežnika. Ta paket omogoča procesiranje, obdelavo in analizo prostorskih podatkov. Z njim lahko obdelujemo različne vektorske in rasterske grafične formate (npr. shape datoteke, GeoTiff, ECW, ArcGrid, JPEG2000). Povezali smo ga s posodobljeno relacijsko podatkovno bazo PostgreSQL, ki skupaj z dodatkom PostGIS služi za shranjevanje podatkov.

Pomembna funkcionalnost, ki jo omogoča Geoserver, so certificirani spletni servisi (WMS, WFS, WCS), ki jih je določilo mednarodno združenje OGC (Open Geospatial Consortium). WMS (Web Map Service) je servis za izdelavo in posredovanje predvsem rastrskih kart. WFS (Web Feature Service) je servis za iskanje in posredovanje podatkov o pojavih. WCS (Web Coverage Service) je servis za iskanje in posredovanje slojev podatkov za izbrano območje. Preko teh spletnih servisov se lahko podatki, ki so rezultati projekta GEP, vključijo v druge GIS informacijske sisteme, če ti uporabljajo omenjene standarde. Najbolj znani programi, ki uporabljajo standardne spletne servise, so Google Earth, Quantum GIS in drugi.

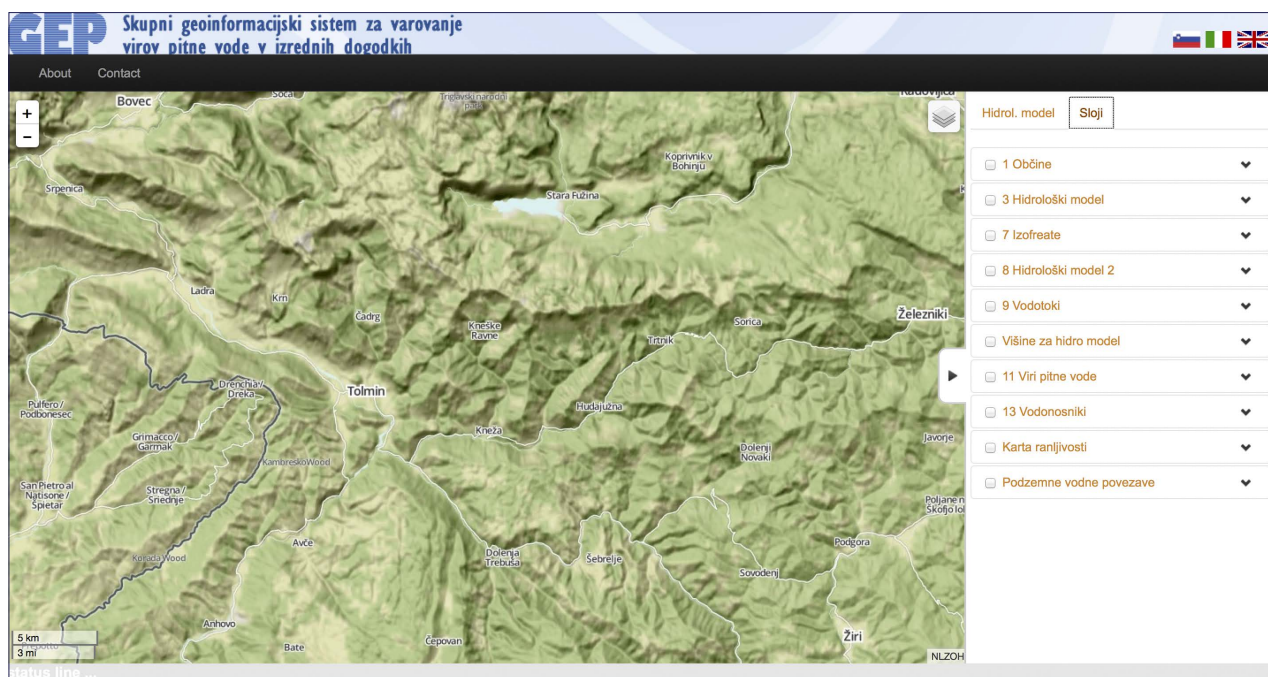
Strežniška infrastruktura geoinformacijskega sistema projekta GEP je prikazana na sliki 26.



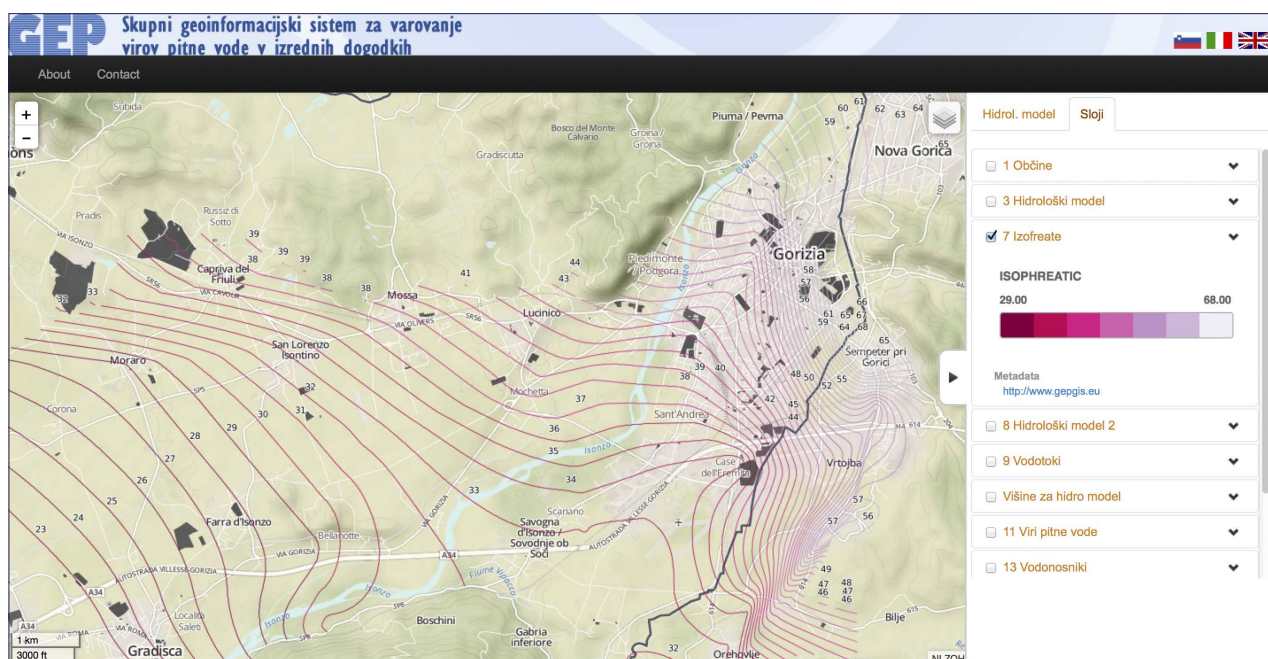
Slika 26: Infrastruktura geoinformacijskega sistema GEP GIS.

Prostorski podatki se naložijo na strežnik preko varnega ssh kanala (1), konfiguracija in obdelava slojev pa se izvedeta s pomočjo spletnega vmesnika, ki je del programske aplikacije Geoserver (2, 4). Podatki se hranijo v relacijski PostgreSQL podatkovni bazi ali kot datoteke (3). Geoserver je preko lokalnih strežnikov (5) povezan s frontalnim spletnim strežnikom (reverse proxy, 6), ki skrbi za hitro komunikacijo s spletom in končnimi uporabniki (7), ki uporabljajo sodobno spletno tehnologijo vgrajeno v spletne brskalnike, kot so Ajax in HTML5.

Posodobljen uporabniški vmesnik omogoča vklapljanje različnih kartografskih slojev, pa tudi definiranje novih slojev. Spletni odjemalec uporablja tehnologijo spletnih servisov po mednarodnem OGC standardu, zato lahko definiramo kartografske sloje, tudi od drugih strežnikov, ki uporabljajo ta standard. Odjemalec je prikazan na sliki 27.



Slika 27: Spletni odjemalec GEP GIS.



Slika 28: Opis posameznega sloja.

Podatki so prikazani v treh jezikih: slovenskem, italijanskem in angleškem. Jezik nastavimo s klikom na ustrezno zastavo v zgornjem desnem robu okna. Posamezne skupine prikazov izberemo z določenim zavihkom, posamezne kartografske sloje pa vključujemo ali izključujemo s klikom na levem kvadratu v posameznem opisu sloja. Opis kartografskega sloja dobimo s klikom na puščico navzdol v opisu posameznega sloja. Vrstica z opisom sloja se razširi in prikaže se podrobnejši opis sloja, kot je to prikazano na sliki 28.

4.1 UREJANJE PODATKOV O VODNIH VIRIH IN IZREDNIH DOGODKIH

Urejanje podatkov o vodnih virih in izrednih dogodkih je omogočeno po prijavi v gepgis portal (slika 29).

Po prijavi lahko izberemo določeno skupino podatkov in jo nato urejamo. Na sliki 30 je prikazan primer seznama vodnih virov.

Slika 29: Prijava v gepgis portal za urejanje podatkov o vodnih virih in izrednih dogodkih.

ADMIN /

Waters

New Water

Batch Actions -
All (3001)
Slo (2019)
It (982)

Id	Acqueduct name	Nation	Province	Municipality	Typology	Typol.	
3853	Reševnik	SLO		POSTOJNA	IZVIR	SPRING	View Edit Delete
3852	Pri Veliki smreki	SLO		POSTOJNA	IZVIR	SPRING	View Edit Delete
3850	Korotan	SLO		POSTOJNA	IZVIR	SPRING	View Edit Delete
3849	Malni II.	SLO		POSTOJNA	IZVIR	SPRING	View Edit Delete
3848	Malni I.	SLO		POSTOJNA	IZVIR	SPRING	View Edit Delete
3847	Lepena	SLO		POSTOJNA	IZVIR	SPRING	View Edit Delete
3846	Divji skedenj	SLO		POSTOJNA	IZVIR	SPRING	View Edit Delete
3845	Rjava reber	SLO		POSTOJNA	IZVIR	SPRING	View Edit Delete
3844	Tres	SLO		POSTOJNA	IZVIR	SPRING	View Edit Delete
3862	VB-4/80	SLO		KOMEN	VRTINA/VODNJAK	PHREATIC WELL	View Edit Delete
3840	ER-1	SLO		SEŽANA	VODOTOK	RIVER	View Edit Delete
3827	Tonaži-R3	SLO		IZOLA	VODOTOK	RIVER	View Edit Delete
3822	Zabrežnik	SLO		ŽIRI	VODOTOK	RIVER	View Edit Delete
3830	Tonaži-R5	SLO		IZOLA	VRTINA/VODNJAK	PHREATIC WELL	View Edit Delete

Filters

SEARCH NAME

SEARCH NATION

SEARCH PROVINCE

SEARCH MUNICIPALITY

Filter
Clear Filters

Slika 30: Prikaz vodnih virov.

Funkcije vmesnika omogočajo iskanje posameznih podatkov, izvoz podatkov v različne formate in njihovo urejanje (slika 31).

Ostale funkcije spletnega vmesnika so še urejanje in dodajanje novih kartografskih slojev ter urejanje tekstovnih zapisov v različnih jezikih.

ADMIN / WATERS / /

Edit Water

New Water

Id	3849
Aqueduct name	Maini II.
Nation	SLO
Province	
Municipality	POSTOJNA
Typology	IZVIR
Typ	1 Spring
Lng eu	442163.413757396
Lat eu	5074571.68753994
Dealer	Postojna, Pivka, Il. bistrica
Name	
Manager	Kovod Postojna

Slika.31: Urejanje podatkov v vodnem viru.

5. VIRI

- Andreo, B., Ravbar, N., Vías, J.M., 2009: Source vulnerability mapping in carbonate (karst) aquifers by extension of the COP method: application to pilot sites. *Hydrogeology Journal* 17/3, 749-758.
- Berlasso, G., Cucchi, F., 1991: Caratteristiche geologiche e strutturali della Bassa Pianura Isontina (Friuli - Venezia Giulia). *Rend. Soc. Geol. It.* 14, 13-16.
- Civita, M.V., De Maio, M., 2000: Valutazione e cartografia automatica della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento con il sistema parametrico: SINTACS R5, a new parametric system for the assessment and automatic mapping of groundwater vulnerability to contamination. Pitagora Editrice, Bologna, 240 pp.
- Civita, M.V., De Maio, M., Farina, M., Zavatti, A., 2001: Linee guida per la redazione e l'uso delle carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento. Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente - Manuali e Linee guida, 1 CD, 100 pp.
- Civita, M., Zavatti, A., 2006: Un manuale per l'analisi di sito e la valutazione del rischio di Inquinamento. Pitagora Editrice, Bologna, 367 pp.
- Cucchi, F., Massari, G., Oberti, S., 1999a: Fluttuazioni della falda freatica nell'Alta Pianura Friulana. *Gortania - Atti Museo Friul. di Storia Nat.* 21, 39-51.
- Cucchi, F., Massari, G., Oberti, S., 1999b: Il chimismo delle falde freatiche e artesiane della Pianura Friulana. *Quaderno del Museo Carsico Geologico e Paleontologico* 7, 3-20.
- Cucchi, F., Giorgetti, F., Gemiti, F., Massari, G., Oberti, S., 1998: Caratterizzazione geochemica delle falde acquifere della Pianura Friulana. *Atti della Giornata Mondiale dell'Acqua, Acque sotterranee: risorsa invisibile*, 61-71.
- Gerdol, C., 2013: Idrogeologia della Piana Isontina (ITA-SLO). Tesi di Laurea Magistrale in Geologia e Geologia Tecnica, Università di Padova.
- Čar, J., Gospodarič, R., 1988: Geološka zgradba in nekatere hidrološke značilnosti bruhalnika Lijaka. *Acta carsologica* 17, 3-32.
- Drew, D., Hötzl, H. (ur.), 1999: *Karst Hydrogeology and Human Activities*. A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 322 pp.
- Habič, P., 1982: Kraški izvir Mrzlek, njegovo zaledje in varovalno območje. *Acta carsologica* 10, 45-73.
- Habič, P., 1987: Sledilni poskus na kraškem razvodju med Idrijco, Vipavo in Ljubljano. *Acta carsologica* 16, 105-119.
- Internetni vir: <http://www.razvojkrsa.si/si/voda/>
- Janež, J., Čar, J., 1990: Kraški izvir Kajža in njegovo zaledje. *Acta carsologica* 19, 101-138.
- Janež, J., Čar, J., Habič, P., Podobnik, R., 1997: *Vodno bogastvo visokega krasa*. Geologija d.o.o, Idrija, 167 pp.
- Knez, M., Petrič, M., Slabe, T. (ur.), 2011: *Krasoslovje v razvojnih izzivih na krasu I - Voda*. Založba ZRC, Ljubljana, 167 pp.
- Kogovšek, J., Pipan, T., 2008a: Kemijsko-fizikalne in biološke metode za ocenjevanje kakovosti kraških vodnih virov. V: Luthar, O. et al. (ur.), *Kras [trajnostni razvoj kraške pokrajine]*. Založba ZRC, Ljubljana, p. 69-71.
- Kogovšek, J., Pipan, T., 2008b: Monitoring fizikalnih, kemijskih in bioloških parametrov v izbranih kraških izvirih, rekah in jami. V: Luthar, O. et al. (ur.), *Kras [trajnostni razvoj kraške pokrajine]*. Založba ZRC, Ljubljana, p. 72-76.

- Kogovšek, J., Petrič, M., 2008: Onesnaženje z avtocest in odlagališč odpadkov. V: Luthar, O. et al. (ur.), Kras [trajnostni razvoj kraške pokrajine]. Založba ZRC, Ljubljana, p. 77-81.
- Kranjc, A. (ur.), 1997: Karst Hydrogeological Investigations in South-Western Slovenia. Acta carsologica 26/1, 388 pp, Ljubljana.
- Mosetti, F., 1983: Sintesi sull'idrologia del Friuli - Venezia Giulia. Ente tutela pesca del Friuli - Venezia Giulia, Udine.
- Nicolich, R., Della Vedova, B., Giustiniani, M., Fantoni, R., 2004: Carta del sottosuolo della Pianura Friulana, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia. Università degli Studi di Trieste.
- Petrič, M., Kogovšek, J., Pipan, T., Ravbar, N., 2008: Voda. V: Luthar, O. et al. (ur.), Kras [trajnostni razvoj kraške pokrajine]. Založba ZRC, Ljubljana, p. 55-94.
- Placer, L., Čar, J., 1974: Problem podzemelske razvodnice Trnovskega gozda, Križne gore in Črnovrške planote. Acta carsologica 6, 79-93.
- Ravbar, N., 2007: The protection of karst aquifers. A comprehensive Slovene approach to vulnerability and contaminant risk mapping. Založba ZRC, Ljubljana, 254 pp.
- Ravbar, N., Goldscheider, N. 2007: Proposed methodology of vulnerability and contamination risk mapping for the protection of karst aquifers in Slovenia. Acta Carsologica 36/3, 461-475.
- Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, 1990: Catasto regionale dei pozzi per acqua e delle perforazioni eseguite nelle alluvioni quaternarie e nei depositi sciolti del Friuli-Venezia Giulia.
- Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, 2014: Italy - Rural Development Programme (Regional) - Friuli Venezia Giulia. Regione Friuli Venezia Giulia - Direzione centrale attività produttive, commercio, cooperazione, risorse agricole e forestali - Servizio sviluppo rurale.
- Stefanini, S., 1978: Le acque freatiche della regione: sintesi delle attuali conoscenze. Rassegna tecnica del Friuli Venezia Giulia 2, 3-11.
- Stefanini, S., Cucchi, F., 1976: Gli acquiferi nel sottosuolo della Provincia di Gorizia (Friuli - Venezia Giulia). Istituto di Ricerca sulle Acque, Roma.
- Trček, B., 2003: Epikarst zone and the karst aquifer behaviour. A case study of the Hubelj catchment, Slovenia. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana, 100 pp.
- Trevisan, M., Padovani, L., Capri, E., 1998: Pericolo di contaminazione delle acque sotterranee da attività agricole. Definizione degli indici di pericolosità ambientale. Pubbl. 1937 del GNDICI-CNR, Univ. Catt. Piacenza, 36pp.
- Turk, J., Malard, A., Jeannin, P.-Y., Vouillamoz, J., Masini, J., Petrič, M., Gabrovšek, F., Ravbar, N., Slabe, T., 2013: Interpretation of hydrogeological functioning of a high karst plateau using the KARSYS approach: the case of Trnovsko-Banjška planota (Slovenia). Acta carsologica 42/1, 61-74.
- Zini, L., Cucchi, F., Franceschini, G., Treu, F., 2008: Caratteristiche idrologiche e geochimiche delle riserve acquifere sotterranee della pianura del Friuli Venezia Giulia. Gortania - Atti Museo Friul. di Storia Nat. 30, 5-30.
- Zini, L., Calligaris, C., Treu, F., Iervolino, D., Lippi, F., 2011: Risorse idriche sotterranee del Friuli Venezia Giulia: sostenibilità dell'attuale utilizzo, Trieste.

PARTNERJI



LP Nacionalni inštitut za javno zdravje



PP1 Inštitut za raziskovanje
krasa ZRC SAZU



NACIONALNI LABORATORIJ ZA
ZDRAVJE, OKOLJE IN HRANO

PP2 Nacionalni laboratorij
za zdravje, okolje in hrano



ZA ZAŠČITO IN REŠEVANJE

PP4 Uprava RS za zaščito in
reševanje

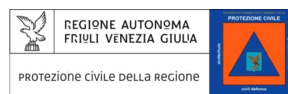


PP5 Dipartimento di Matematica
e Geoscienze
Università degli Studi di Trieste



DIPARTIMENTO DI
SCIENZE DELLA VITA

PP6 Dipartimento di Scienze
della Vita
Università degli Studi di Trieste



PP7 Protezione Civile della
Regione Friuli Venezia Giulia



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI FERRARA
- EX LABORE FRUCTUS -

PP8 Dipartimento di Fisica e
Scienze della Terra
Università degli Studi di Ferrara



PP9 Dipartimento Territorio e
Sistemi Agro-forestali
Università degli Studi di Padova



gep@nijz.si

Projekt GEP sofinanciran v okviru Programa čezmejnega sodelovanja Slovenija-Italija 2007-2013 iz sredstev Evropskega sklada za regionalni razvoj in nacionalnih sredstev.

Progetto GEP finanziato nell'ambito del Programma per la Cooperazione Transfrontaliera Italia-Slovenia 2007-2013, dal Fondo europeo di sviluppo regionale e dai fondi nazionali.



REPUBLIKA SLOVENIJA
SLUŽBA VLADE REPUBLIKE SLOVENIJE ZA RAZVOJ
IN EVROPSKO KOHEZIJSKO POLITIKO



Ministero dell'Economia
e delle Finanze