

Određivanje specifične ranjivosti vodonosnika u priljevnom području regionalnog crpilišta "Istočna Slavonija"

Kopić, Jasna

Doctoral thesis / Disertacija

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:707564>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International](#)/[Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**



Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Jasna Kopic

**ODREĐIVANJE SPECIFIČNE RANJIVOSTI
VODONOSNIKA U PRILJEVNOM PODRUČJU
REGIONALNOGA CRPILIŠTA
„ISTOČNA SLAVONIJA“**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2016.



University of Zagreb

FACULTY OF MINING, GEOLOGY AND
PETROLEUM ENGINEERING

Jasna Kopic

**DETERMINATION OF THE SPECIFIC
VULNERABILITY OF THE AQUIFERS IN THE
CATCHMENT AREA OF THE REGIONAL
WELL FIELD „EASTERN SLAVONIA“**

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2016.



Sveučilište u Zagrebu

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Jasna Kopic

**ODREĐIVANJE SPECIFIČNE RANJIVOSTI
VODONOSNIKA U PRILJEVNOM PODRUČJU
REGIONALNOGA CRPILIŠTA
„ISTOČNA SLAVONIJA“**

DOKTORSKI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Zoran Nakić,

redovni profesor Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u
Zagrebu

Izv. prof. dr. sc. Sanja Kapelj,

izvanredna profesorica Geotehničkog fakulteta Sveučilišta u
Zagrebu

Zagreb, 2016.



University of Zagreb

FACULTY OF MINING, GEOLOGY AND
PETROLEUM ENGINEERING

Jasna Kopic

**DETERMINATION OF THE SPECIFIC
VULNERABILITY OF THE AQUIFERS IN THE
CATCHMENT AREA OF THE REGIONAL
WELL FIELD „EASTERN SLAVONIA“**

DOCTORAL THESIS

Supervisors:

Dr.sc. Zoran Nakić, full professor

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of
Zagreb

Dr.sc. Sanja Kapelj, associate professor

Faculty of Geotechnical Engineering, University of Zagreb

Zagreb, 2016.

ZAHVALA

U prvom redu zahvalila bih svima koji su mi pomogli u izradi moje doktorske disertacije.

Mentoru prof. dr. sc. Zoranu Nakiću zahvalna sam na predloženoj temi, podršci, pomoći na terenu, poticajnim savjetima i brojnim raspravama koji su mi pomogli pri izradi disertacije.

Zahvaljujem se i svojoj drugoj mentorici izv. prof. dr. sc. Sanji Kapelj na pomoći, sugestijama koje su tekst disertacije učinile boljim.

Posebno zahvaljujem dr. sc. Jeleni Loborec koja mi je pomogla kada mi je bilo najpotrebnije, kada je kraj izgledao tako daleko, bez čijih konstruktivnih komentara, prijedloga, poticaja ovaj rad još ne bi bio gotov.

Zahvaljujem se i ostalim članovima povjerenstva: prof.dr.sc. Andrei Bačani, doc.dr.sc. Jeleni Parlov i izv. prof.dr.sc. Ranku Biondić koji su pregledali rad, uočavali i ispravljali greške te su svojim savjetima, primjedbama pridonijeli poboljšanju teksta.

Vinkovačkom vodovodu i kanalizaciji d.o.o. Vinkovci zahvaljujem na financijskoj potpori i podršci kao i mogućnosti uvida u svu raspoloživu dokumentaciju. Ujedno se zahvaljujem i svim djelatnicima Društva koji su mi pomogli da ova disertacija ugleda svjetlo dana a posebno Ankici Bujanić, Stjepanu Janković, Tomislavu Zovak, Jasni Kos i Vjekoslavu Damjanović.

Zahvaljujem Vodovodu i kanalizaciji OJDKP Šamac i JP Komunalac d.o.o. Odžak što su mi omogućili uvid u svu raspoloživu dokumentaciju, kako bih što kvalitetnije prezentirala područje Federacije Bosne i Hercegovine.

Veliku zahvalu dugujem svojim roditeljima, sestrama i njihovim obiteljima koji su mi bili servisna podrška, moralna potpora u svakom trenutku.

I na kraju veliko hvala mojoj obitelji, suprugu Josipu i kćerima Nikolini i Petri koji su imali razumijevanja i strpljenja kroz sve ove godine, a ujedno su mi bili najveća podrška i poticaj u izradi ovog rada.

Jasna Kopic

SAŽETAK:

U zadnje vrijeme raste svijest ljudi o važnosti očuvanja pitke vode, stoga se sve veća pozornost poklanja zaštiti izvorišta vode koja se koriste za javnu vodoopskrbu. Posebno se to odnosi na otklanjanje mogućih utjecaja antropogenog onečišćenja na kakvoću vode u okolišu. Regionalno crpilište „Istočna Slavonija“ se ističe velikom izdašnošću i izuzetnom kakvoćom podzemne vode te je zbog toga označeno kao područje sa strateški važnim zalihama pitke vode za Republiku Hrvatsku. Ovakvim prirodnim resursom nužno je upravljati po svim načelima zaštite okoliša, kako bi se očuvala prirodna kakvoća podzemne vode, ponajprije kroz odgovarajuće mjere zaštite podzemnih voda od antropogenih utjecaja što je i predloženo u ovom radu.

Područje istraživanja obuhvaća šire područje regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci. Regionalno crpilište „Istočna Slavonija“ Sikirevci nalazi se na području gdje su nabušene kvartarne naslage srednje transmisivnosti. Ovdje se radi o prekograničnom šljunkovito - pjeskovitom vodonosnom horizontu, poluzatvorenog do otvorenog tipa, čija debljina doseže vrijednosti preko 90 m, koji se prostire i na području Federacije Bosne i Hercegovine. Prvi rezultati istraživanja na promatranom području su pokazali, da su podzemne vode u vodonosnim slojevima, iz kojih se crpi voda za potrebe vodoopskrbe dobre kakvoće. Vrijednosti pojedinih pokazatelja, primjerice arsena, mangana i željeza pokazuju postupnu promjenu u vremenu. Potvrđeno je da podzemna voda koja se crpi na zdencima šireg područja regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“, sadrži željezo, mangan, prirodni amonijak i arsen u koncentracijama koje prelaze MDK za pitku vodu. Povišene vrijednosti navedenih parametara su posljedica reduktivnih uvjeta u vodonosnoj sredini. Multivarijatnom statističkom klaster analizom dobiven je prikaz skupina elemenata na temelju geokemijskog afiniteta i/ili porijekla. Uvidom u srednje vrijednosti uspoređivanih parametara, kakvoća podzemne vode kvalitetnija je na području Sikirevaca nego u ostalim razmatranim područjima, (Bosanskom Šamcu i Odžaku), vjerojatno zbog onečišćenja u dijelu koji se nalazi u Federaciji Bosne i Hercegovine. Antropogena onečišćenja vjerojatno su posljedica otpadnih voda iz domaćinstva zbog nepostojanja komunalnih vodnih građevina za javnu odvodnju i uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, kao i nekontrolirane primjene agrotehničkih sredstava u poljoprivredi.

Unatoč povoljnim geološkim i hidrogeološkim značajkama na promatranom području bilo je potrebno procijeniti mogući utjecaj različitih izvora onečišćenja na kakvoću podzemnih voda. U ovom radu je procijenjena je prirodna ranjivost šireg područja regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ primjenom SINTACS, AVI, GOD, COP, Njemačke i Irske metode dok je specifična ranjivost na nitrate i lindan procijenjena COP metodom. Područja sa vrlo niskom i niskom ranjivosti primjenom AVI, GOD i COP metoda zauzimaju najveći dio istraživanog prostora. Rezultati SINTACS, GOD i AVI metoda ukazuju, da su područja oko rijeka Save i Bosne tj područja oko Slavanskog i Bosanskog Šamca, Zorica i Kruševica najranjiviji. Navedena područja su u hidrogeološkom smislu izdvojena kao područja sa najmanjom debljinom slabopropusnih naslaga, i najmanjom dubinom do podzemne vode. Usporedbom rezultata SINTACS i Njemačke metode primijećeni su vrlo slični odnosi s razlikom u rasponima odnosno kategorijama, što znači da je u pojedinim dijelovima postignuta nešto viša ranjivost. Područja sa najvišim stupnjem ranjivosti, za vrijeme prosječnih razina podzemne vode, evidentirana su GOD i Njemačkom metodom. Dok COP i AVI metoda izdvajaju samo nisku i vrlo nisku ranjivost, a COP metoda zanemaruje područje srednje ranjivosti. Rezultati primjene COP metode pri određivanju specifične ranjivosti pokazuju da se područje niske specifične ranjivosti na nitrate i lindan nalazi na središnjem dijelu područja istraživanja, u prostoru gdje su razine podzemne vode u vrijeme visokih voda najbliže površini, tj. debljina nesaturirane zone najmanja. Šire područje regionalnog crpilišta „Istočna Slavonije“ nalazi se jednim dijelom u kategoriji vrlo niske ranjivosti, a jednim dijelom u kategoriji niske ranjivosti na onečišćenje na nitrate i lindan.

Dobivene karte ranjivosti predlažu se koristiti za pristup koji će se u konačnici koristiti za upravljanje ovim strateški važnim podzemnim vodnim zalihama. Karte prirodne i specifične ranjivosti trebale bi imati primjenu u zaštiti podzemnih voda aluvijalnih vodonosnika na drugim područjima ravničarskog dijela Hrvatske, kao i pri odlukama o korištenju i namjeni prostora.

KLJUČNE RIJEČI:

prirodna i specifična ranjivost vodonosnika, regionalno crpilište „Istočna Slavonija“, prekogranični vodonosnik, nitrati, pesticidi

EXTENDED ABSTRACT:

In the sixties people began to raise awareness on the need of water protection, triggered by numerous contamination of the water environment. Consequently, extra care has been taken to protect public supplied water sources, so that further contamination is avoided. The regional well field located in Eastern Slavonia, is very important for its supplies of high quality groundwater. The Water Management Strategy (Official Gazette 91/08) marks this area as strategically important for drinking water supply for the Republic of Croatia. So far the quality of the groundwater was not affected, due to the hydrogeological characteristics of the covering layers that provide good protection for the aquifer system. However, it is very important to protect this natural resource from increasing anthropogenic impact, particularly through the protection of groundwater in the regional well field "Eastern Slavonia".

The study encompasses the wider area of the regional well field "Eastern Slavonia" – Sikirevci. The well field is situated in the Brod-Posavina County, to the east of Slavonski Brod and west of Slavonski Šamac which is between the settlements Sikirevci and the Sava River. The wider area of Eastern Slavonia included in the study is located between Županja in the east, Strizivojna in the North and Donji Andrijević in the west. Due to the spatial characteristics of captured aquifer, the study area was expanded to include the Federation of Bosnia and Herzegovina, to Kostrč in the east, Donji Svinjari in the west and Odžak in the south. The wider area of regional well field "Eastern Slavonia" is built of Quaternary deposits with high, medium and small transmissivity. The area with high transmissivity is situated mainly by the Sava River and on the border of the Federation of Bosnia and Herzegovina, where the aquifer is composed of gravel and sand with high transmissivity and high hydraulic conductivity. The regional well field Eastern Slavonia - Sikirevci is situated in the area where the Quaternary deposits with medium transmissivity are captured. The aquifer is composed of gravel and sand layers with thickness that reaches values over 90 meters.

The results of the study show that it is evident that the groundwater in the area is good quality and can be used for water supply. However, the values of certain indicators, such as arsenic, manganese and iron show a positive trend, i.e. its concentration is increasing in time. Available data from analyses of the groundwater quality from the pumping wells in the wider area of the regional well field indicate that the concentrations of arsenic, ammonium, manganese, iron, chemical oxygen demand and nitrates sometimes exceed the maximum allowable concentration for drinking water. That can be the result of reductive conditions in the aquifer system. Multivariate statistical cluster analysis yielded the overview of the groups of elements based on their geochemical affinity and/or origin. Based on the mean values of the compared parameters, groundwater quality is clearly higher in the area of Sikirevci than in other studied areas (Bosanski Šamac and Odžak), which is most likely due to contamination sources located in the part of the study area located in the Federation of Bosnia and Herzegovina. Anthropogenic contamination derived probably from domestic wastewater due to lack of public utility infrastructure and wastewater treatment facilities, as well as unsupervised application of agrotechnical chemicals.

Therefore, there is a need of assessing the impact of potential contamination on the aquifer system that could endanger groundwater quality, despite the favourable geological and hydrogeological characteristics of covering layers and their protective role in study area. The present paper displays the intrinsic vulnerability of the wider area in the regional well field "Eastern Slavonia" by applying SINTACS, AVI, GOD, COP, Germany and Ireland methods was evaluated. Also, the specific vulnerability to nitrates and lindane was estimated using the COP method. Areas with very low and high vulnerability by applying AVI, GOD and COP methods occupy most of the study area. Results SINTACS, GOD and AVI methods indicate that the areas around the Sava and Bosnia Rivers and the areas around Slavonski and Bosanski Šamac, Zorica and Kruševica the most vulnerable. These areas are in the hydrological sense singled out as areas with a minimum thickness of covering deposits, which means the minimum depth to groundwater. Areas with the highest degree of vulnerability were recorded using GOD and the German method, whilst the average level of groundwater is observed. Using COP and AVI methods, there were only low to very low vulnerability and COP methods negligible in central vulnerability. The results of the application of the COP method for determining the specific vulnerability show that

the area of low specific vulnerability to nitrates and lindane is on the central part of the study area. This is in the area where the groundwater level at the time of high water are nearest the surface, i.e., the thickness of the unsaturated zone is the smallest. The wider area of regional well field "Eastern Slavonia" is partially in the category of very low vulnerability, and partially in the category of low vulnerability to nitrate and lindane contamination.

The vulnerability maps from the results of the analysis can be one of the bases when defining the approach for appropriate management of this strategically important groundwater reserve. Intrinsic and specific vulnerability maps should be used when defining the protection zones of groundwater in alluvial aquifers in other similar areas in lowland part of the Croatia. They can be used as well as irreplaceable background for decision making in management and land use.

KEYWORDS:

natural and specific vulnerability of the aquifer, regional well field „Eastern Slavonia“, transboundary aquifer, nitrates, pesticides.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	5
2.1. Geološka istraživanja	5
2.2. Hidrogeološka istraživanja	7
3. ZEMLJOPISNE ZNAČAJKE	15
3.1. Klimatske značajke.....	17
3.2. Površinske vode	20
4. GEOLOŠKE ZNAČAJKE ŠIREG PODRUČJA REGIONALNOG CRPILIŠTA „ISTOČNA SLAVONIJA“	22
4.1. Geološka građa terena.....	22
4.1.1. Paleogen.....	25
4.1.2. Neogen	25
4.1.3. Kvartar	25
4.2. Tektonika.....	28
5. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE	31
5.1. Hidrogeološke značajke šireg promatranog područja.....	31
5.2. Hidrogeološke i litološke značajke na lokaciji regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“	38
6. HIDROGEOKEMIJSKA OBILJEŽJA PODZEMNIH VODA NA ŠIREM PODRUČJU REGIONALNOG CRPILIŠTA „ISTOČNA SLAVONIJA“	41
6.1. Statističke metode	42
6.2. Geokemijske značajke podzemne vode	44
6.2.1. Geokemijske značajke na lokaciji regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“	44

6.2.2. Geokemijske značajke podzemne vode na lokaciji crpilišta Bosanski Šamac	49
6.2.3. Geokemijske značajke podzemne vode na lokaciji crpilišta Odžak	51
6.2.4. Sumarni prikaz geokemijskih značajki podzemne vode na širem području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“	54
6.3. Mogućnosti onečišćenja podzemne vode na širem području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“	56
7. METODE OCJENE PRIRODNE I SPECIFIČNE RANJIVOSTI VODONOSNIKA	59
7.1. Koncept ranjivosti vodonosnika	59
7.1.1. Povijesni pregled.....	59
7.2. Opis metoda za ocjenu prirodne i specifične ranjivosti vodonosnika	62
7.2.1. Osnove GOD metode.....	64
7.2.2. Osnove AVI metode	66
7.2.3. Osnove Irske metode	67
7.2.4. Osnove Njemačke metode.....	69
7.2.5. Osnove SINTACS metode	73
7.3. Osnove analize hazarda.....	87
8. OCJENA PRIRODNE RANJIVOSTI VODONOSNIKA	90
8.1. Priprema podataka za modeliranje.....	90
8.1.1. Priprema podataka o topografiji	90
8.1.2. Priprema podataka o krovinskim naslagama	91
8.1.3. Priprema podataka o oborinama.....	98
8.1.4. Priprema podataka o pedološkim karakteristikama.....	98
8.2. Ocjena prirodne ranjivosti SINTACS metodom	101
8.3. Ocjena prirodne ranjivosti GOD metodom.....	111
8.4. Ocjena prirodne ranjivosti AVI metodom	116

8.5. Ocjena prirodne ranjivosti Njemačkom metodom	118
9. ANALIZA OPASNOSTI OD POTENCIJALNIH ONEČIŠĆIVAČA	122
9.1. Identifikacija izvora opasnosti za kakvoću podzemne vode	123
9.1.1. Onečišćivači prema vrsti i sastavu ispuštene tvari	124
9.1.2. Onečišćivači prema gospodarskim djelatnostima	125
9.2. Izrada karata neklasificirane i klasificirane opasnosti	138
10. OCJENA SPECIFIČNE RANJIVOSTI VODONOSNIKA NA ŠIREM PODRUČJU REGIONALNOG CRPILIŠTA „ISTOČNA SLAVONIJA“	143
10.1. Pojave dušika u okolišu	145
10.1.1 Analiza potrošnje dušika mineralnih i organskih gnojiva	149
10.2. Pojave pesticida u okolišu	150
10.2.1. Analiza potrošnje pesticida	153
10.3. Ocjena specifične ranjivosti COP metodom	154
10.3.1. Procjena prirodne ranjivosti COP metodom	154
10.3.2. Specifični faktor S za onečišćenje od nitrata i lindana	167
10.3.3 Izrada karata specifične ranjivosti vodonosnika	181
11. RASPRAVA	183
12. ZAKLJUČAK.....	191
13. POPIS LITERATURE	197

1. UVOD

Razvoj ljudske civilizacije utjecao je na pojavu različitih vrsta onečišćenja podzemnih voda, međutim kontrola i uklanjanje onečišćenja nisu smatrani neophodni sve do pred kraj 19. stoljeća. Plošna onečišćenja predstavljaju široko rasprostranjen problem koji je teško kontrolirati, identificirati i izolirati a potječu od različitih izvora, koji su većinom izravno vezani za određeni način korištenja zemljišta. Erozija tla, smanjenje biološke raznolikosti, onečišćenja tla i vode (površinske i podzemne) samo su neki od negativnih utjecaja uzrokovani prekomjernom primjenom agrokemikalija (organska i anorganska gnojiva i pesticidi) kako bi se povećala plodnost tla i zaštita bilja. Povećanjem poljoprivredne proizvodnje po jedinici površine i primjenom agrotehničkih sredstava došlo je do negativnih posljedica za okoliš.

Šezdesetih godina prošlog stoljeća počela se buditi svijest o zaštiti voda, potaknuta brojnim onečišćenjima vodnog okoliša. U tom smislu posebna pozornost se poklanja zaštiti izvorišta, koja se koriste za javnu vodoopskrbu, glede otklanjanja mogućih neželjenih onečišćenja. Izvorišta na području istočne Slavonije koja se koriste za javnu vodoopskrbu najčešće su izgrađena u centru naselja/grada ili na području okružena poljoprivrednim površinama, što ne olakšava provođenje mjera zaštite. Zbog vrlo slabe vodopropusnosti krovine koja djeluje kao barijera prodoru onečišćenja sa površine terena prema vodonosniku, do danas nisu evidentirane incidentne situacije na istraživanom prostoru. Ukoliko dođe do prodora onečišćenja u podzemlje na području istočne Slavonije, onečišćivalo će se polagano kretati kroz sitnozrni površinski pokrivač, pri čemu će, ovisno o svojstvima onečišćenja i geokemijskim obilježjima pokrova vodonosnika, dolaziti do filtracije, adsorpcije, ionske izmjene, nitrifikacije i biološke razgradnje, tako da će se koncentracije onečišćivala u procjednoj vodi smanjiti na putu do vodonosnog horizonta (**MAYER et al., 1981**). Određivanje zona sanitarne zaštite i provođenje aktivne i pasivne zaštite izvorišta, u Republici Hrvatskoj se provodi sukladno *Pravilniku o uvjetima za utvrđivanje zonama sanitarne zaštite izvorišta* (**NN 66/11; NN 47/13**).

Pojam ranjivosti podzemne vode na onečišćenja prvi je uveo **MARGOT (1968)**.

Ranjivost vodonosnika u najširem kontekstu može se opisati kao mogućnost onečišćenja vodonosnika od posljedica aktivnosti na površini terena (**National Research Council (NRC), 1993**). Vrlo je važno odrediti smjer, brzinu i količinu toka vode i razinu podzemne vode, obzirom da je transport onečišćenja usko vezan za zadržavanje i procjeđivanje vode u tlu. Ranjivost vodonosnika nije moguće izmjeriti izravno ili in situ, ona je relativno, nemjerljivo i bezdimenzijsko svojstvo (**VRBA & ZAPOROZEC, 1994**). Zaštita vodonosnika od onečišćenja kroz ocjenu ranjivosti je prepoznata kao važan dio zaštite vodonosnika u svjetskoj praksi. S obzirom na ponašanje određene vrste onečišćivala, u određenim hidrogeološkim uvjetima, razlikuje se prirodna i specifična ranjivost vodonosnika. Za utvrđivanje prirodne i specifične ranjivosti vodonosnika primjenjuju se različite metode, od empirijskih do fizikalnih metoda, koje se kontinuirano razvijaju i modificiraju nastojeći se prilagoditi specifičnostima istraživanih područja i zahtjevima krajnjih korisnika. Svaka od metoda, zbog složenosti sustava i procesa, te činjenice da fizikalnim modelima aproksimiramo stvarno stanje, sadrži određenu količinu nesigurnosti stoga je potrebno voditi računa o interpretaciji podataka i donošenju odluka na temelju provedene analize ranjivosti. Rezultati dobiveni ocjenom ranjivosti priljevnog područja, prikazuju se kartama različitih mjerila, koje predstavljaju hidrogeološke značajke promatranog prostora. Na karti ranjivosti se izdvajaju dijelovi priljevnog područja koji su obzirom na prirodna obilježja manje ili više izloženi potencijalnom štetnom djelovanju s površine terena.

Vodonosnici na području istočne Slavonije, između linije Vrpolja-Cerna na sjeveru i rijeke Save na jugu, pripadaju aluvijalnim naslagama, u kojima se nalazi regionalno crpilište „Istočna Slavonija“ (**BRIŠKI et al., 2013**). Regionalno crpilište „Istočna Slavonija“ se ističe velikom izdašnošću, izuzetnom kakvoćom i radi se o području, koje je u „Strategiji upravljanja vodama“ (**NN 91/08**) označeno kao područje sa strateški važnim zalihama pitke vode za Republiku Hrvatsku. Zahvaćeni vodonosnik na lokaciji crpilišta nalazi se na tri dubinska intervala od 24 do 70 m, dok ukupna debljina zahvaćenih slojeva vodonosnika je od 50 do 60 m. Na području istočne Slavonije postoji više desetaka vodoopskrbnih sustava, od kojih su samo četiri veća Trslana–Đakovo, Jelas–Slavonski Brod, Kanovci–Vinkovci i Cerna–Cerna (**PEKAŠ & BRKIĆ, 2007**). Ukupna izdašnost svih crpilišta iznosi oko 1.100 l/s. Na skoro svim

crpilištima, osim na crpilištu „Trslana“ Đakovo, potrebna je prerada vode. Uređaji za preradu vode postoje u Slavonskom Brodu, Vinkovcima i Lipovcu. Regionalno crpilište „Istočna Slavonija“ s kapacitetom od 1.000 l/s, osigurava potrebe za vodom područja od rubnih dijelova Slavanskog Broda na zapadu do Vinkovaca, Tovarnika, Županje i Gunje na istoku, u kojem živi približno 300.000 stanovnika. Ovakav značajan prirodni resurs nužno je zaštititi od antropogenih utjecaja i očuvati prirodnu kakvoću podzemne vode, ponajprije zaštitom regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“.

Prve kemijske i bakteriološke analize su pokazale da su podzemne vode na lokaciji regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ izuzetno dobre prirodne kakvoće. S obzirom na geološke i hidrogeološke značajke područja istraživanja postoji vrlo dobra mogućnost zaštite podzemnih voda. Međutim, zbog naglog razvoja poljoprivredne proizvodnje i urbanizacije sve su intenzivniji antropogeni pritisci, koji mogu utjecati na promjenu kakvoće podzemnih voda. Mjerenjem radioaktivnosti u umjetnim gnojivima i vodama na lokaciji vinkovačkog crpilišta zaključeno je da je visoka koncentracija urana u površinskim i plitkim podzemnim vodama te vodama iz drenažnih kanala uzrokovana primjenom umjetnih gnojiva u poljoprivredi (**BARIŠIĆ et al., 1990, 1992**).

Prethodni rezultati istraživanja, na promatranom području, su pokazali da su podzemne vode u vodonosnim slojevima, iz kojih se crpi voda za potrebe vodoopskrbe dobre kakvoće. Međutim, zapaženo jest da vrijednosti pojedinih pokazatelja, primjerice arsena, mangana i željeza pokazuju postupnu promjenu u vremenu. Uz navedeno, rezultati kemijskih i bakterioloških analiza pokazali su da u plitkim procjednim slojevima postoji onečišćenje podzemnih voda nekim organskim spojevima (**MAYER et al., 1981; BAČANI, 1988; BRKIĆ et al., 2008**). Stoga je, unatoč povoljnim geološkim i hidrogeološkim značajkama na promatranom području, potrebno procijeniti mogući utjecaj različitih izvora onečišćenja na kakvoću podzemnih voda.

S obzirom na ove pokazatelje, proizašla je i temeljna hipoteza ovog rada: u širem području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ postoji značajan rizik od onečišćenja podzemnih voda, koji je uzrokovan poljoprivrednom aktivnošću. Cilj istraživanja je utvrditi je li postavljena hipoteza točna, te ukoliko jest, utvrditi

kvantitativnim metodama koji dio priljevnog područja je najranjiviji u odnosu na karakteristične onečišćujuće tvari.

2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

2.1. Geološka istraživanja

Geološka istraživanja istočne Slavonije mogu se opisati kao nesustavna istraživanja, koja su često potaknuta znanstvenim istraživanjima pojedinih autora.

Već u 19. stoljeću geološke karte austrijskih i mađarskih geologa prikazuju kvartarne naslage istočne Slavonije. **GORJANOVIĆ-KRAMBERGER (1913,1922)** dao je značajan doprinos poznavanju prapornih naslaga istočne Slavonije, kao i doprinos poznavanju fosilnih sisavaca iz tog doba, a čije ostatke u aluvijalnom nanosu rijeke Save nalazi i **GRIMMER (1899)**.

Višedisciplinarna geološka i geofizička istraživanja istočne Slavonije započinju krajem pedesetih godina u okviru naftnogeoloških istraživanja, koja su rezultirala brojnim konstatacijama o litostratigrafskom sustavu i strukturno-tektonskim odnosima naslaga u dubini. Tako **ZELJKO (1972)** ističe da se na profilu duboke refrakcijske sezmike u području Slavonski Brod-Beli Manastir, Mohorovičićev diskontinuitet nalazi na dubini od 28 do 32 km i presječen je glavnim uzdužnim potolinskim rasjedom. Litološki sastav naslaga tercijara **HERNITZ (1970)** je uspoređivao sa brzinama širenja elastičnih valova i ukazao na njihovu podudarnost, te je na temelju velikih i naglih razlika u brzini valova u „Vukovarskoj formaciji“ objasnio izrazitu litofacijsnu raznolikost miocena.

S obzirom na konačni cilj (istraživanje ugljikovodika), naglasak rješavanja stratigrafske problematike tada je bio fokusiran na stijene u podlozi tercijara i stijene tercijara, dok kvartarne taložine najčešće nisu bile predmetom istraživanja **BAČANI (1997)**. Unutar tercijarnih naslaga **ŠIMON (1973)** je definirao pet litostratigrafskih jedinica u rangu formacije tako da su u najmlađoj Vuka-formaciji obuhvaćeni sedimenti vršnih dijelova pliocena i kvartarne taložine.

HERNITZ (1983) u svojoj disertaciji, zapravo monografskom radu o dubinskoj geološkoj građi istočne Slavonije, koristeći analizu i sintezu višedisciplinarnih istraživanja naglašava da istraživani prostor ne pripada jedinstvenom sedimentacijskom prostoru, već da se izdvajaju, u skladu s tektonskom podjelom, tri

predjela: Dravska potolina, dio Slavonsko-srijemske potoline i Đakovačko-vinkovački timor. Također, autor je definirao najmlađe, kvartarne naslage kao „rastresiti pokrivač“, odnosno naslage od površine terena do uvjetnog markera Q, te da taj interval obuhvaća taložine približno do granice između srednjeg i donjeg pleistocena. **CRNKOVIĆ & BUŠIĆ (1970)**, **URUMOVIĆ et al. (1978)**, **HERNITZ (1983)**, **MUTIĆ (1988)** i **GALOVIĆ et al. (1989)** ističu da je u slavonsko-srijemskoj potolini poplavni pojas holocena nastao intenzivnim procesima naplavljivanja Save i njezinih pritoka, a također i spiranjem i pretaložavanjem materijala s lesnog ravnjaka.

Temeljna obilježja tektonike istraživanog prostora dali su radijalni tektonski pokreti, koji su stvorili blokove (đakovački, vukovarski i erdutski) i depresije (savska i dravska) (**HAČEK & OLUIĆ, 1969**). O tektonskim odnosima na području istočne Slavonije u više navrata pisali su **PRELOGOVIĆ & KRANJEC (1974)** i **HERNITZ (1983)**. **KRANJEC & PRELOGOVIĆ (1974)** utvrdili su da su najmlađi tektonski pokreti u sjevernoj Hrvatskoj, najčešće u svezi sa sustavima starijih rasjeda. **HERNITZ (1983)** ističe da su tektonska obilježja istočne Slavonije posljedica tektonskih kretanja, dok su reversni rasjedi rjeđi.

Tektoniku Slavonsko-srijemske potoline opisao je **BARIŠIĆ (1986)**, naglašavajući da su osim prije poznatih sustava rasjeda koji su posljedica radijalne tektonike, prisutni i reverzni rasjedi, koji su nastali uslijed tangencijalnih kretanja u dodirnom području čvrstih, izdignutih struktura i labilnih potolinskih dijelova.

CVIJANOVIĆ (1969) je obradio seizmičke značajke Slavonije te je iznio da su potresi najučestaliji u području Đakovačko-vinkovačkog ravnjaka i Dilj gore. **PRELOGOVIĆ (1975)** smatra da je tektonska aktivnost na istraživanom prostoru bila najintenzivnija tijekom pontaa. Autor također ističe da je područje između Našica i Vinkovaca najlabilnije, uz brzo mijenjanje taložnih uvjeta, naročito duž rubnih rasjeda Đakovačko-vinkovačkog ravnjaka. **PRELOGOVIĆ & CVIJANOVIĆ (1976)** su ustanovili da se, osim uzdužnih rasjeda, uz potoline i horstove, nalaze i rasjedi dijagonalni i poprečni na njih, duž kojih su bili najveći pomaci u kvartaru.

Na temelju podataka vodoistražnih i istražnih bušotina za naftu te pratećih laboratorijskih analiza **URUMOVIĆ et al. (1978)** raščlanjuju kvartarne naslage u Slavonsko-srijemskoj potolini na: donji, srednji i gornji pleistocen i holocen. Autori ukazuju da granicu između više nepropusnih naslaga u podini i propusnih pješćanih

naslaga u krovini predstavlja uvjetni marker Q' na granici donjopleistocenskih i srednjopleistocenskih naslaga. **URUMOVIĆ & SOKAČ (1974)** navode porast debljine kvartarnih naslaga na profilu od Županje (260 m) do Gradišta (400 m).

Značajan doprinos poznavanju paleontološke i biostratigrafske problematike kvartara ovih prostora dala je **SOKAČ (1976)**, te je na temelju fosilnog sadržaja nekih bušotina u istočnoj Slavoniji izvršila stratigrafsku podjelu kvartarnih naslaga na pretpostavljeni donji i sigurno dokazani srednji i gornji pleistocen.

Na temelju brojnih minerološko-petrografskih analiza uzoraka iz bušotina i površinskih izdanaka **MUTIĆ (1988, 1990, 1993)** na istraživanom prostoru ističe terigeno-mineralne provincije u Dravskoj potolini, lesnom ravnjaku i Slavonsko-srijemskoj potolini. Autorica je utvrdila da naslage Dravske i Slavonsko-srijemske potoline izgrađuju pretežito terigeno-fluvijalni materijali, koji su u Dravsku potolinu transportirani sa zapada, a u Slavonsko-srijemsku potolinu s juga i jugozapada. Eolskog porijekla su naslage prapornih ravnjaka.

Morfogenetske i geomorfološke značajke prapornih prostora Slavonije opisuje **BOGNAR (1975, 1980, 1990)** te raspravlja o praporu sličnim naslagama i definira prapor fluvijalnog porijekla.

JANEKOVIĆ (1970) je objavio rezultate pedoloških istraživanja Slavonije, a proučavajući tla Đakovačkog ravnjaka **JANEKOVIĆ et al. (1976)** tumače razvoj beskarbonatnog prapora.

2.2. Hidrogeološka istraživanja

Regionalna hidrogeološka istraživanja u prisavskom dijelu istočne Slavonije započela su 70-tih godina prošlog stoljeća s ciljem definiranja hidrogeoloških odnosa na širem prostoru prisavskog dijela istočne Slavonije, a ujedno se rješavala vodoopskrba pojedinih mjesta na istraživačkom prostoru **RIMAC et al., (1977, 1977a, 1977b, 1977c, 1980, 1981, 1984, 1985)**.

Prvi istraživački radovi započinju i nešto ranije na području Vinkovaca, a obradom podataka **URUMOVIĆ et al. (1973)** izdvajaju tri vodonosna sloja do dubine od 140 m.

Autori su zaključili da se vodoopskrba može zasnivati na eksploataciji prvog vodonosnog sloja, zbog mogućnosti prihranjivanja infiltracijom oborina.

Istraživanja za potrebe vodoopskrbe Vinkovaca se nastavljaju tijekom 1974. godine. Iste godine vrše se opsežna istraživanja istočne Slavonije te se izvode po jedna strukturno-piezometarska bušotina i po jedan zdenac u Gradištu, Otoku, Andrijaševcima, Strizivojini, Đakovu-Trslani i Drenovcima. Također pet strukturno-piezometarskih bušotina izvodi se na prostoru između Babine Grede i Save. **URUMOVIĆ (1974)** procjenjuje da je na lokaciji Štitar moguće dobiti znatne količine vode. Podaci dobiveni navedenim istraživanjem korišteni su za određivanje rezervi podzemnih voda u istočnoj Slavoniji. **URUMOVIĆ et al. (1976)** izdvajaju lokacije Štitar i Županja kao pogodne za izradu regionalnog crpilišta. Prema istim autorima, lokacije Vinkovaca, Đakova i Drenovaca, su povoljne za izradu grupnih crpilišta. Navedena istraživanja se smatraju prvom fazom hidrogeoloških istraživanja na području istočne Slavonije.

Na prostoru sjeverne Hrvatske **MILETIĆ et al. (1975, 1975a)** izdvajaju dvije hidrogeološke zone po dubini. Temperatura vode u prvoj zoni kreće se do 20° C, a ukupna mineralizacija otopljenih mineralnih tvari do 2000 mg/l. Na prosječnoj dubini od 164 m u savskom, odnosno na dubini od 152 m u dravskom području, jest granica između prve i druge zone, nakon koje su vrijednosti mineralizacije i temperature više od gore navedenih.

U odnosu na geološki okvir hidrogeoloških značajki savske doline, **MILETIĆ & URUMOVIĆ (1975)** navode kako su diferencijalni tektonski pokreti u istočnoj Slavoniji manje izraženi nego u ostalom dijelu Savske depresije, pa su postojali uvjeti za stvaranje prostranijih arteških pješčanih horizonata čiji je kontinuitet prekidan uglavnom duž starijih rasjeda koji su se reaktivirali u najmlađe doba. **MILETIĆ et al. (1976)**, na prostoru istočne Slavonije izdvajaju pjeskovite vodonosne naslage s arteškom vodom iz kojih je moguća ograničena eksploatacija podzemne vode, a na užem prostoru uz Savu izdvajaju šljunkovito-pjeskovite riječne nanose u kojima postoji mogućnost intenzivne eksploatacije podzemne vode.

Izvedbom jednog pokusno-eksploatacijskog zdenca i jedne strukturno-piezometarske bušotine 1977. godine u Starim Jankovcima, Nijemcima, Lipovcu, Ivankovu, Starim Mikanovcima, Velikoj Kopanici, Kruševici, Gunji, Babinoj Gredi, Cerni, Semeljcima,

Koritni, Starim Perkovcima i Nuštru, te po jedne strukturno-piezometarske bušotine u Slavonskom Šamcu i Đakovu, nastavljena su hidrogeološka istraživanja na području istočne Slavonije. Nešto kasnije **MILETIĆ et al. (1978)** podijelili su područje prisavskog dijela istočne Slavonije prema mogućnosti izrade crpilišta.

Područje pogodno za izradu regionalnog crpilišta isti autori nalaze između Save i linije Stari Perkovci-Velika Kopanica-Babina Greda–Štitar–Županja.

Na lokaciji Vinkovci-Kanovci, hidrogeološka istraživanja nastavljena su 1978. i 1981. godine izvedbom strukturno-piezometarskih bušotina i zdenaca. Istraživanja su provedena zbog nedovoljnih količina vode u prvom vodonosnom sloju, te se po prvi puta jednim od zdenaca zahvaća i drugi vodonosni sloj. **MILETIĆ et al. (1981)** interpretacijom dobivenih podataka zaključuju da su u prijašnjim procjenama zalihe podzemne vode lokacije bile precijenjene, te da je ograničena mogućnost njihova obnavljanja. Autori su procijenili da će se uz planiranu količinu crpljenja podzemna voda rudariti uz neprestan pad razine podzemne vode. Autori nadalje ističu da je voda u drugom vodonosnom sloju loše kvalitete i da obnavljanje potpuno izostaje, te je stoga predložen nastavak radova na organizaciji regionalnog vodoopskrbnog sustava.

Istraživanja lokacije Trslana-Đakovo provode se 1980. godine. **MILETIĆ et al. (1980)** izrađuju matematički model istraživanog prostora, te u sklopu studije eksploatacijskih rezervi podzemnih voda, autori zaključuju da su količine prvog vodonosnog sloja ograničene zbog nemogućnosti procjeđivanja kroz propusne međuslojeve. Iste godine **MILETIĆ et al. (1980a)** zaključuju da je za rješavanje vodoopskrbe Slavanskog Broda i okolnih mjesta hidrogeološki najpovoljnije područje između Divoševaca, Andrijevac i Starih Perkovaca.

Analizom podataka prikupljenih tijekom istraživanja prethodnih godina, **MILETIĆ et al. (1981b)** utvrđuju hidrauličke veze šljunkovitog vodonosnog sloja s rijekom Savom i vrše bilanciranje rezervi podzemnih voda. Na osnovu prikupljenih podataka na promatranom prostoru izdvajaju četiri vodonosna sloja do dubine 200 m. Autori utvrđuju da je obnavljanje podzemne vode moguće procjeđivanjem rijeke Save zbog izravne hidrauličke veze i infiltracijom oborina, osobito u prostoru bliže rijeci Savi, zbog razmjerno tankog pokrova.

Studija rezervi podzemnih voda u prvom vodonosnom sloju za izbor lokacije regionalnog crpilišta (MILETIĆ et al., 1981a) i studija *Kvaliteta i zaštita podzemnih voda slavonske Posavine (MAYER et al., 1981)* rezultirale su izborom lokacije za regionalno crpilište na potezu između Velike Kopanice i Babine Grede. Autori obje studije su suglasni da je navedena lokacija najkvalitetnija po litološkom sastavu i debljini. Na definiranoj lokaciji voda je najbolje kvalitete, a osim toga, lokacija je podjednako udaljena od budućih korisnika Vinkovaca, Đakova, Županje i Slavonskog Broda. Uz navedeno **MAYER et al. (1981)** u okviru spomenute studije utvrđuju i ističu prisutnost tragova pesticida u podzemnoj vodi na području istočne Slavonije. Iako su zabilježene koncentracije znatno niže od dopuštenih koncentracija, njihova je prisutnost u podzemnoj vodi ukazala na realnu opasnost od onečišćenja od poljoprivrednih aktivnosti.

Terenski radovi na odabranoj lokaciji regionalnog crpilišta nastavljani su 1984. godine. Podaci bušenja, pokusnog crpljenja, granulometrijskih, geomehaničkih analiza tla i kemijskih analiza vode prikazani su u studiji *Regionalno crpilište istočne Slavonije-Studija rezervi podzemnih voda. II faza MILETIĆ et al. (1985a). MILETIĆ et al. (1986)* matematičkim modeliranjem i analizama vode potvrđuju pretpostavku o kvaliteti sloja i količinama vode, no utvrđuju da je na navedenom području koncentracija željeza, mangana, amonijaka i sumporovodika iznad vrijednosti koja je dopuštena u pitkoj vodi. Iste godine **MILETIĆ et al. (1986b)** izrađuju stručnu podlogu o rezervaciji prostora, za izgradnju i zaštitu regionalnog crpilišta istočne Slavonije.

Zbog potreba za dodatnim količinama vode na lokaciji Kanovci 1985. godine nastavljaju se hidrogeološka istraživanja u području istočne Slavonije, tijekom kojih su i izrađene nove istražne bušotine i zdenci. Navedeni istražni radovi napravljeni su na temelju prijedloga Programa koje su dali **MILETIĆ et al. (1985)**. Analizom svih raspoloživih podataka i simulacijom pomoću matematičkog modela **MILETIĆ et al. (1986a)** procjenjuju zalihe podzemnih voda na lokaciji Kanovci. **KOVAČIĆ et al. (1986)** računaju količinu vode koja se oslobađa uslijed konsolidacije uzrokovane sezonskim padom tlaka na primjeru vinkovačkog crpilišta i zaključuju kako ona predstavlja preko 50 % eksploatacijske količine vinkovačkog crpilišta.

Na prostoru istočne Slavonije u savskom slivu, **MILETIĆ et al. (1986c)** utvrđuju četiri vodonosna sloja. Prvi vodonosni sloj koji se prostire uz Savu, šljunkovitog je sastava,

sadrži značajne zalihe podzemne vode, te ima mogućnost prihranjivanja infiltracijom oborina i dotokom iz rijeke Save u uvjetima eksploatacije. Drugi vodonosni sloj, pjeskovitog sastava, prostire se na cijelom području istočne Slavonije i ima ograničene mogućnosti obnavljanja. Treći i četvrti vodonosni slojevi se prostiru na cijelom području, pjeskovitog su sastava, ograničenih su zaliha podzemnih voda i s vrlo malom mogućnošću obnavljanja te problematičnom kvalitetom vode. Za isti prostor **CAPAR (1992)** daje proračun rezervi s prijedlogom rješavanja vodoopskrbe.

1987. i 1988. godine ponovno se pristupilo izradi istražnih bušotina i zdenaca na lokaciji Kanovci. U okviru istražnih radova **BAČANI et al. (1989)** vršili su ažuriranje podataka o radu crpilišta, kvaliteti podzemne vode, nivograma. Autori su potvrdili zaključke iz prethodne studije o ograničenim količinama vode na ovoj lokaciji, kao i činjenicu da voda dubljeg vodonosnog sloja sadržava elemente štetne za zdravlje. Osim navedenog, autori predlažu brzu realizaciju regionalnog vodovoda ili istraživanje novog subregionalnog crpilišta.

Zbog važnosti vodonosnog sloja Vinkovci, **MILETIĆ et al. (1989)** su izradili matematički model radi procjene zaliha vode. Autori su zaključili da vodonosni sloj nema kontinuirano prostiranje na cijelom prostoru te da je, kontinuitet prekinut na području Županjske strukturne grede. Zbog nehomogenosti sloja, zapadno od Županjske grede izdvajaju se četiri djelomično samostalne hidrauličke cjeline. Jedna od cjelina je područje uz rijeku Savu, u kojem je utjecaj rijeke Save izrazit. Područje podzemnog sliva Vinkovaca je druga cjelina, u kojem je utjecaj rijeke Save znatno prigušen. Treća cjelina je područje podzemnog sliva Đakova, kao samostalna hidraulička cjelina, i područje kontinentalnog prapora Đakovačko-vinkovačkog i Vukovarskog platoa, gdje infiltracija oborina utječe na rezerve podzemnih voda. Zbog svega navedenog autori ponovno upućuju na činjenicu da je konačno rješenje vodoopskrbnog problema istočne Slavonije izgradnja centralnog regionalnog crpilišta. Iste godine **MILETIĆ et al. (1989a)** vrše interpretaciju dosadašnjih hidrogeoloških podataka za podlogu novelacije studije hidrotehničkog rješenja regionalnog vodovoda istočne Slavonije.

GRGIĆ et al. (1992) mjerenjem radioaktivnog ugljika i tricija u uzorcima podzemnih voda zaključuju da đakovačko i vinkovačko crpilište predstavljaju dva odvojena hidrodinamička sustava s različitim brzinama infiltracije (u Đakovu je brzina infiltracije

puno veća) i s različitim područjem prihranjivanja. Na opasnost od onečišćenja podzemnih voda mineralnim dušičnim gnojivima na području istočne Slavonije upozorava **BAČANI (1988)**.

Nedostatak ideje o izgradnji regionalnog crpilišta, kao i trajni nedostatak vode na crpilištu Kanovci, uvjetovali su traženje nove lokacije crpilišta za vodoopskrbu Vinkovaca. **MILETIĆ et al. (1991)** zaključuju da se crpljenje u Cerni, kao novo odabranoj lokaciji, mora zasnivati na eksploataciji vodonosnog sloja Nijemci. Na temelju provedenih vodoistražnih radova **KLANJAC & RATKAJ (1993, 1996)** u razdoblju od 1993. do 1996. godine, definirana je konačna lokacija subregionalnog crpilišta „Cerna“ i to na području između Cerne i Šiškovača. Analizama je utvrđeno da voda iz zdenaca na lokaciji subregionalnog crpilišta Cerna sadržava povećane koncentracije arsena, mangana, amonijaka, dušika, fosfata, ukupnog fosfora te organskih tvari (**SIPOS et al., 1999**). Ističe se da, s obzirom na sadržaj amonijaka, kao kritičnog pokazatelja u vodi, sirova voda, koja se prerađuje na postrojenju „Kanovci“ u Vinkovcima, može sadržavati najviše 36 % vode vodocrpilišta „Cerna“. U navedenom obliku crpilište je korišteno za potrebe vodoopskrbe grada Vinkovaca sve do priključenja grada na Regionalni vodovod Istočne Slavonije, odnosno na crpilište „Istočna Slavonija“ Sikirevci. Konceptiju o kontinuiranosti vodonosnih slojeva na području istočne Slavonije u savskom slivu mijenjaju **MILETIĆ et al. (1993)**, koji dokazuju kako je na tom prostoru prisutna daleko veća nehomogenost naslaga nego se to ranije mislilo.

Početkom 90-tih godina izrađen je projekt višenamjenskog kanala Dunav-Sava, a projektirana trasa prolazila je između pokusno-eksploatacijskih zdenaca na planiranom crpilištu Velika Kopanica-Babina Greda. **MILETIĆ & GRGIĆ (1989)** su utvrdili da je u prva 4 km kanal ukopan u prvi vodonosni, sloj čime je omogućena izravna veza kanala i podzemne vode. Analizom podataka, dobivenih istraživanjem utjecaja kanala Dunav-Sava na kvalitetu vode u području budućeg regionalnog crpilišta, **BAGARIĆ et al. (1995)** dokazuju da je zahvaćenu vodu s crpilišta potrebno pročišćavati radi prekomjernih koncentracija željeza i amonijaka.

Zbog potrebe realizacije projekta višenamjenskog kanala, nova lokacija crpilišta definirana je južno od postojećih zdenaca, na lokaciju Gundinci-Sikirevci-Jasinjski kanal.

Nakon provedenih vodoistražnih radova, kakvoća podzemne vode na navedenoj lokaciji pokazuje povećanu koncentraciju željeza i mangana. **SIPOS et al. (1999)** utvrđuju znatne količine arsena u podzemnoj vodi, prilikom dimenzioniranja uređaja za pročišćavanja vode. Kako i nakon izbora druge lokacije budućeg crpilišta nije došlo do realizacije crpilišta, 2004. godine potaknuta su daljnja hidrogeološka istraživanja, u cilju definiranja eksploatacijskih zaliha podzemne vode na potencijalnom crpilištu „Gundinci-Sikirevci“ te izrade podloga za definiranje zona sanitarne zaštite budućeg crpilišta u skladu s *Pravilnikom o utvrđivanju zona sanitarne zaštite izvorišta* (NN, 55/02), **BRKIĆ et al. (2005)**.

Na temelju provedenih vodoistražnih radova (**SVETINA et al., 2005, 2007; TUSIĆ et al., 2006**), u razdoblju od 2005. do 2008. godine definirana je konačna lokacija regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“, na području između Gundinaca i rijeke Save (**PEKAŠ & BRKIĆ, 2007**). Izvedeno je osam pokusno-eksploatacijskih zdenaca i 26 strukturno-piezometarskih bušotina.

BRKIĆ et al. (2008) su uz pomoć matematičkog modela strujanja podzemne vode definirali eksploatacijski režim crpljenja na crpilištu regionalnog vodovoda Istočne Slavonije u Sikirevcima. Izradom konceptualnog modela na širem području crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci definirana je geološka podloga modela, hidrogeološki parametri vodonosnika i rubni uvjeti modela, te se konstatira da se crpljeni vodonosnik proteže i na desnoj obali Save, što ga čini prekograničnim vodonosnikom (**BRIŠKI et al., 2013**). Autori ističu da bi se u uvjetima velikih crpnih količina mogao formirati tok prema crpilištu i ispod rijeke Save.

Za istraživano područje (šire utjecajno područje regionalnog crpilišta) koje se nalazi na prostoru Federacije Bosne i Hercegovine **SRKALOVIĆ (2010)** je definirao vodna tijela podzemnih voda, s prostornog, geološkog i hidrogeološkog aspekta. Isti autor je primjenom DRASTIC, GLA, PI i EPIK metoda definirao prirodnu ranjivost vodonosnika u istraživanom području.

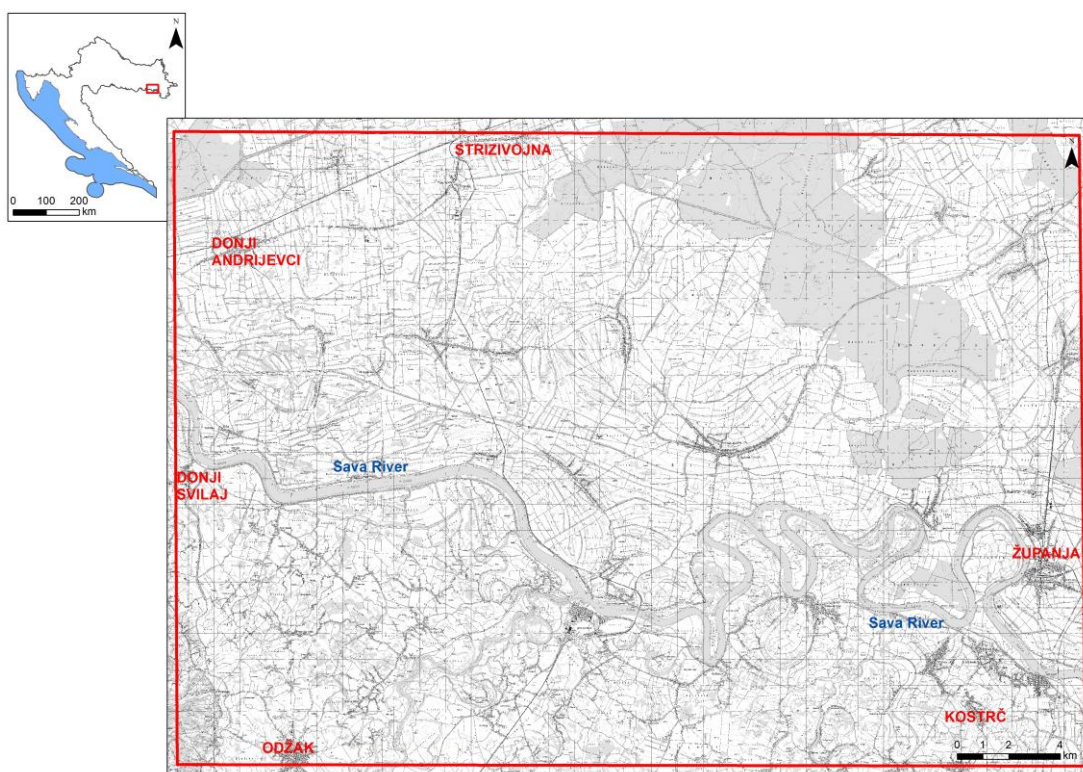
Za područje istočne Slavonije do danas nije određena niti prirodna niti specifična ranjivost vodonosnika. Na drugim područjima u Republici Hrvatskoj je provedeno tek nekoliko istraživanja u cilju određivanja prirodne ili specifične ranjivosti podzemnih voda na onečišćenja.

BIONDIĆ et al. (2002) su, u suradnji sa slovenskim kolegama, primijenili SINTACS metodu za određivanje prirodne ranjivosti na slivu Rižane. **KAPELJ et al. (2005)** primijenili su COP i PI metodu radi procjene prirodne ranjivosti, hazarda i specifične ranjivosti na poliklorirane bifenile (PCB) u zadarskom zaleđu. U sklopu doktorske disertacije **BIONDIĆ (2005)** izrađuje karte prirodne ranjivosti na području sliva izvora Kupice. Uz navedeno **KAPELJ et al. (2007)** su primjenom COP metode odredili prirodnu ranjivost, hazard i rizik na prekograničnim vodonosnicima između Plitvičkih jezera i sliva rijeke Une. **LARVA (2008)** je primjenom SINTACS; DRASTIC, GOD i „Njemačke metode“ odredio prirodnu ranjivost vodonosnika, hazard i rizik u priljevnom području Varaždinskih crpilišta. **BIONDIĆ et al. (2009)** procjenjuju stanje rizika cjelina podzemnih voda na krškom području u Republici Hrvatskoj. U sklopu disertacije prilikom procjene prirodne ranjivosti parka prirode „Žumberak-Samoborsko gorje“, je koristila modificiranu COP metodu i pojednostavljene metode **VUJNOVIĆ (2010)**. Također u sklopu svoje doktorske disertacije **MEAŠKI (2011)** izrađuje model zaštite krških vodnih resursa na primjeru Nacionalnog parka „Plitvička jezera. Primjenom numeričkog modeliranja **FILIPOVIĆ (2012)** je u svojoj disertaciji izvršio procjenu kretanja vode i nitrata u uvjetima hidromorfni tala na području Biđ polja. **LOBOREC (2013)** je u sklopu svoje doktorske disertacije procijenila rizik od onečišćenja podzemnih voda u kršu, na području sliva izvora Jadra i Žrnovnice, primjenom SINTACS, EPIK, PI i COP metode, što je kasnije objavljeno u **KAPELJ et al. (2013)** i **LOBOREC et al. (2014)**. **BIONDIĆ et al. (2014)** u sklopu UNESCO-IHP projekta izrađuju kartu ranjivosti na području sliva izvora Žrnovnice u Novljansku. Također **BIONDIĆ et al. (2016a)** definiraju trendove i ocjenjuju stanje podzemnih voda na području krša u Hrvatskoj i izrađuju karte prirodne ranjivosti, hazarda i rizika za cjelokupno krško područje RH. Iste godine **BIONDIĆ et al. (2016b)** u sklopu međunarodnog projekta UNESCO-IHP primjenom KAVA metode procjenjuju ranjivost krških vodonosnika na području Bakarskog zaljeva.

3. ZEMLJOPISNE ZNAČAJKE

Regionalno crpilište „Istočna Slavonija“ Sikirevci smješteno je na području Brodsko-posavske županije, istočno od Slavonskog Broda i zapadno od Slavonskog Šamca, između naselja Sikirevci i rijeke Save. Prostor istočne Slavonije, obuhvaćen ovim istraživanjem, nalazi se na prostoru između Županje na istoku, Strizivojne na sjeveru i Donjih Andrijevaca na zapadu. Zbog karakteristika prostiranja kaptiranih vodonosnih slojeva na lokaciji regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci područje istraživanja je prošireno na prostor Federacije Bosne i Hercegovine i to do Kostrča na istoku, Donjeg Svilaja na zapadu i Odžaka na jugu (**slika 3.1**).

U nastavku teksta opisana su osnovna geografska i klimatska obilježja, te površinske vode istraživanog prostora. Grafički prikazi temperature zraka, količine oborina, relativne vlage, vodostaji i protoci rijeke Save temelje se na podacima Hidrometeorološkog zavoda Hrvatske za razdoblje od 2000. do 2014. godine.



Slika 3.1. Prostorni položaj područja istraživanja

Područje istraživanja prostire se u zoni tipičnog nizinskog reljefa s prosječnom nadmorskom visinom od 83,8 m (od 81,8 m n.m. do 85,6 m n.m.). U jugozapadnom dijelu istraživanog područja Federacije Bosne i Hercegovine i dalje prema Odžaku, nadmorska visina raste i doseže do 275 m n.m. (**slika 3.2**).



Slika 3.2. Reljefna karta s prikazom istraživanog područja

Unutar izrazito nizinskog istraživanog prostora u RH ističe se predio Đakovačko-vinkovačkog ravnjaka, na kojem su kote nešto više (od 111 m n.m. do 117 m n.m.). Đakovačko–vinkovački ravnjak je prirodni nastavak Krndije i Dilja. Ravnjak je prekriven eolskim sedimentima, te je ispresijecan mrežom dolinskih brazdi, pa ga po tome **GORJANOVIĆ-KRAMBERGER (1922)** ubraja u otvorene ravnjake. Stvaranje dolinske mreže inicirali su mlađi, poprečni rasjedi, a konačni oblik dala joj je erozija (**BAČANI, 1997**). Debljina prapora se kreće u rasponu od 10 do 30 m.

Đakovačko-vinkovački ravnjak i Vukovarski ravnjak dijele istočnu Slavoniju u geografskom i geološkom smislu u dva dijela: sjeverni i južni dio. Sjeverni dio pripada aluvijalno-podravskoj ravnici, odnosno istočnom dijelu Dravske potoline. Područje istraživanja se nalazi u južnoj, savskoj aluvijalnoj ravnici, odnosno Slavonsko-srijemskoj potolini.

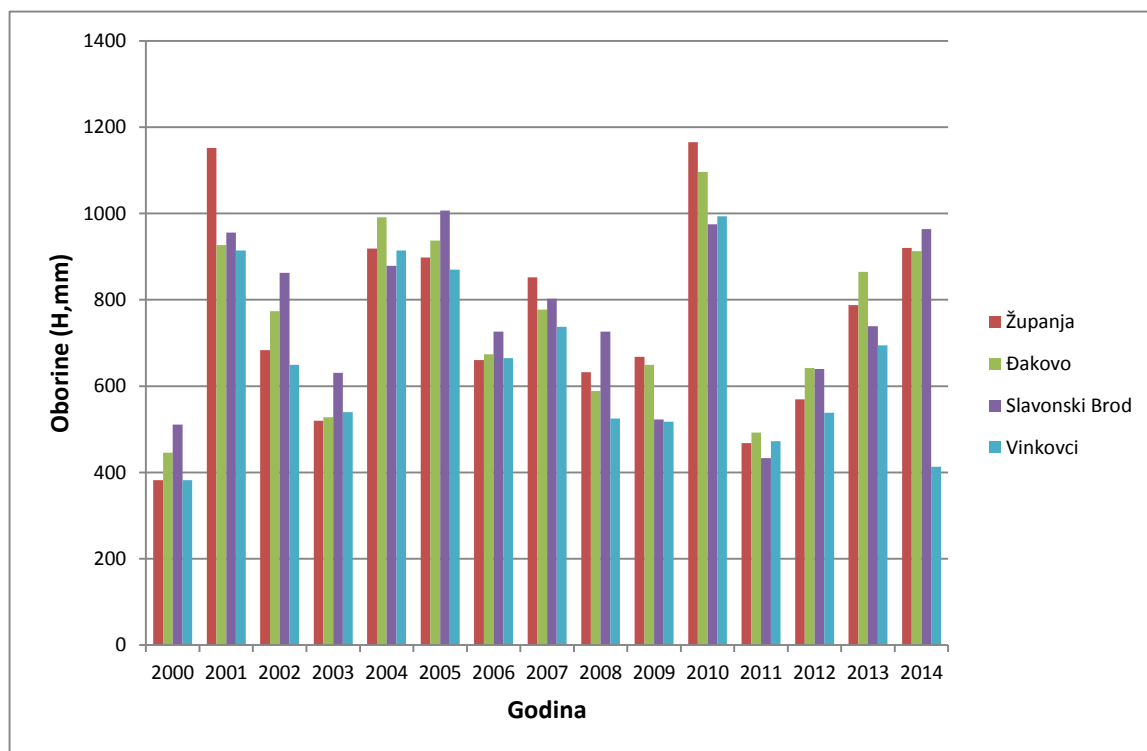
Na području Federacije Bosne i Hercegovine, sjeverno od Doboja pa do rijeke Save, korito rijeke Bosne presijecaju strukturni oblici zona horstova i rovova, koji su karakterizirani određenim facijesima stijena i tektonskim jedinicama, što se izravno odražava na karakteristike vodonosnika na tom području (**SRKALOVIĆ, 2010**).

Nizak teren u ravnicama pogoduje pojavi čestih poplava, prodoru podzemnih voda na površinu i održavanju močvarišta. Na području savske aluvijalne ravnice kote terena su, gotovo na cijeloj površini, ispod razina visokih voda Save. Izgradnja mreže otvorenih kanala malih dimenzija i nasipa na području istraživanja započinje početkom 19. stoljeća. Vremenom se dimenzija kanala povećavala, a izrađuje se i cijevna drenaža. Još i danas traje uređenje vodnog sustava kanala ovog područja, koji je osnovni preduvjet za uspješnu poljoprivrednu proizvodnju.

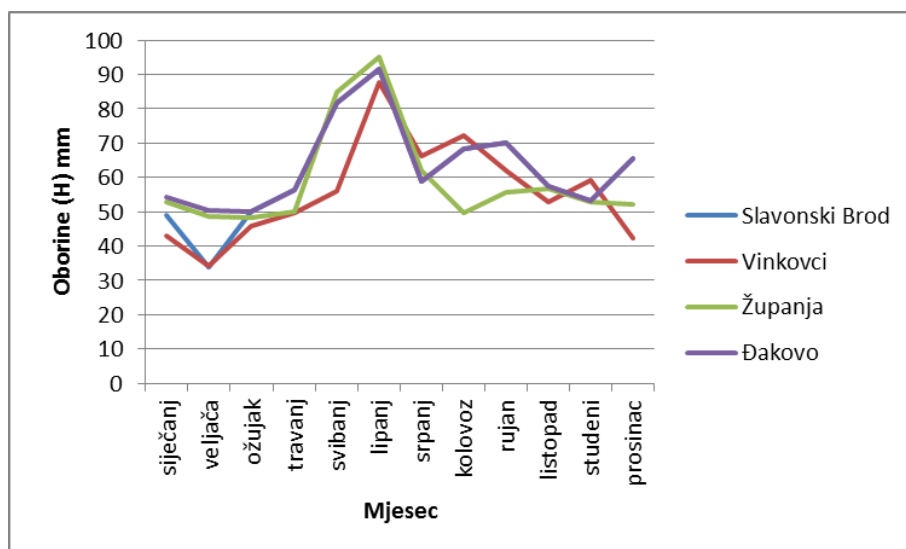
3.1. Klimatske značajke

Klima istraživanog prostora je umjereno kontinentalna (prijelaz iz semiaridne u semihumidnu), obilježena raznolikošću vremenskih situacija uz česte i intenzivne promjene tijekom godine.

Godišnje oborine na mjernim postajama Županja, Vinkovci, Đakovo i Slavonski Brod kroz promatrano razdoblje prikazane su na **slici 3.3**. Najveća prosječna količina oborina, za razdoblje od 2000. do 2014. godine (**slika 3.4**) na promatranim postajama, zabilježena je na mjernoj postaji Županja i iznosila je 773,2 mm, a najniža u Vinkovcima 671,5 mm. U prosjeku, najmanje oborina padne u mjesecu veljači (33,075 mm), a najviše u lipnju (106,1 mm). Također više oborina padne u toplijim dijelovima godine (travanj-rujan), a manje u hladnoj polovici godine (listopad-ožujak).

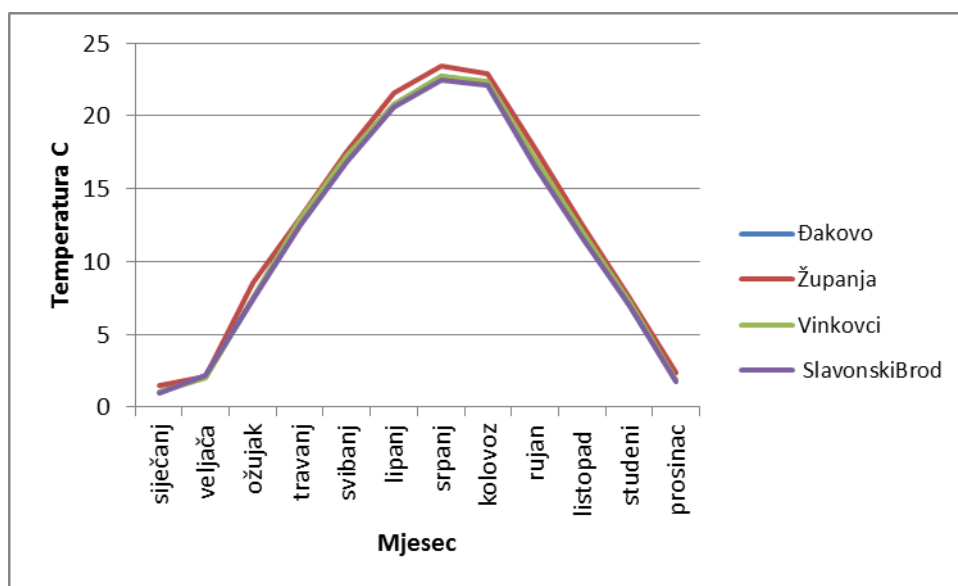


Slika 3.3. Srednje godišnje oborine za razdoblje od 2000. do 2014. godine na hidrometeorološkim postajama Slavonski Brod, Đakovo, Županja i Vinkovci



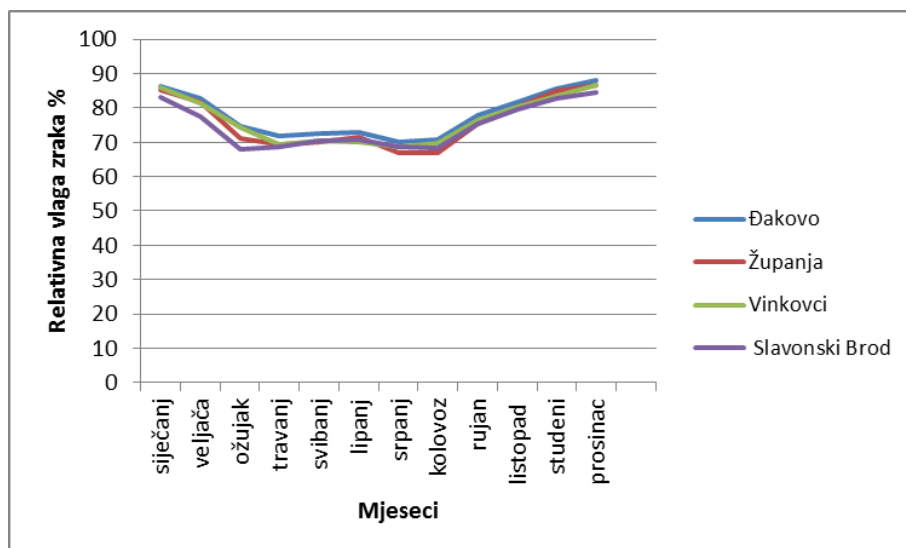
Slika 3.4. Unutrašnja raspodjela srednjih količina oborina u Slavonskom Brodu, Vinkovcima, Đakovu i Županji za razdoblje od 2000. do 2014. godine

Srednja mjesečna temperatura zraka u siječnju, u području istraživanja, iznosila je oko 1° C. Apsolutni minimum zabilježen je u Slavonskom Brodu (13. 1. 2003.) i iznosio je -27,4° C. Srednja ljetna temperatura za srpanj iznosi oko 22,8° C. Na **slici 3.5** je prikazana unutargodišnja raspodjela srednjih mjesečnih temperatura zraka u Slavonskom Brodu, Đakovu, Vinkovcima i Županji za razdoblje od 2000. do 2014. godine. Apsolutni maksimum ljetnih temperatura zabilježen je u Županji i iznosio je 40,5° C (27. 4. 2007.).



Slika 3.5. Srednje mjesečne temperature u Slavonskom Brodu, Vinkovcima, Đakovu i Županji za razdoblje od 2000. do 2014. godine

Srednja mjesečna vlažnost zraka (**slika 3.6**) kretala se na području istraživanja od 68 % (ožujak – Slavonski Brod) do 88 % (prosinac – Đakovo). Najviša vrijednost izmjerena je u prosincu 2005. i 2006. godine u Županji (93 %), dok je najniža zabilježena vrijednost u kolovozu 2000. godine (59 %) u Vinkovcima, Slavonskom Brodu i Đakovu.



Slika 3.6. Unutargodišnja raspodjela srednje mjesečne relativne vlaga zraka u Slavanskom Brodu, Vinkovcima, Đakovu i Županji za razdoblje od 2000. do 2014. godine

Istraživano područje Federacija Bosne i Hercegovine se nalazi u umjerenom klimatskom pojasu, s dosta oštrim zimama i toplim ljetnim mjesecima. Na temelju prikupljenih podataka za razdoblje od 1999. do 2012. godine na području FBiH, srednja temperatura zraka u ljetnim mjesecima iznosila je približno 30° C, a u zimskim periodima približno 19° C, sa srednjim godišnjim oborinama od 800 do 1200 mm (SRKALOVIĆ, 2010).

3.2. Površinske vode

U hidrografskoj mreži istraživanog prostora dominiraju rijeke Sava i Bosna. Sava je nizinska rijeka malena pada. Rijeka Sava teče od zapada prema istoku čineći brojne meandre. Sava kod Županje i Štitara meandira te skreće prema jugu, a kod Brčkog nastavlja put prema istoku. Bosna kod Bosanskog Šamca, Tolisa kod Županje i Tinja kod Brčkog su glavne južne pritoke Save u ovom dijelu njena toka. Južni pritoci rijeke Save gotovo pod pravim kutom utječu u nju, za razliku od sjevernih pritoka. Ušća sjevernih pritoka Sava potiskuje u nizvodnom smjeru, pa zato one dugo teku

usporedno s njom **(ROGLIĆ, 1975)**. Na obroncima Dilja skupljaju se vode Biđa, između Retkovaca i Gundinaca obilaze močvarišta, te se kod Cerne sastaju u Bosut. Kod Gradišta, Berava prelazi u Bosut, teče kroz Vinkovce, kod Lipovca prima Spačvu, a kod Morovića Studvu i napokon se kod mjesta Bosut ulijeva u Savu.

Prema nepotpunim podacima Hrvatskih voda za razdoblje od 2004. do 2015. godine, izuzimajući 2014. godinu, maksimalni srednji vodostaj Save kod Slavanskog Broda iznosio je 86,71 m n.m. (2002. godine), a minimalni srednji vodostaj Save iznosio je 82,44 m n.m. (2000. godine). Za isto razdoblje maksimalni srednji vodostaj Save kod Slavanskog Šamca zabilježen je 2000. godine i iznosio je 84,24 m n.m., a srednji minimalni vodostaj 79,53 m n.m. zabilježen 2003. godine. Srednji maksimalni vodostaj Save kod Županje iznosi 82,22 m n.m., a zabilježen je 2005. godine, dok je 2003. godine zabilježen najmanji srednji vodostaj Save i iznosio je 76,87 m n.m. Maksimalni vodostaj Save na mjernoj postaji Županja, dana 17. svibnja 2014. godine, iznosio je 88,11 m n.m., i znatno je veći nego maksimalni vodostaj koji je zabilježen 2005. godine.

Od svibnja 2014. godine kada je došlo do izlivanja rijeka Save i Bosne iz korita, i kada su zabilježene velike poplave, vodostaji na navedenim mjernim postajama znatno se razlikuju od ranije navedenih. Na dan probijanja nasipa na području naselja Rajevog Sela i Gunje (17. svibnja 2014. godine) prema podacima Hidrometeorološkog zavoda Hrvatske na mjernoj postaji Slavonski Brod zabilježen je vodostaj rijeke Save (91,09 m n.m.), koji je za 438 cm viši od maksimalnog u razdoblju od 2000. do 2009. godine. Na isti datum vodostaj rijeke Save kod Slavanskog Šamca iznosio je 89,61 m n.m., koji je za 436 cm viši nego maksimalno zabilježeni u razdoblju od 2000. do 2009. godine.

Na istraživanom području Federacije Bosne i Hercegovine rijeka Bosna ima vrlo razgranat sliv, s mnoštvom pritoka i potoka. Od izvora do ušća duga je oko 308 km s visinskom razlikom od 320 m. Glavne pritoke su joj Fojnička rijeka Lašva, Krivaja, Usora i Spreča. Na desnoj pritoci rijeke Bosne – Spreči, je izgrađena akumulacija Modrac, koja režim tečenja rijeke Spreče, nizvodno od brane, čini u potpunosti umjetnim. Od ukupne količine vode koja dođe na sliv, oko 38 % otječe, a preostali znatno veći dio se isparava ili se gubi putem evapotranspiracije **(SRKALOVIĆ, 2010)**.

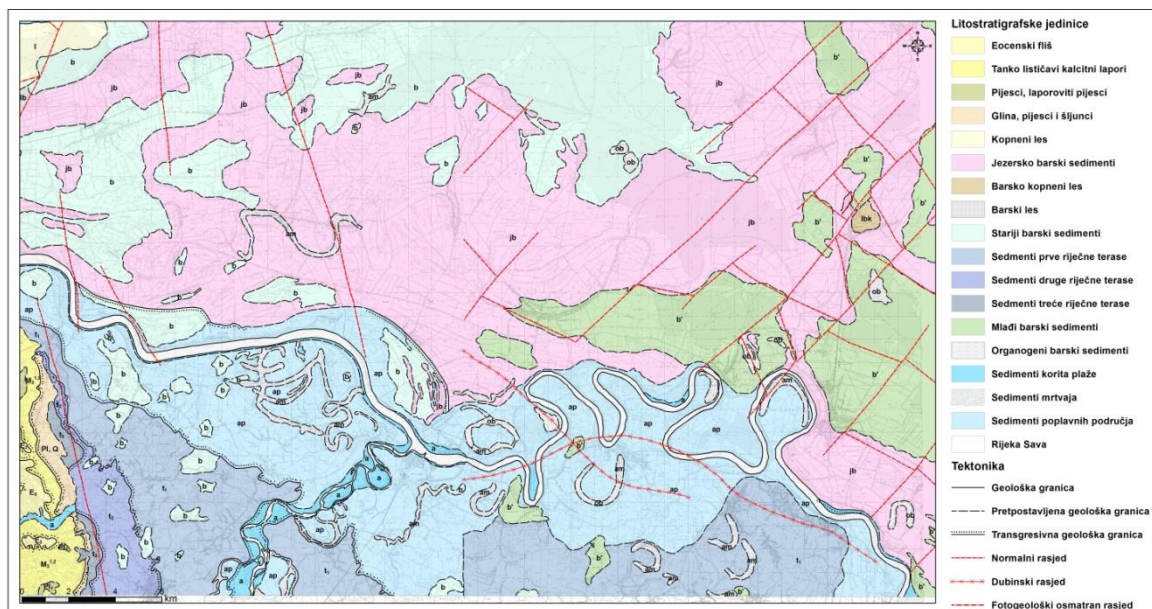
4. GEOLOŠKE ZNAČAJKE ŠIREG PODRUČJA REGIONALNOG CRPILIŠTA „ISTOČNA SLAVONIJA“

U detaljnom prikazu geološke građe terena, strukturnog sklopa i tektonskih aktivnosti korišteni su podaci prikupljeni kombinacijom različitih metoda istraživanja. Naslage, čiji se hidrogeološki odnosi rješavaju u okviru ovog rada, su palogenske, neogenske i kvartarne starosti. Također za prikaz geoloških odnosa korištena je geološka karta M 1:100.000, listovi Vinkovci (**BRKIĆ et al., 1989**) i Slavonski Brod, (**ŠPARICA et al., 1986**), te tumač za osnovnu geološku kartu, listovi Vinkovci prema **ŠPARICA et al., (1987)** i listovi Slavonski Brod prema **GALOVIĆ et al. (1989)**, te podaci iz objavljenih, znanstvenih i stručnih radova relevantnih za područje istraživanja. Iz elaborata fonda stručne dokumentacije Vinkovačkog vodovoda i kanalizacije d.o.o., Hrvatskog geološkog instituta, Zagreb, Vodovoda i kanalizacije OJDKP Šamac i JP Komunalac d.o.o. Odžak korišteni su rezultati litoloških determinacija jezgara strukturno-piezometarskih bušotina i eksploatacijskih zdenaca na crpilištima. Prikupljeni su i podaci iz objavljenih znanstvenih i stručnih radova.

4.1. Geološka građa terena

U središnjem dijelu južnog ruba područja Panonskog bazena, između Savske potoline na zapadu i Banatske potoline na sjeveroistoku smještena je Slavonsko-srijemska potolina. Slavonsko-srijemsku potolinu čine južna Slavonija, Srijem, Bosanska Posavina, Semberija i Mačva. Unutar istraživanog područja Slavonsko-srijemske potoline izdvojene su litostratigrafske jedinice pleistocenske i holocenske starosti (**slika 4.1**). Na području istraživanja nema površinskih izdanaka pliocena. Pojačana tektonska aktivnost na prijelazu pliocena u kvartar izražena je diferencijalnim pokretima. U Slavonsko-srijemsku potolinu glavninu materijala donosile su rijeke koje se mogu usporediti s današnjom Bosnom, Ukrinom i Drinom, te vodotoci s Dilja. Glavni smjer transporta je od juga prema sjeveru, pa se u tom smjeru smanjuje udio krupnozrnatih čestica u naslagama koje su se ovdje istaložile.

Tako je na jugu uz Savu odlagan šljunak, a prema sjeveru pijesak različite veličine zrna.



Slika 4.1. Karta litostratigrafskih jedinica i tektonika istraživanog prostora (prema **BRKIĆ et al. 1989** i **ŠPARICA et al. 1986.**)

Područje istraživanja koje se nalazi na području sjeveroistočne Bosne (Federacija Bosne i Hercegovine) nalazi se u Središnjim i Unutrašnjim Dinaridima. U osnovi se tu nalaze gornjokredni sedimenti, preko kojih leže paleocenski-eocenski vapnenci pa eocenski fliš, karbonati i klastiti neogena, te klastiti pliocena i kvartara (**SRKALOVIĆ, 2010**). U sklopu istraživanja izdvojene su litostratigrafske jedinice od paleogenske do kvartarne starosti.

Smanjenje veličine zrna od podine vodonosnika prema krovini, izraženo je kod krupnoklastičnih slojeva. Intenzivnu eroziju i promjene hidroloških uvjeta, koji su varirali od poplavnih do sušnih, u razdoblju krajem interglacijala i početkom glacijala omogućila su klimatska kolebanja. Periodi plavljenja praćeni su intenzivnom erozijom bosanskog i slavonskog gorja i transportom erodiranog materijala u niže dijelove bazena, pri čemu su formirane krupnoklastične naslage u močvarama i jezerima. Jezera i močvare u kojima su se pretežno taložile glinovito-prašinate naslage s

tanjim proslojcima tresetnog materijala održavala su se tijekom razdoblja siromašnih vodom (**NAKIĆ et al., 2004**).

Litostratigrafske jedinice su grupirane prema razdobljima kojem pripadaju i detaljno su raščlanjene (**BRKIĆ et al., 1989; ŠPARICA et al., 1986**). Primjenom GIS tehnologije (Geografski Informacijski Sustav – eng. "Geographic Information System"), upotrebom ArcGis softvera američke tvrtke ESRI (**ESRI, 2012**) definirana je površinska zastupljenost pojedinih geoloških jedinica i rezultati su prikazani u **tablici 4.1**.

Stijene kvartarne starosti izgrađuju 98,32 % površine priljevnog područja regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ dok stijene paleogena odnosno neogena svega 1,68 % površine istraživanog prostora.

Tablica 4.1. *Površinska zastupljenost pojedinih litostratigrafskih članova na širem području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci*

LITOSTRATIGRAFSKE JEDINICE		POVRŠINA		RAZDOBLJE	POVRŠINA
Opis	Simbol	km ²	%		%
Konglomerati, pješčenjaci, lapori	E ₃	3,291	0,33	PALEOGEN	0,33
Tanko listićavi kalcitni lapori	M ₃ ^{1,2}	7,064	0,71	NEOGEN	1,35
Pijesci, laporoviti pijesci	Pl ₁	0,854	0,08		
Gline, pijesci i šljunci	Pl, Q	5,594	0,56		
Kopneni les	l	6,535	0,66	KVARTAR	98,32
Jezersko-barski sedimenti	jb	358,152	36,31		
Barsko-kopneni les	l _{bk}	1,126	0,11		
Barski les	l _b	0,408	0,04		
Stariji barski sedimenti	b	257,397	26,1		
Sedimenti prve riječne terase	t ₁	93,098	9,44		
Sedimenti druge riječne terase	t ₂	13,6	1,37		
Sedimenti treće riječne terase	t ₃	3,249	0,32		
Mlađi barski sedimenti	b _r	5,516	0,55		
Organogeni-barski sedimenti	ob	5,361	0,54		
Sedimenti korita-plaže	a	12,821	1,3		
Sedimenti mrtvaja	am	16,442	1,66		
Sedimenti poplavnih područja	ap	172,885	17,53		
Rijeka Sava		22,783	2,31		

4.1.1. Paleogen

Naslage eocenske starosti (E_3), izgrađene od konglomerata, pješčenjaka i lapora, nalazi se na istraživanom prostoru Federacije Bosne i Hercegovine. Zapadno i sjeverozapadno od Odžaka vrlo mali ostaci eocenskih naslaga, nalaze se u diskordantnom odnosu prema sedimentima miocena. Naslage gornjeg eocena najrasprostranjenije su u slivu potoka Kamenica, Jošave, Kaloševica, a dijelom i u slivu Plavuše.

4.1.2. Neogen

Tanko listićavi kalcitni lapori, izgrađeni od tvrdih „bijelih“ lapora, vapnenaca, pijesaka i gline ($M_3^{1,2}$), na istraživanom području mogu se izdvojiti kao jedini član neogenske starosti iz gornjeg miocena. Navedeni član zauzima vrlo mali dio promatranog prostora. Sedimenti miocena ($M_3^{1,2}$) zastupljeni su u diskordantnom odnosu prema eocenskim sedimentima, unutar kojih se mjestimično javlja donji pliocen (Pl_1) (SRKALOVIĆ, 2010).

Pijesci i laporoviti pijesci su naslage donjeg pliocena (Pl_1) koje također zauzimaju jedan mali dio istraživanog prostora na području FBiH, u odnosu na cijeli istraživani prostor, što je vidljivo u **tablici 4.1**.

Nesortirani šljunci različite granulacije s proslojcima glina (PI, Q) dominiraju u pliokvartarnim naslagama iz perioda neogena.

4.1.3. Kvartar

Prema podacima ranijih istraživanja, najmlađe naslage s južnih obronaka Dilj-gore svrstane su u kvartar, odnosno pleistocen, a sastoje se od obrončanih glina, pijeska i šljunka. Zbog nedostatka faune tada, a niti kasnije, nije izvršeno stratigrafsko rasčlanjivanje tih pleistocenskih naslaga (ŠPARICA et al., 1987).

Od kvartarnih litofacijesa izdvojeni su sljedeći članovi (**ŠPARICA et al., 1986**): *kopneni les (l)*, *jezersko-barski sedimenti (jb)*, *stariji barski sedimenti (b)*, *sedimenti riječnih terasa (t_1 , t_2 , t_3)*, *mlađi barski sedimenti (b')*, *organogeni-barski sedimenti (ob)*, *sedimenti korita – plaže (a)*, *sedimenti mrtvaja (am)*, *sedimenti poplavnih područja (ap)*. Horizontalna raspodjela ovih naslaga u velikoj je mjeri uvjetovana neotektonskim pokretima uslijed kojih dolazi do različitog intenziteta spuštanja pojedinih lokaliteta, što je rezultiralo pojavom različitih debljina naslaga istog sedimentacijskog ciklusa unutar promatranog prostora.

Kopneni les (l), pleistocenske starosti, izgrađuje rubni dio istraživanog prostora, sjeverozapadno od Donjih Andrijevac. Les je žutosmeđi silt donesen vjetrom, slabo je vezan i mjestimice je porozan, s cjevastim šupljinama od istrunulog bilja. Pokazuje vertikalno lučenje, a prema podini njegova poroznost se smanjuje. Naslage lesa izgrađene su od glinovitog silta, silta i pijeska. Uz čisto eolski materijal u lesu se nalazi i doneseni materijal (prah, pijesak) iz napuštenih riječnih i lesnih prostora. Mineralni sastav lesnih naslaga je uglavnom unimodalan (**BAČANI, 1997**). Epidot, amfiboli i granati su dominantni u sastavu teške mineralne frakcije. Staurolit, disten, cirkon, turmalin i dr. nalaze se u sastavu lesa kao sporedni. Kvarc, feldspati, kalcit, muskovit i čestice stijena čine sastav lake frakcije. Debljina pravog lesa varira od 6 do 18 m. U području Đakova iznosi 12 m (**ŠPARICA et al., 1987**).

Jezersko–barski sedimenti (jb), gornjo pleistocenske starosti, nalaze se na prostoru Gundinaca, Beravaca, Velike Kopanice, Starih Perkovaca i Divoševaca. Njihovo taloženje se vršilo u relativno čistoj vodenoj sredini. Sastoje se od glinovitih siltova, pijesaka i siltoznih pijesaka, bez organske tvari u sastavu sedimenta. Mjestimično se nalaze proslojci i leće sivo-smeđeg sitnozrnog pijeska. Debljina gornjopleistocenskih naslaga u Posavini iznosi 30-40 m (**URUMOVIĆ et al., 1978**).

Barsko–kopneni les (lbk), pleistocenske starosti, nalazi se na području oko naselja Gradište. Barsko – kopneni les izgrađuju šareni i smeđi siltovi u izmjeni, unutar kojih se često nalaze ulomci sive gline veličine 10 x 2 cm. Unutra barskog lesa dolaze tamnije zone glinastoga silta, debljine oko 1 m, koji sadrže ugljik biljnoga porijekla, a odgovara interstadijalu kopnenog lesa. S obzirom da je sediment donesen vjetrom u vodenu sredinu te ga je voda djelomično pretaložila postoje razlike u dubinama taloženja barsko-kopnenog lesa, veličini zrna, sortiranošću, primjesama, količini

minerala, stupnju starosti i boji. Debljina barsko-kopnenog lesa mjestimično prelazi 15 m.

Barski les (lb), pleistocenske starosti, izgrađen je od pjeskovitog silta u kojem se vrlo često nalaze vapnenačke konkrecije. Izgrađuje prostranu zaravan s južne strane ograničenu podinom Đakovačkog ravnjaka i njihova debljina ne prelazi 10 m.

Stariji barski sedimenti (b), pleistocenske starosti, djelomice su pokriveni barsko-močvarnim holocenskim naslagama. Taloženi su na istraživanom prostoru RH u širokom prostoru južno od lesnog ravnjaka, sve do rijeke Save. Na istraživanom području FBiH nalaze se kao otoci sjeverno od Odžaka, na području Novi Grada, sjeverno od Donjeg Svilaja i u blizini Posavske Male. Stariji barski sedimenti su svjetlo-smeđi, šareni, siltovi, često u nepravilnoj izmjeni s tamno-sivim organskim siltom. Prosječna debljina ovih taložina je 6 do 7 m (**BAČANI, 1997**).

Sedimenti prve riječne terase (t_1), pleistocenske starosti, nalaze se južnije od rijeke Save, na području FBiH. U ovim naslagama prevladavaju šljunci aluvijalnog nanosa te, mjestimično sedimenti poplavnog područja. Na području RH sjeverno od rijeke Save, na ovim naslagama leže sedimenti poplavnog područja rijeke Save.

Sedimenti druge riječne terase (t_2), pleistocenske starosti, zauzimaju uski pojas zapadno od Odžaka (FBiH). Sedimenti druge riječne terase su u diskordantnom odnosu sa sedimentima prve riječne terase. Zastupljeni su glinama, glinovitim pijescima i žućkastom zamuljenom glinom, a na dubini od oko 8 m nalaze se šljunci i pijesci.

Sedimenti treće riječne terase (t_3), pleistocenske starosti, zastupljeni su slabosortiranim miješanim glinovitim i šljunkovitim materijalom. Zauzimaju dva manja područja zapadno od Odžaka (FBiH), koja su u diskordantnom odnosu sa sedimentima druge riječne terase.

Mlađi barski sedimenti (b'), holocenske starosti, nalaze se južno od lesnog ravnjaka, te kao izdvojena područja oko Grebnica i Bazika. Mlađi barski sedimenti ispunjavaju blage depresije, dijelom uvjetovane tektonskim gibanjem. Uočava se porast glinovite komponente u odnosu na starije barske sedimente. Građeni su od plavičasto-smeđe, tamne i sivo-crne siltozne gline, često i tresetnog tipa. Najčešće im je debljina od 0,5 do 2,0 m.

Organogeni-barski sedimenti (ob), holocenske starosti, zauzimaju vrlo mali dio istraživanog prostora. Nalaze se kao izdvojena područja u mlađim barskim sedimentima Štitara, Gradišta, na prostoru Kladovca i nastavak su barskih sedimenta koji i danas nastaju. Organogeni-barski sedimenti sastoje se od humusno-tresetnih, slabo pjeskovitih, glinovitih siltova, kao i siltoznih glina. Njihova debljina kreće se do 2,0 m.

Sedimenti korita-plaže (a), holocenske starosti, predstavljaju aluvij rijeke Save i Bosne u zonama korita i na bokovima rijeka bez strmih obronaka. Izgrađeni su od šljunaka, pijesaka i siltova u horizontalnoj i vertikalnoj izmjeni. Debljina ovih naslaga varira ovisno o nanosima rijeka Save i Bosne od 1 m na više.

Sedimenti mrtvaja (am), holocenske starosti, predstavljaju sedimente završne faze aluvijalnih naslaga i vezani su uz tok rijeka Save, Bosne i njihovih napuštenih tokova. Debljina ovih naslaga varira od 1,0 do 3,0 m.

Sedimenti poplavnih područja (ap), holocenske starosti, vezani su uz tokove rijeka Save i Bosne, te uz veće potoke. Naslage se sastoje od sitnozrnih i srednjozrnih pijesaka, zaglinjenih pijesaka i silta. Graniče sa jezersko-barskim naslagama terasnim odsjekom, koji se manje ili više može kontinuirano pratiti od Slavanskog Broda do Šamca (**ŠPARICA et al., 1987**). Veće rasprostranjenje ovi sedimenti imaju južno od Save, gdje prekrivaju prvu terasu Save i rijeke Bosne. Epidot, granati i amfiboli su utvrđeni kao glavne komponente ovih naslaga (**MUTIĆ, 1993**). Facijes ovog sedimenta mijenja se vertikalno i horizontalno na malenim površinama. Debljina ovog sedimenta ne prelazi 5 m.

4.2. Tektonika

Sintezom rezultata geofizičkih istraživanja, dubokog istraživačkog bušenja, dubinskog kartiranja i morfometrijskih istraživanja moguća je rekonstrukcija i interpretacija strukturno-tektonskih oblika u ravničarskim područjima, koja su pokrivena kvartarnim sedimentima, a u koje pripada istraživani prostor. Tijekom

geotektonske evolucije od paleozoika do recentnog doba, tektonski poremećaji doveli su do složenih odnosa naslaga, uslijed učestalog boranja i rasjedanja.

Prema **HERNITZU (1983)**, tektonski oblici u istočnoj Slavoniji pripadaju tipu kompakcijskih struktura. Ovaj tip struktura je u izravnoj vezi s paleogeomorfološkim izgledom paleoreljefa i diferencijalnim kretanjima blokova duž dubokih rasjeda, tako da one poprimaju sve značajke morfološko-tektonskih oblika podloga.

Sustavi rasjeda pružanja zapad/sjeverozapad-istok/jugoistok, koji slijede orijentaciju glavne potoline (Dravska, Slavonsko-srijemska, Savska), izdignute strukture (Đakovačko-vinkovački i Vukovarski timor) i slavonske gore, dominantni su u rasjednoj tektonici (**BAČANI, 1997**).

Slavonsko-srijemska potolina je paleodepresija, koja zauzima prostor od Đakovačko-vinkovačkog timora i složene Vukovarske strukture do rijeke Save. Strukturno-tektonska građa ove paleodepresije je vrlo raznolika i složena (**GALOVIĆ et al., 1989**).

Složena timorska struktura - „antiklinala“ Županja, koja je rasjedima odvojena od prostrane i duboke uleknine Vinkovci na sjeveru, te „sinklinale“ Orašje na jugu, su najznačajniji strukturno-tektonski elementi na ovom prostoru. Ova izdignuta struktura, dijeli Slavonsko-srijemsku potolinu na sjeverni – manji, ali znatno dublji dio i južni - plići i razvedeniji dio, koji prelazi u Bosansku Posavinu (**BAČANI, 1997**).

Struktura Gradište danas predstavlja uzvisinu koja u svojoj građi sadrži nasljedne elemente dubinskih struktura (**GALOVIĆ et al., 1989**). Okopnjavanje i taloženje kopnenog prapora nastupilo je zbog izdizanja tijekom würma i formiranja ove tektonske forme. Korito Bosuta zaobilazi ovu strukturu kod Gradišta, te se ista spušta u pravcu Cerne stepeničasto prema udolini Biđa.

Rasjedi „potolinskog pravca“, dakle pružanja zapad-istok, prevladavaju u rasjednoj tektonici. Također su značajni i mlađi rasjedi, koji su dijagonalni ili okomiti na njih. Najznačajniji je rasjed koji brazdi do Županje prema Vukovaru i dalje prema Dalju.

Osim rasjedanja, koje je posljedica radijalne tektonike, prisutni su i reverzni rasjedi, naročito izraženi u sjeverozapadnom i jugozapadnom dijelu potoline. Smjer kretanja je pretežito prema jugu, katkad i prema sjeveru (**BARIŠIĆ, 1986**).

Prema **ĆERIĆ et al. (2008)**, zapadna granica istraživanog područja u dominantnom antiklinalnom razvoju, već ranije spomenute eocenske, miocenske do pliocenske starosti (područje planine Vučjak), obilježena je elementima rasjedne tektonike. Na dugačkom potezu kilometarskih razmjera rijeka Sava-Donji Svilaj–Vrbovac-Potočani-Srnava-rijeka Bosna, zapadno od Odžaka, na udaljenosti od približno dva kilometra od izvorišta Odžak, utvrđen je uzdužni rasjed, koji se proteže u pravcu sjever-jug. Istočni dio predmetne antiklinale ispresijecan je s nekoliko međusobno povezanih rasjeda, duž kojih bi se mogao pretpostaviti i kontakt rijeke Save s izvorišnim područjem Odžak.

5. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE

5.1. Hidrogeološke značajke šireg promatranog područja

Morfologija terena, litološki sastav i tektonska poremećenost naslaga uvjetovali su različite hidrogeološke odnose u pojedinim dijelovima promatranog područja. Prema tim odnosima razlikuje se nekoliko hidrogeoloških cjelina (**MILETIĆ, 1969**). Po vertikali se mogu izdvojiti dvije hidrogeološke zone. Prvu zonu čine naslage s podzemnim vodama koje po svojim prirodnim fizikalno–kemijskim značajkama uglavnom odgovaraju standardima za pitku vodu (**MILETIĆ et al., 1975**). Temperatura vode u prvoj hidrogeološkoj zoni je ispod 20° C i mineralizacija je manja od 2 g/l. U drugoj hidrogeološkoj zoni vrijednosti temperature i mineralizacije su znatno više.

Vodonosni slojevi u prvoj hidrogeološkoj zoni izgrađeni su od stijena gornjeg pliocena i kvartarna. Osnovne značajke ove serije vodonosnih slojeva su visoko učešće propusnih slojeva u ukupnoj debljini sedimenata, uz teoretsku mogućnost procjeđivanja između vodonosnih slojeva, te relativno niska mineralizacija vode (**NAKIĆ & MAYER, 2003**). Na širem promatranom području, prema načinu zalijeganja i obnavljanja podzemnih voda, mogu se izdvojiti plitki vodonosni slojevi, otvorenog do poluotvorenog tipa i dublji, subarteški vodonosni slojevi, poluzatvorenog do zatvorenog tipa. Od rijeke Save prema sjeveru, smanjuje se debljina vodonosnih slojeva i povećava se udio sitnih frakcija.

Ranijim istraživanjima na području istočne Slavonije izdvojena su četiri vodonosna sloja: Velika Kopanica, Vinkovci, Strizivojna i Nijemci (**MILETIĆ et al., 1986c**). Vodonosni slojevi nazvani su prema lokalitetima na kojima su prvi puta nabušeni (**CAPAR, 1992**). Pretpostavlja se da postoji izravna bočna ili vertikalna veza između vodonosnog sloja Vinkovci i Velika Kopanica zbog neujednačenosti debljine podine, no značenje tog kontakta još nije utvrđeno (**BAČANI, 1997**). Zbog svog prostiranja i

hidrogeoloških značajki vodonosni sloj Velika Kopanica je najinteresantniji za istraživanje na širem području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“.

Velika Kopanica je šljunkovito-pjeskoviti vodonosni sloj s ograničenim prostiranjem uz rijeku Savu, s najpovoljnijim hidrogeološkim značajkama u području između Kopanice, Gundinaca i Kruševica (**CAPAR, 1992**). Sloj je djelomično presječen rijekom Savom, i ispod Save proteže se u Federaciju Bosne i Hercegovine (**slika 5.1**).

Na područje FBiH, uz rijeku Savu prostire se vodonosni sustav Odžak i vodonosni sustav Orašje (**SRKALOVIĆ, 2010**). Vodonosni sustavi Orašje i Odžak zauzimaju prostor od Orašja na istoku, Svilaja na zapadu, i uz rijeku Bosnu, od linije Modriče – Grebnice-Matići, na jugu. Stoga se može naglasiti da se vodonosni sloj Velika Kopanica prostire na području vodonosnih sustava Orašje i Odžak. Južna granica vodonosnog sloja Velika Kopanica, kao prekograničnog vodonosnika, nalazi se izvan područja istraživanja (**slika 5.3**). Debljina vodonosnih slojeva na lokacijama promatranih bušotina ne ukazuje na isklinjavanje slojeva (**slika 5.1** i **slika 5.2**). Litološki podaci iz bušotina ukazuju na činjenicu da su vodonosni slojevi na lokaciji Domaljevac, Kostrč, Zorice i Novo Selo u FBiH deblji nego na području RH.

Krovinu vodonosnog sloja Velika Kopanica na području Republike Hrvatske čine prašinasto-glinoviti i pjeskoviti materijali s čestim lećama gline i tanjim proslojcima pijeska i sitnog šljunka. Debljina krovinskih naslaga na širem području istraživanja ovisi o lokaciji, negdje je i preko 40 m. Vodonosni sloj je izgrađen od šljunkovitog pijeska debljine između 30 - 40 m, koji je vrlo često presječen slojevima gline i praha debljina 3 – 7 m. Podinu vodonosnika čine glinoviti, prašinasto-glinoviti i pjeskoviti slojevi.

Interpretacija hidrogeoloških odnosa na području Federacije Bosne i Hercegovine napravljena je na temelju 12 zdenaca nabušenih do dubine 200 m (**tablica 5.1**).

Krovina vodonosnog sustava Odžak (vodonosni sloj Velika Kopanica na području FBiH), izgrađena je od vodonepropusne gline i prašinaste i pjeskovite gline debljine od 6 do 14 m (izbušena na lokacijama zdenaca AB-5 i AB-2). Zdenci bušeni na području vodonosnog sustava Odžak zahvaćaju podzemne vode na znatno većim

dubinama od zdenaca na području RH, budući se prvi zahvaćeni sloj nalazi na dubini od 50 do 75 m, a drugi na dubini od 113 do 150 m.

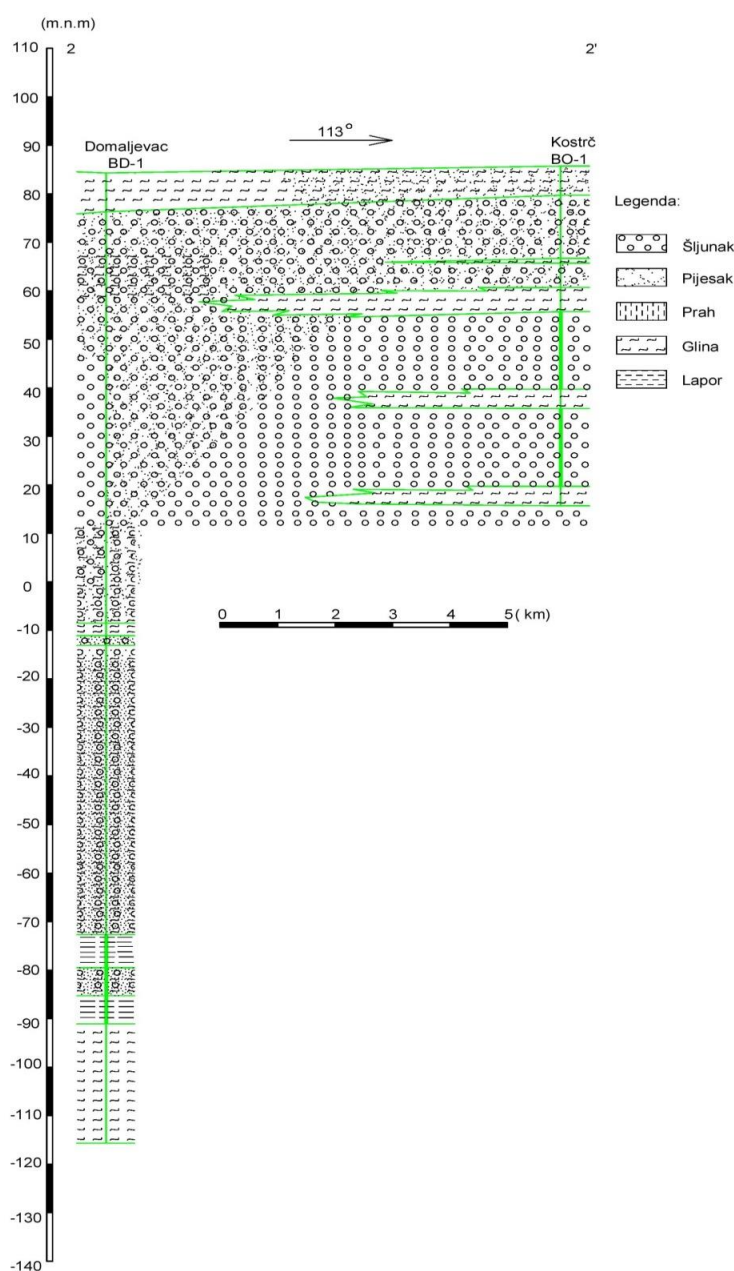


Slika 5.1. Litološki profil 1-1': Velika Kopanica - Zorice – Novo Selo

Slojevi do dubine od 65 m izgrađeni su od glinovitih naslaga, naslaga sitnozrnog šljunka i pijeska, koji su dosta zaglinjeni. Zahvaćeni slojevi izgrađeni su od pijeska i srednje do krupnozrnog šljunka. Između šljunkovitih slojeva nalaze se slojevi pijeska i zaglinjenog pijeska debljine od 5 do 15 m. Podina je izgrađena od glina te glinovitih i pjeskovitih slojeva. Na dubini od 180 m nabušen je sloj lapora debljine 15 m na lokaciji Novo Selo (bušotina AB-2).

Krovina vodonosnog sustava Orašje izgrađena je od glina i glinovitih pijesaka debljine od 5 do 10 m. Vodonosni sustava Orašje izgrađen je od četiri šljunkovito-pjeskovita sloja, međusobno odvojenih glinovitim naslagama debljine od 3 do 7 m. Zdenci za potrebe javne vodoopskrbe naselja, bušeni su na dubinama od 70 do 200 m. Prvi pjeskoviti sloj nalazi se na dubini od 5 do 25 m. Drugi sloj, zastupljen

šljunkom i pijeskom, nalazi se na dubini od 30 do 47 m, a treći, koji se nalazi na dubini od 50 do 73 m, izgrađen je od sitnozrnih do srednjezrnih šljunaka. Na lokaciji Domaljevac izbušen je zdenac BD-1 do dubine 200 m. Determinacijom jezgre iz bušotine izdvojena su četiri vodonosna sloja na dubini od 5 m do 195 m. Zahvaćane su naslage na dubinama od 80 m do 200 m, izgrađene od zaglinjenog šljunka i pijeska debljine do 80 m, s proslojcima glina debljine 3 do 20 m. Također, kao i kod vodonosnog sustava Odžak, nabušeni su slojevi lapora na dubini od 180 m, ukupne debljine 15 m (**slika 5.2**).



Slika 5.2. Litološki profil 2-2': Domaljevac – Kostrč

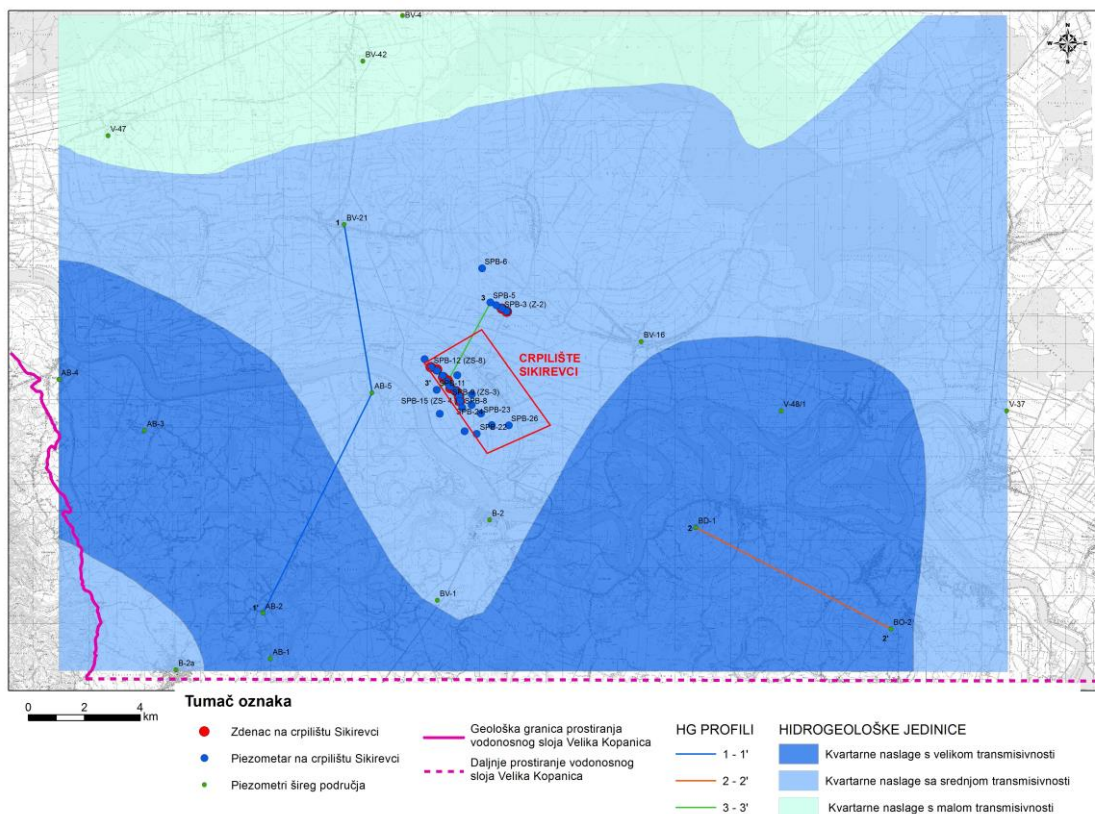
Hidrogeološke značajke na širem području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ prikazane su na preglednoj hidrogeološkoj karti (**slici 5.3**). Karta je napravljena na temelju podataka prikazanih u **tablici 5.1**. Za izradu karte u obzir su uzeti slijedeći kriterij: dubina do podzemne vode, dubina do podine i hidraulička vodljivost. Pri izradi tumača oznaka , kao predložak je uzet opis hidrogeloških jedinica iz „Vodiča za izradu hidrogeološke karte“ međunarodnog društva hidrogeologa, (**STRUCKMEIER & MARGAT, 1995**).

Tablica 5.1. Hidrogeološki parametri

RB	Naziv bušotine	Prosječna dubina do (vodonosnog sloja)	Dubina do podine Vodonosnog sloja	Koeficijent hidrauličke vodljivosti vodonosnog sloja
		(m)	(m)	(m/s)
1	V-47	16,00	48,00	$2,83 \times 10^{-2}$
2	BV-42	42,00	66,00	$9,49 \times 10^{-4}$
3	BV-4	67,00	80,60	$1,29 \times 10^{-3}$
4	BV-21	22,00	57,00	$2,88 \times 10^{-3}$
5	SPB-6	18,12	74,00	$3,65 \times 10^{-5}$
6	SPB-3 (Z-2)	13,70	64,70	$4,33 \times 10^{-3}$
7	BV-16	23,50	68,00	$7,86 \times 10^{-4}$
8	V-48/1	7,40	96,20	$1,4 \times 10^{-4}$
9	V-37	13,50	35,70	$1,7 \times 10^{-3}$
10	SPB-12 (ZS-8)	10,50	71,70	2×10^{-5}
11	SPB-7 (ZS-2)	15,60	69,30	$3,24 \times 10^{-3}$
12	SPB-9 (ZS-3)	16,90	75,50	$1,31 \times 10^{-5}$
13	V-49 (SPB-13)	8,50	70,80	5×10^{-4}
14	SPB-8	8,20	67,00	$2,8 \times 10^{-4}$
15	SPB-21	2,80	61,50	$2,2 \times 10^{-4}$
16	SPB-22	2,00	65,60	$3,4 \times 10^{-3}$
17	SPB-26	1,50	67,30	$2,1 \times 10^{-4}$
18	SPB-15 (ZS- 4)	8,90	68,40	2×10^{-4}
19	SPB-24	12,50	63,40	$3,3 \times 10^{-4}$
20	SPB-23	15,80	61,70	$2,2 \times 10^{-4}$
21	SPB-5	19,90	56,40	$4,23 \times 10^{-4}$
22	SPB-11	14,50	75,40	1×10^{-5}
23	AB-3	5,40	168,00	$2,43 \times 10^{-4}$
24	AB-5	10,00	71,00	$1,4 \times 10^{-3}$
25	B-2	4,50	72,60	$1,16 \times 10^{-3}$
26	BD-1	8,00	194,00	$3,9 \times 10^{-3}$
27	AB-4	18,00	138,90	1×10^{-5}
28	B-2a	16,00	58,50	$2,63 \times 10^{-4}$
29	AB-1	3,00	193,00	$2,51 \times 10^{-5}$
30	BV-1	4,00	74,00	$1,4 \times 10^{-3}$
31	BO-2	6,00	66,00	$1,2 \times 10^{-3}$
32	AB-2	5,90	156,00	$1,2 \times 10^{-3}$

Na hidrogeološkoj karti istraživano područje je podijeljeno na kvartarne naslage: s velikom ($> 6000 \text{ m}^2/\text{dan}$), srednjom ($3000 - 6000 \text{ m}^2/\text{dan}$) i malom ($< 3000 \text{ m}^2/\text{dan}$) transmisivnosti. Područje s velikom transmisivnosti prostire se velikim dijelom uz rijeku Savu te na prostoru Federacije Bosne i Hercegovine. Radi se o šljunkovito–

pjeskovitom vodonosnom sloju Velika Kopanica, poluotvorenog do poluzatvorenog tipa. Karakterizira ga nekonsolidiranost materijala te, visoka transmisivnost i hidraulička vodljivost.



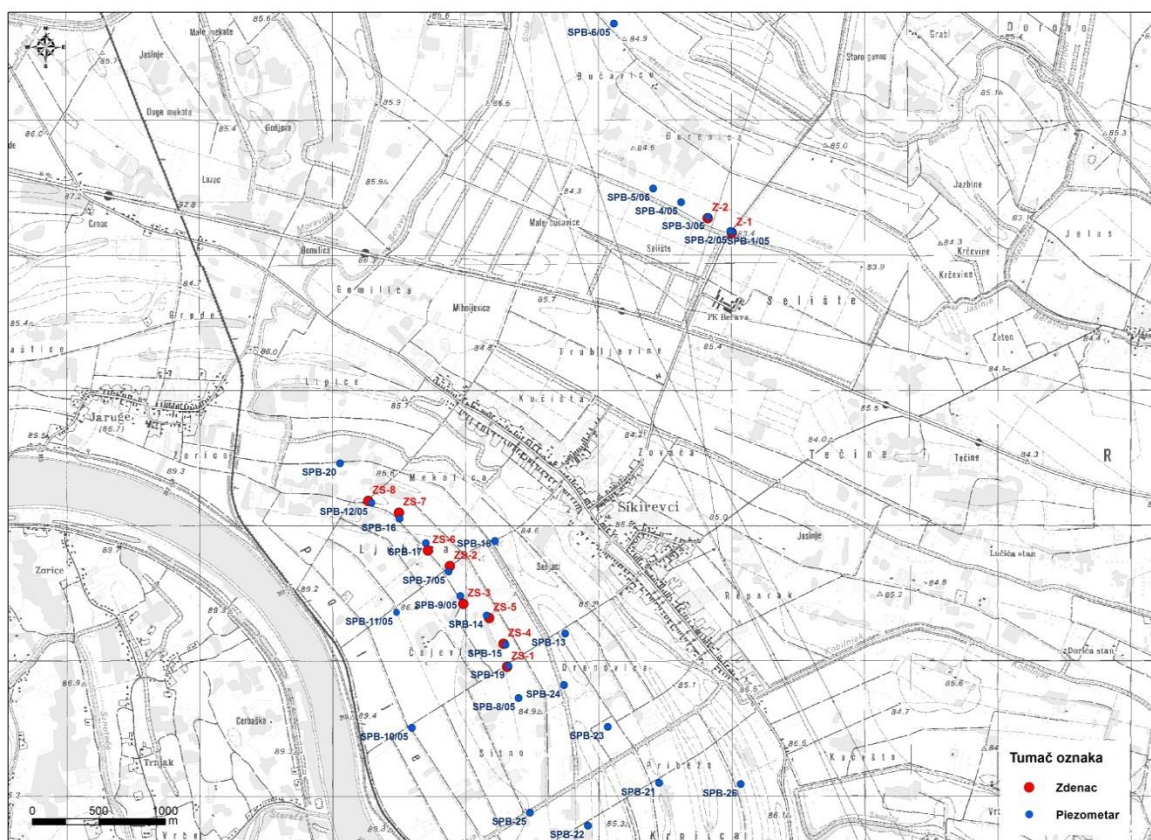
Slika 5.3. Hidrogeološka karta šireg područja regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“

Na području oko Odžaka, istočno i sjeverno od naslaga velike transmisivnosti, pružaju se kvartarne naslage, sa srednjom transmisivnosti. Regionalno crpilište „Istočna Slavonija“ Sikirevci nalazi se na području gdje su nabušene kvartarne naslage srednje transmisivnosti. Također se radi o šljunkovito-pjeskovitom sloju poluzatvorenog do otvorenog tipa, gdje debljina sloja doseže vrijednosti preko 90 m.

Sjeverno od kvartarnih naslaga srednje transmisivnosti nalaze se naslage, s vrijednostima transmisivnosti između 1500–3000 m²/dan. Radi se o naslagama male transmisivnosti, koje su zastupljene unutar pjeskovitoga sloja, čija je debljina neujednačena i manja u odnosu na debljinu šljunkovito–pjeskovitog vodonosnog sloja.

5.2. Hidrogeološke i litološke značajke na lokaciji regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“

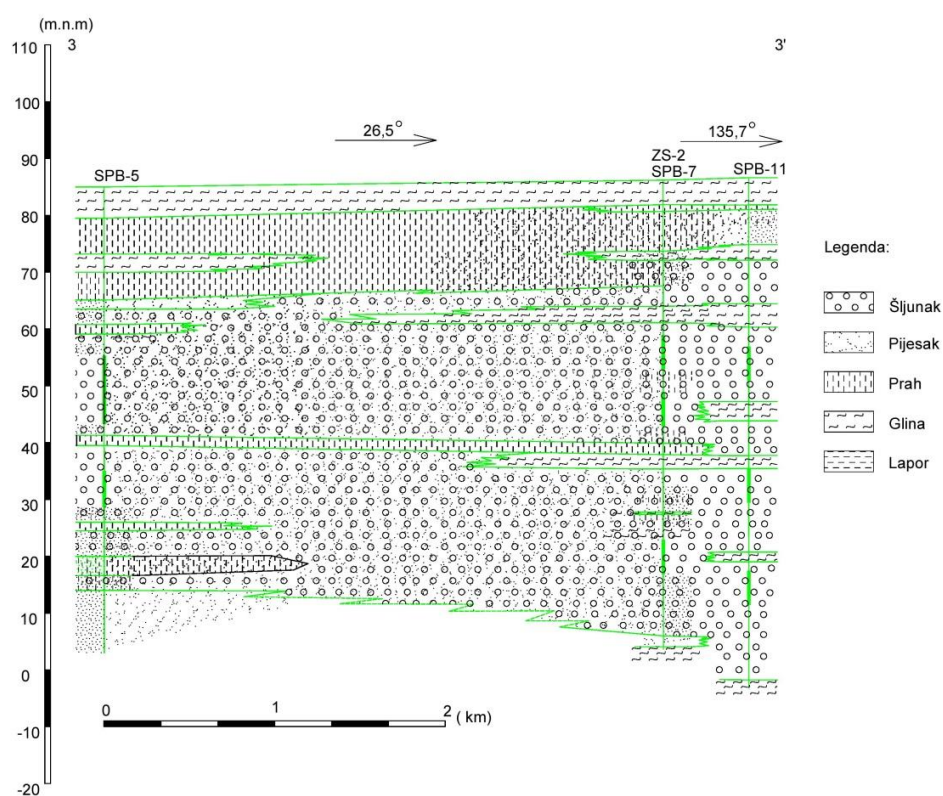
Na širem području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ izvedeno je 26 strukturno-piezometarskih bušotina i devet zdenaca, u razdoblju od 2005. do 2008. godine (između naselja Gundinci i rijeke Save) (slika 5.4).



Slika 5.4. Položaj strukturno-piezometarskih bušotina i pokusno-eksploatacijskih zdenaca na lokaciji regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“

Strukturno-piezometarske bušotine izbušene su do dubine od 25,7 do 96 m, a zdenci su izbušeni do dubine od 67,5 do 82 m. Temeljem podataka dobivenih tijekom vodoistražnih radova, ovisno o lokaciji, izdvojeno je tri do pet intervala pjeskovito-šljunkovitih naslaga.

Krovinu vodonosnika najčešće izgrađuju gline debljine od 5 do 10 m (**slika 5.5**). Gline se izmjenjuju sa slojevima glinovito-pjeskovitog praha, prašinstom glinom i zaglinjenim pijeskom. Debljina krovine varira, ovisno o lokaciji, negdje do dubine od 40 m. Vodonosne naslage su izgrađene od šljunkovitih pijesaka i pjeskovitih šljunaka, mjestimice zaglinjenih. Navedeni vodonosni slojevi nalaze se u intervalima od 29 do 36 m, od 51 do 57 m i od 69 do 75 m. Između prvog vodonosnog sloja, koji je izgrađen od prašinstog i zaglinjenog šljunka i drugog vodonosnog sloja, izgrađenog od šljunkovitog pijeska, istaložen je tanki sloj gline debljine od 3 do 4 m (**slika 5.5**). Između drugog i trećeg sloja, izgrađenog od šljunkovitog pijeska, nalaze se slojevi gline i praha, debljine od 3 do 7 m. Unutar trećeg sloja utvrđen je sloj konglomerata-cementiranog šljunka, prosječne debljine od 10 do 20 cm (**PEKAŠ & BRKIĆ, 2007**). Podinu čini glina koja je nabušena na dubini preko 80 m.



Slika 5.5. Litološki profil 3-3': na lokaciji crpilišta Sikirevci

Prethodno provedenim istražnim radovima, utvrđeno je da su hidrogeološke karakteristike istraživanog prostora promjenjive u lateralnom i vertikalnom profilu što proizlazi iz promjenjive litološke građe istraživanog prostora **(BRIŠKI et al., 2013)**.

Matematičkim modelom strujanja podzemne vode utvrđeno je da su podzemne vode uglavnom pod pritiskom **(BRKIĆ et al., 2008)**. Prosječna hidraulička vodljivost zahvaćenog vodonosnika iznosi oko 150 m/dan, a koeficijent uskladištenja iznosi 2×10^{-4} **(BRIŠKI et al., 2013)**.

6. HIDROGEOKEMIJSKA OBILJEŽJA PODZEMNIH VODA NA ŠIREM PODRUČJU REGIONALNOG CRPILIŠTA „ISTOČNA SLAVONIJA“

U ovom poglavlju se razmatraju hidrogeokemijska obilježja šireg područja regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci. S ciljem definiranja i interpretacije hidrogeokemijskih obilježja istraživnog prostora, u radu su korišteni podaci iz objavljenih, neobjavljenih radova i tehničkih izvješća, te rezultati fizikalnih, kemijskih i bakterioloških analiza vode, iz uzoraka uzetih na lokaciji regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci, sa zdenaca u Gundincima, te crpilišta u Bosanskom Šamcu i Odžaku.

Podaci o kakvoći podzemne vode prikupljeni su od javnih isporučitelja vodnih usluga Vinkovačkog vodovoda i kanalizacije d.o.o. Vinkovci, Vodovoda i kanalizacije OJDKP Šamac i JP Komunalac d.o.o. Odžak, Hrvatskog geološkog instituta, Zagreb te Zavoda za javno zdravstvo Osječko-baranjske županije.

Analize vode sa zdenaca u Sikirevcima i Gundincima izradile su slijedeće institucije: interni laboratorij Vinkovačkog vodovoda i kanalizacije d.o.o. Vinkovci, Hrvatski zavod za javno zdravstvo, Služba za zdravstvenu ekologiju, Zagreb, Hrvatski Veterinarski institut Zagreb i Veterinarski zavod Vinkovci, tehnikama i metodama propisanim za pitku vodu (**Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, ASTM, 1995**). Analize se odnose na razdoblje od 2005. do 2014. godine. Također su korištene hidrokemijske analize parametara kakvoće vode sa vodocrpilišta u Odžaku za razdoblje od 2004. do 2010. godine, i vodocrpilišta Bosanski Šamac za razdoblje od 2005. do 2011. godine.

U hidrogeokemijskim istraživanjima često se koristi velika količina podataka o kakvoći podzemne vode, čime se nastoje dobiti što reprezentativniji statistički uzorci, koji predstavljaju istraživanu hidrogeokemijsku cjelinu. Osnovnom analizom svake varijable posebno, računajući srednju vrijednost, medijan, koeficijent varijacije itd., mogu se dobiti značajne informacije o svojstvima te varijable (**BROWN, 1998**).

Multivarijatne statističke metode za odnose tih varijabli koriste se u slučajevima kada postoji korelacija između ispitivanih varijabli.

6.1. Statističke metode

Prvi korak u statističkoj analizi podataka je određivanje razdiobe učestalosti podataka. Većina složenih statističkih metoda, posebno neke multivarijatne metode, su bazirane na pretpostavci normalne razdiobe varijable koju predstavljaju podaci. Matematičko očekivanje i varijanca su parametri normalne razdiobe. Na konačni izbor statističke metode u velikoj mjeri utjecat će određivanje procjenitelja ovih parametara i grafičko prikazivanje razdiobe frekvencija. Procjena disperzije podataka ovisi o zaključcima izvedenim iz grafičkog prikaza razdiobe. Standardna devijacija, kao mjera apsolutne disperzije se koristi u slučajevima kada se utvrdi da razdioba podataka odgovara normalnoj razdiobi. Često se koristi i koeficijent varijacije, kao mjera relativne disperzije podataka. Koeficijent varijacije je kvocijent standardne devijacije i srednje vrijednosti, bezdimenzionalan je, pa dozvoljava izravnu usporedbu disperzije obiju varijabli (**BROWN, 1998**). U slučajevima kada se utvrdi značajno odstupanje od normalne razdiobe, tada će srednja vrijednost dati previsoku procjenu matematičkog očekivanja te varijable, i tada je bolje koristiti mjeru disperzije podataka temeljenu na apsolutnom odstupanju od medijana (engl. mad, kratica od median absolute deviation).

Multivarijatna analiza podataka - simultano promatra više međusobno povezanih varijabli, pri čemu je svaka pojedina varijabla, barem početno, jednako važna. Multivarijatna analiza se može provoditi nad svim vrstama podataka i u različitim mjerilima. U multivarijatne metode između ostalih, pripadaju: faktorska analiza, analiza glavnih elemenata, diskriminacijska analiza, kanonička korelacijska analiza, multivarijatna normalna distribucija i klaster analiza (**BAHOVEC, 2011**).

U nastavku teksta je objašnjena klaster analiza, koja se koristi u ovom radu. Koristi se metoda hijerarhijskog grupiranja (engl. hierarchical tree clustering), čiji je rezultat grafički prikaz pojedinih skupina u obliku hijerarhijskog stabla ili dendrograma. Koristi

se Wardova metoda koja se bazira na analizi varijance, za procjenu razlika između skupina.

Klaster analiza (engl. Cluster Analysis) je postupak prepoznavanja skupina ili klasa sličnih elemenata, odnosno razvrstavanje određenog broja entiteta u skupine, međusobno sličnih karakteristika. Za razliku od drugih statističkih metoda, klaster analiza se najčešće koristi u slučajevima kada još ne postoji definirana statistička hipoteza (tvrdnja) koju je potrebno testirati (**BAHOVEC, 2011**). Također klaster analiza se razlikuje od drugih metoda klasifikacije u tome što broj i karakteristike pojedinih grupa nisu poznate prije analize, već se dobiju izravno iz podataka (**BROWN, 1998**).

Primjena klaster analize uključuje šest koraka (**HAIR et al., 2010**):

1. određivanje ciljeva klaster analize,
2. određivanje istraživačkog obrasca,
3. određivanje pretpostavki,
4. formiranje i procjena broja klastera,
5. određivanje klastera i
6. procjena klaster analize i utvrđivanje klastera.

Konačan rezultat klaster analize je podjela objekata (varijabli ili mjernih značajki) u klastere, u skladu s definiranim ciljevima. Najvažniji ciljevi koji se mogu ostvariti klaster analizom su: taksonomija, pojednostavljivanje prikaza podataka u skupine i identifikacija odnosa između pojedinih skupina podataka.

Prilikom formiranja klastera razlikuju se dva osnovna pristupa: hijerarhijske i nehijerarhijske metode. **Hijerarhijske metode** podrazumijevaju izgradnju hijerarhijske strukture objekata u vidu kreiranja dendrograma. **Dendrogram** je struktura objekata nalik stablu koja može nastati na aglomerativni ili divizijski način. Način utvrđivanja sličnosti među višeečlanim klasterima i njihovo povezivanje ovisi o izboru algoritma analize. Razvijeno je više hijerarhijskih algoritama, a među najčešće korištenima su metoda najbližeg susjedstva, metoda najudaljenijeg susjedstva, metoda prosječne povezanosti, metoda centroida, Wardova metoda i dr. **Nehijerarhijske metode** klaster analize podrazumijevaju unaprijed zadan broj

klastera. Analiza se vrši na način da nehijerarhijski algoritmi analize razvrstavaju objekte u unaprijed definirane klastere iznalazeći najbolje rješenje. Najpoznatiji nehijerarhijski algoritam analize je „k-means“ metoda (**DEVČIĆ et al., 2012**).

Multivarijatnom statističkom analizom dobiva se prikaz grupiranja elemenata na temelju geokemijskog afiniteta i/ili porijekla. Metoda hijerarhijskog grupiranja daje grafički prikaz pojedinih skupina u obliku hijerarhijskog stabla ili dendrograma temeljenog na pozitivnim vrijednostima iz korelacijske matrice. Za procjenu sličnosti geokemijskog afiniteta između geokemijskih pokazatelja uobičajeno se koristi Wardova metoda, koja se temelji na analizi varijance. Wardova metoda ima strog klasifikacijski zahtjev na temelju kojeg se formiraju klasteri u kojima je udaljenost među pojedinim članovima najmanja moguća. Prilikom obrade podataka rezultata geokemijskih pokazatelja korištena je Pearsonova r udaljenost.

6.2. Geokemijske značajke podzemne vode

6.2.1. Geokemijske značajke podzemne vode na lokaciji regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“

Geokemijske značajke podzemne vode na lokaciji regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci utvrđene su temeljem 218 analiza vode sa zdenaca na crpilištu. Analize vode se odnose na vremensko razdoblje od 2005. do 2014. godine. U **tablici 6.1.** prikazani su osnovni statistički pokazatelji parametara kakvoće vode na crpilištu, te maksimalno dozvoljena koncentracija (MDK), prema *Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN 125/13; NN 141/13)*.

Tablica 6.1. Osnovni statistički pokazatelji kakvoće sirove vode na lokaciji zdenaca „Istočna Slavonija“ Sikirevci

	N	Srednja vrijednost	Minimum	Maksimum	Standardna devijacija	MDK
Aluminij (mg/l)	23	0,012	< DL	0,076	0,020	0,2
Amonijak (mg/l)	218	0,055	< DL	0,580	0,089	0,5
Antimon (µg/l)	9	0,022	< DL	0,200	0,067	5,0
Arsen (µg/l)	50	5,8	< DL	78,9	14,09	10
Bakar (µg/l)	18	0,85	< DL	4,60	1,48	2000,0
Barij (µg/l)	9	45,7	19,3	88,4	22,2	700
Boja (mg/PtCo skale)	218	1,7	< DL	64,0	4,7	20
Cink (µg/l)	18	16,8	< DL	106,7	28,3	3000
Fluoridi (µg/l)	13	75,8	< DL	148,8	54,4	1500
Fosfati (µg/l)	192	66,6	< DL	290,0	37,1	300
Isparni ostatak(mg/l) pri 105°C	17	248	210	315	28,6	
Kadmij (µg/l)	13	0,07	< DL	0,50	0,14	5,0
Kalcij (mg/l)	52	49,2	37,0	63,2	4,1	
Kalij (mg/l)	52	0,9	0,5	7,8	0,99	12
Kloridi (mg/l)	178	4,9	1,2	23,2	3,2	250,0
Kobalt (µg/l)	9	0,50	< DL	3,00	0,99	
pH	174	7,64	6,98	8,12	0,24	6,5—9,5
Krom (µg/l)	13	4,2	< DL	7,3	2,9	50
Magnezij (mg/l)	52	17,54	11,03	24,00	2,30	
Mangan (µg/l)	217	29,76	0,50	167,3	24,84	50,0
Mineralna ulja (µg/l)	13	6,94	< DL	28,70	9,61	
Mutnoća (°NTU)	188	0,63	< DL	21,00	2,04	4
Natrij (mg/l)	49	6,97	3,02	52,40	8,06	200,0
Nikal (µg/l)	13	4,3	< DL	15,3	6,7	20
Nitrati (mg/l)	218	2,47	< DL	8,000	1,13	50
Nitriti (mg/l)	218	0,115	< DL	16,000	1,155	0,05
Olovo (µg/l)	17	0,257	< DL	1,000	0,337	10
Silikati (mg/l)	14	9,03	0,60	24,60	9,07	50
Srebro (µg/l)	9	0,076	< DL	0,260	0,114	10
Sulfati (mg/l)	21	11,9	3,7	22,7	4,2	250,0
Temperatura (°C)	176	15,5	12,3	26,1	2,9	25
TOC (mg/l)	2	0,28	0,22	0,34	0,09	
Ukupne suspenzije (mg/l)	12	71,3	1,8	255,0	103,6	10
KPK (mgO ₂ /l)	216	3,2	< DL	101,0	16,6	5,0
Vodljivost (µS/cm) pri 20°C	179	386,7	303,0	548,0	21,9	2500
Željezo (µg/l)	218	101,8	< DL	1517,5	242,0	200,0
Živa (µg/l)	18	0,1	< DL	0,3	0,1	1,0
Ukupni koliformi(broj/100 ml)	51	1,8	< DL	27	5,2	0
Clostridium perfringens (broj/100 ml)	42	0,3	< DL	1,000	0,5	0
Broj kolonija pri 22°(broj/1 ml)	48	13	< DL	83	18,1	100
Broj kolonija pri 37°(broj/1 ml)	48	7	< DL	62	9,9	20

DL- detection limit ; označeno crveno –maksimalno zabilježene vrijednosti parametara koje prelaze MDK

Na regionalnom crpilištu „Istočna Slavonija“ Sikirevci, temperatura sirove vode kreće se od 12,3 do 26,10° C, pH sirove vode je neutralan do slabo bazičan i kreće se od 7,0 do 8,12. Podzemna voda je uglavnom mekana do umjereno tvrda, s obzirom da se ukupna tvrdoća kreće od 171 do 335 mg/l CaCO₃. U podzemnoj vodi je sadržaj otopljene organske tvari ponekad veći od dopuštene koncentracije u vodi za piće i iznosi 101 mg/l O₂, što je vidljivo iz vrijednosti oksidativnosti koja je izražena u mg/l O₂. Vrijednosti slobodnog amonijaka povremeno prelaze MDK za pitku vodu. Sadržaj nitrata i fosfata je niži od MDK za pitku vodu. Vrijednosti arsena u podzemnoj vodi na području Gundinaca (Z-2, SPB-4 i SPB-6) i Sikirevaca (SPB-13) prelaze dozvoljene koncentracije za pitke vode.

Prirodno povišene do visoke vrijednosti arsena karakteristične su za podzemne vode Panonskog bazena, koji obuhvaća dijelove Mađarske, Rumunjske, Hrvatske, Srbije i Slovačke (**OREŠČANIN, 2013**). Tip i geokemijski sastav podzemnih voda iz ovog područja strogo je uvjetovan litološkim, sedimentološkim i paleogeografskim čimbenicima (**ROWLAND et al., 2011**). Povišene koncentracije arsena najvjerojatnije su uzrokovane otapanjem oksidihidroksida željeza, mangana i aluminija, uslijed reduktivnih uvjeta u vodonosniku (zbog visokog sadržaja organske tvari i/ili mikrobiološke aktivnosti), što dovodi do desorpcije arsena (**UJEVIĆ et al., 2010**).

Šljunkovito-pjeskovite naslage na lokaciji regionalnog crpilišta porijeklom su iz južnih i jugozapadnih izdignutih reljefa, dok su u kvartarnim sedimentima Slavonsko-srijemske potoline utvrđeni minerali iz metamorfnih stijena Slavonije i bosanske serpentinske zone. Interpretacijom granulometrijskih i mineraloških analiza uzoraka uzetih iz isplake tijekom bušenja zaključeno je da su u mineralnom sastavu krupnozrnaste frakcije udruženi minerali porijeklom iz matičnih stijena različitog sastava, iz raznih distributivnih područja, no ipak su stijene iz južnih izvorišta tj. bosanske serpentinske zone bili najutjecajniji (**MUTIĆ, 1993**).

Vrijednosti pH, podzemne vode u vodonosnicima na lokaciji regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci većinom se kreću u rasponu 7 i 8, a rezultat su slabije izraženih procesa hidrolize silikata. Manja kemijska potrošnja kisika rezultat je manjeg sadržaja otopljene organske materije u odnosu na podzemne vode iz glinovito-prašinih naslaga.

Zbog alteracije alumosilikata u minerale glina, dolazi do otapanja pojedinih mineralnih komponenata u okviru diagenetskih procesa, u kojima se kationi: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ i Si dijelom ugrađuju u strukturu minerala glina, a dijelom ostaju u obliku slobodnih kationa u vodenoj otopini.

Pojava povišenih koncentracija željeza, mangana, amonijaka i arsena u podzemnoj vodi ukazuje na prirodnu reduktivnu sredinu.

Za daljnju analizu podataka o kakvoći vode crpilišta Sikirevci, u obzir je uzeto dvanaest analiza podzemnih voda s ukupno izmjerenih 23 parametara kakvoće vode. Pomoću statističkog softvera **STATISTICA 8 (2006)**, korištenjem R mode klaster analize, određen je geokemijski afinitet/porijeklo parametara kakvoće vode na lokaciji crpilišta.

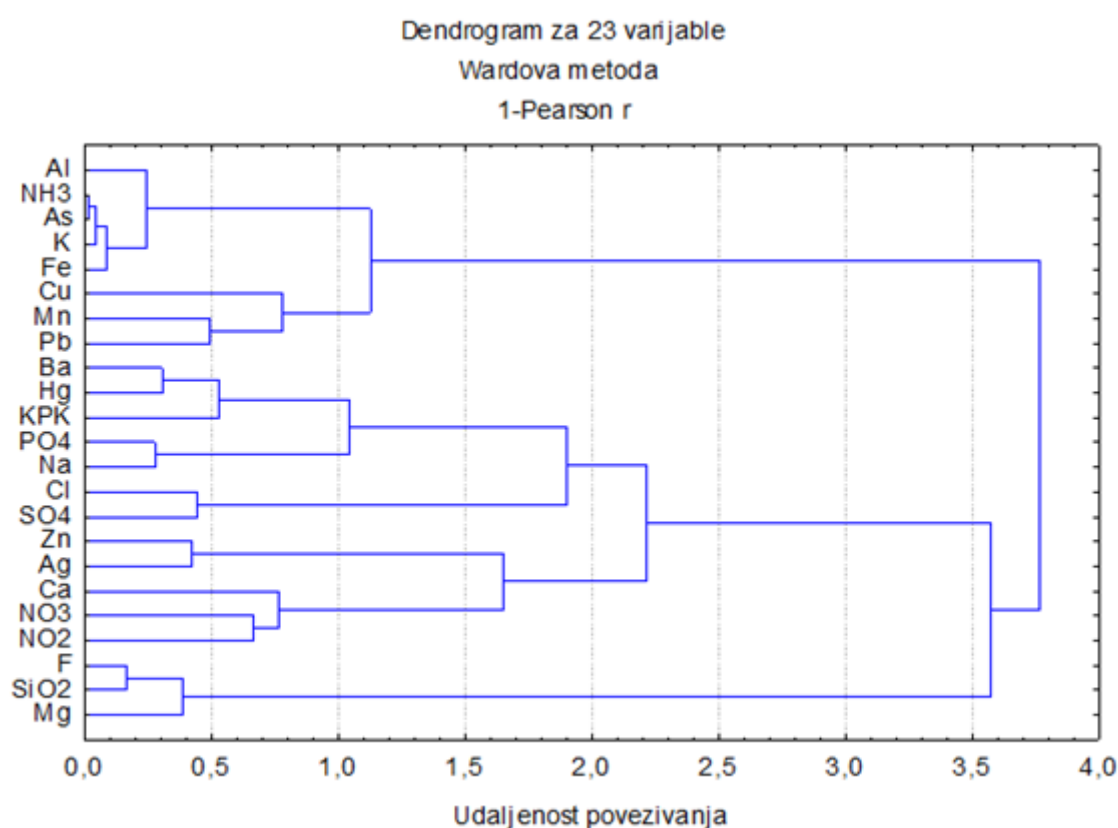
Metoda hijerarhijskog grupiranja daje grafički prikaz pojedinih skupina u obliku hijerarhijskog stabla ili dendrograma temeljenog na pozitivnim vrijednostima iz korelacijske matrice (**BROWN, 1998**). Za procjenu sličnosti geokemijskog afiniteta, odnosno porijekla parametara kakvoće podzemne vode, korištena je Wardova metoda, koja se temelji na analizi varijance. Wardova metoda ima strog klasifikacijski zahtjev na temelju kojeg nastaju klasteri u kojima je udaljenost među pojedinim članovima najmanja moguća. Za procjenu sličnosti između uzoraka koristila se samo jedna veza, ona najbliža iz korelacijske matrice. Prilikom obrade podataka rezultata parametara kakvoće vode korištena je Pearsonova r udaljenost.

Analizom dobivenog dendrograma geokemijskog afiniteta geokemijskih pokazatelja u uzorcima podzemnih voda s područja Sikirevaca (**slika 6.1**), može se primijetiti da su parametri kakvoće u vodi posljedica otapanja alumosilikata, pretežito minerala glina, organske materije i antropogenoga unosa. Činjenica jest, međutim, da relativno mali broj dostupnih cjelovitih analiza vode otežavaju interpretaciju dobivenog dendrograma.

Prva izdvojena skupina parametara/klastera, koju čine aluminij, amonijak, arsen, kalij, željezo, bakar, mangan i olovo, upućuju na porijeklo parametara vezanih za hidrolizu silikatnih minerala i reduktivne uvjete vodonosne sredine.

Druga izdvojena skupina parametara/klastera sastoji se od tri podskupine ili podklastera. Prva podskupina predstavlja složene afinitete parametara različitog

porijekla, koji su u manjoj ili većoj mjeri vezani za geokemijske procese koji uključuju nazočnost organske materije i njenu razgradnju (barij, živa, oksidativnost, ortofosfati, natrij), a mogu biti prirodnog i/ili antropogenog porijekla. Drugu podskupinu čine, sulfati, kloridi, nitrati, nitriti, cink, srebro, kalcij, a njihovo porijeklo se većim dijelom može povezati s antropogenim unosom (primjerice mineralna gnojiva, prirodna gnojiva, otpadne vode iz domaćinstva itd.). Treća podskupina (fluoridi, silikati, magnezij), predstavlja nereaktivne geokemijske pokazatelje, koji su u podzemnim vodama crpilišta Sikirevci vjerojatno pretežito prirodnog porijekla.



Slika 6.1. Dendrogram geokemijskog afiniteta pojedinih pokazatelja u uzorcima podzemnih voda s područja Sikirevaca

6.2.2. Geokemijske značajke podzemne vode na lokaciji crpilišta Bosanski Šamac

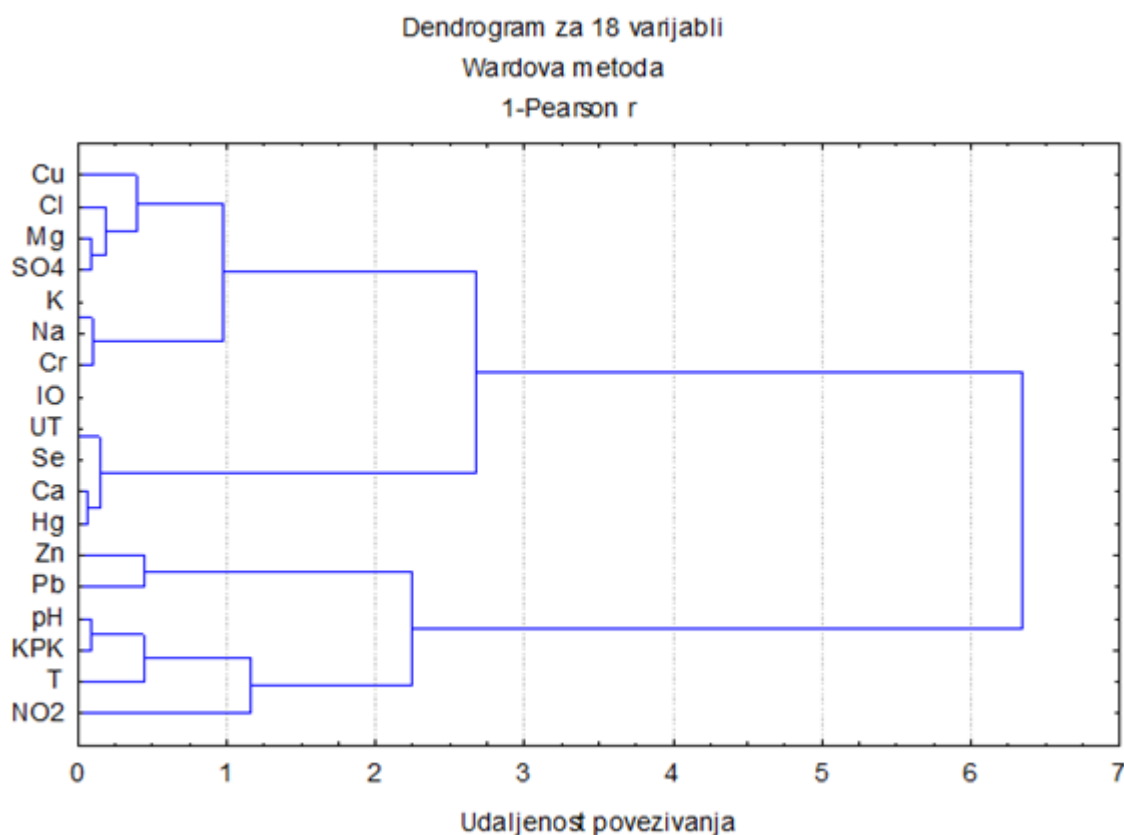
Geokemijske značajke podzemne vode na lokaciji crpilišta Bosanski Šamac određene su temeljem 119 analiza podzemne vode. Podaci o kakvoći podzemne vode prikupljeni su od Vodovoda i kanalizacije OJDKP Šamac. U **tablici 6.2.** prikazani su osnovni statistički pokazatelji parametara kakvoće vode na lokaciji Bosanski Šamac te maksimalno dozvoljena koncentracija (MDK), prema *Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN 125/13; NN 141/13)*. Analize se odnose na razdoblje od 2005. do 2011. godine.

Tablica 6.2. Osnovni statistički pokazatelji kakvoće podzemne vode na lokaciji
crpilišta Bosanski Šamac

	N	Srednja vrijednost	Minimum	Maksimum	Standardna devijacija	MDK
Amonijak (mg/l)	119	0,066	< DL	0,100	0,038	0,5
Bakar (µg/l)	5	1,60	1,00	2,00	0,55	2000
Boja (mg/PtCo skale)	119	0,5	< DL	30,0	3,9	20
Cink (µg/l)	5	5,40	3,00	8,00	2,07	3000
Isparni ostatak(mg/l) pri 105°C	119	420,0	298,3	690,6	62,5	
Kalcij (mg/l)	14	131,0	68,9	208,7	40,7	
Kalij (mg/l)	5	9,4	< DL	25,6	10,9	12,0
Kloridi (mg/l)	119	51,7	25,2	68,0	9,4	250,0
pH	119	7,5	7,2	8,3	0,2	6,5-9,5
Krom (µg/l)	5	1,4	1,0	2,0	0,5	50
Magnezij (mg/l)	14	63,6	38,7	97,6	17,1	
Natrij (mg/l)	5	9,7	< DL	25,6	10,78	200,0
Nitrati (mg/l)	119	14,03	< DL	15,0	14,7	50
Nitriti (mg/l)	117	0,004	< DL	0,170	0,022	0,05
Olovo (µg/l)	5	2,0	1,0	3,0	1,0	10
Selen (µg/l)	5	5,0	3,0	7,0	1,6	10
Sulfati (mg/l)	14	94,8	65,6	198,4	34,4	250,0
Temperatura (°C)	54	15,9	8,0	22,9	2,8	25
Ukupna tvrdoća (mg/l)	14	24,7	20,1	34,5	3,96	
KPK (mg O ₂ /l)	119	2,8	1,0	6,5	1,2	5,0
Vodljivost (µS/cm) pri 20°C	105	631	459	753	81,5	2500
Željezo (µg/l)	53	1,9	< DL	100,0	13,7	200,0
Živa (µg/l)	5	0,3	0,2	0,4	0,07	1,0

DL- detection limit ; označeno crveno –maksimalno zabilježene vrijednosti parametara koje prelaze MDK

Na području Bosanskog Šamca, temperatura sirove vode kreće se od 19,91 do 22,90⁰ C, a pH sirove vode je slabo bazičan i kreće se od 7,2 do 8,3. Podzemna voda je uglavnom mekana, s obzirom da se ukupna tvrdoća kreće od 20,09 do 34,53 mg/l CaCO₃. Sadržaj otopljene organske tvari ponekad prelazi dopuštene koncentracije u vodi za piće, što je vidljivo iz vrijednosti kemijske potrošnje kisika (KPK) koja se kreće od 1 do 6,5 mg/l O₂, a izračunata je na osnovu utroška KMnO₄, izraženim u mg O₂/l. Vrijednosti slobodnog amonijaka, nitrata i nitrita ne prelaze MDK za pitku vodu.



Slika 6.2. Dendrogram geokemijskog afiniteta pojedinih pokazatelja u uzorcima podzemnih voda s područja Bosanskog Šamca

Dendrogram geokemijskog afiniteta/porijekla parametara kakvoće vode u uzorcima podzemnih voda na području crpilišta Bosanski Šamac sastoji se od dvije osnovne skupine parametara/klastera (**slika 6.2.**). Osnovno porijeklo parametara/klastera kakvoće u podzemnoj vodi prve skupine parametara upućuje da je litološki sastav vodonosnika pretežito alumosilikatni i karbonatni (Cu, Cl, Mg, SO₄²⁻, K, Na, Cr, Se,

Ca, Hg, isparni ostatak i ukupna tvrdoća). Povišeni sadržaj kalija i klorida vjerojatno je povezan s unosom NPK mineralnih gnojiva. Druga skupina povezana je s afinitetom i porijeklom parametara povezanih s prisutnom organskom tvari u vodonosniku. Organska tvar je vjerojatno antropogenog porijekla, zbog uske povezanosti s temperaturom podzemne vode i pH vrijednosti, koja zavisi od sezonskih hidroloških prilika i procjeđivanja zagađenja s površine terena do podzemne vode.

6.2.3. Geokemijske značajke podzemne vode na lokaciji crpilišta Odžak

Geokemijske značajke podzemne vode na lokaciji Odžak određene su temeljem podataka o kakvoći podzemne vode sa zdenaca na crpilištu Odžak. Ukupno su prikupljene 24 analize podzemnih voda od JP Komunalac d.o.o. Odžak. U **tablici 6.3.** prikazani su osnovni statistički pokazatelji parametara kakvoće vode na lokaciji Odžak te maksimalno dozvoljena koncentracija (MDK), prema *Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN. 125/13; NN 141/13)*. Analize se odnose na razdoblje od 2004. do 2010. godine. Za crpilište u Odžaku nije bila dostupna niti jedna cjelovita C analiza, koja bi uključivala sve glavne katione i anione.

Tablica 6.3. Osnovni statistički pokazatelji kakvoće podzemne vode na lokaciji
crpilišta Odžak

	N	Srednja vrijednost	Minimum	Maksimum	Standardna devijacija	MDK
Amonijak (mg/l)	24	0,326	<DL	0,640	0,227	0,5
Isparni ostatak (mg/l) pri 105°C	24	391,8	12,0	480,5	115,8	
Kalcij (mg/l)	7	54,2	44,9	68,1	9,0	
Kloridi (mg/l)	24	15,9	9,1	29,3	5,0	250,0
pH	24	7,4	7,0	7,7	0,2	6,5-9,5
Magnezij (mg/l)	8	39,6	14,9	101,0	30,6	
Mangan (µg/l)	19	94,7	0,4	570,0	161,6	50,0
Mutnoća (°NTU)	23	5,6	<DL	101	20,8	4
Nitrati (mg/l)	24	4,33	<DL	101,00	20,59	50
Nitriti (mg/l)	24	0,004	<DL	0,048	0,012	0,05
Temperatura (°C)	14	13,1	12,0	16,0	1,3	25
KPK (mg O ₂ /l)	24	3,5	0,9	7,5	1,65	5,0
Vodljivost (µS/cm) pri 20°C	19	584,2	508,0	621,0	32,0	2500
Željezo (µg/l)	23	238,3	20,0	950,0	272,2	200,0

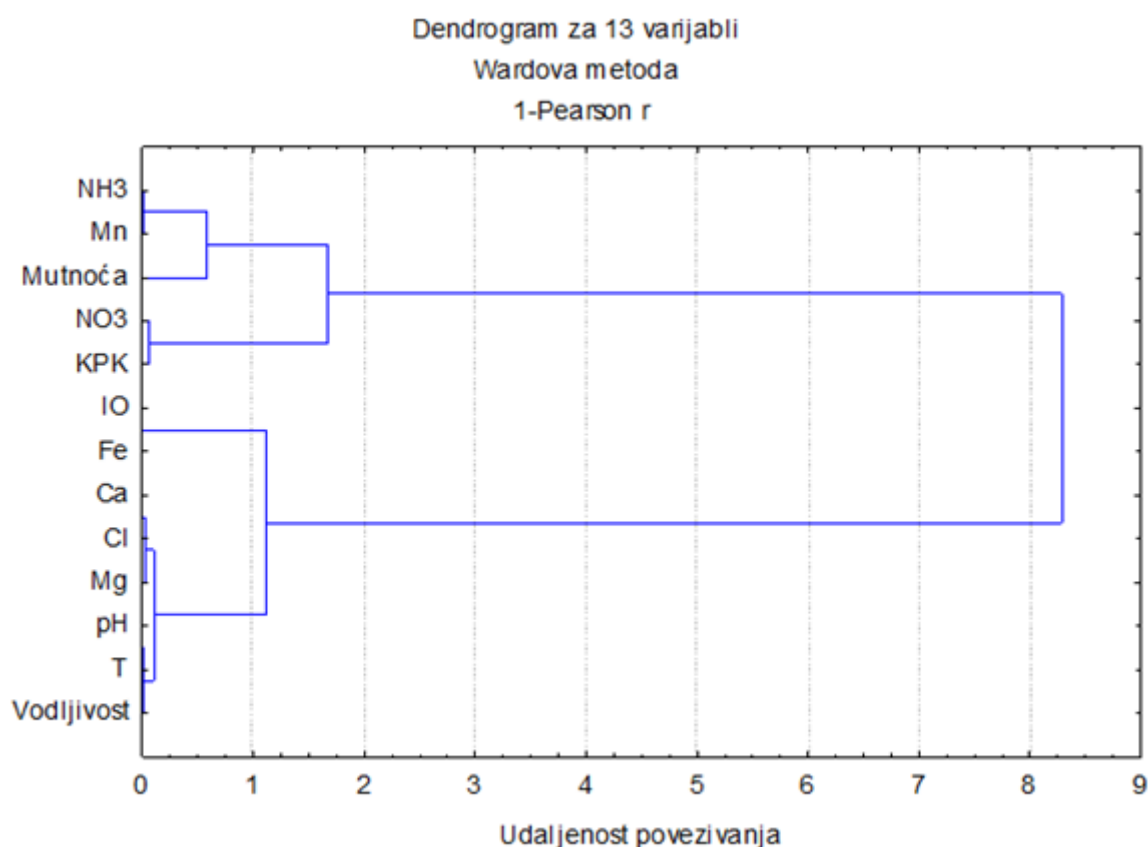
DL- detection limit ; označeno crveno –maksimalno zabilježene vrijednosti parametara koje prelaze MDK

Na crpilištu Odžak temperatura sirove vode kreće se od 12 do 16⁰ C. pH sirove vode je neutralan do bazičan i kreće se od 7,0 do 7,7. Sadržaj otopljene organske tvari ponekad prelazi dopuštene koncentracije u vodi za piće, što je vidljivo iz vrijednosti oksidativnosti koja iznosi 7,5 mg i izražena je u mg O₂/l. Vrijednosti slobodnog amonijaka, nitrata i nitrita u pravilu ne prelaze MDK za pitku vodu. Samo u jednoj analiza sirove vode izmjerena vrijednost nitrata bila je veća od dozvoljene i iznosila je 101,00 mg/l.

Na dendrogramu (**slika 6.3.**) varijable su vrlo jasno odvojene, prema svom geokemijskom afinitetu i prema porijeklu, u dvije skupine parametara/klastera.

Prvoj skupini parametara/klastera pridruženi su amonijak, mangan, mutnoća, nitrati i utrošak kalijevog permanganata. Ova skupina je nazvana organski klaster, jer povezuje varijable čije porijeklo je povezano s razgradnjom organske materije (NH₃, Mn, mutnoća, NO₃⁻, oksidativnost–utrošak KMnO₄). Druga skupina parametara/klastera, koju čine otopljeno željezo, kalcij, magnezij, klorid ion, pH

vrijednost, vodljivost i temperatura, uglavnom pripada prirodnom geokemijskom okolišu koji odražava temperaturu podzemne vode i litološki sastav vodonosnika. S obzirom da nije dostupna niti jedna cjelovita C analiza podzemne vode na lokaciji crpilišta Odžak, interpretacija dobivenog dendrograma je vrlo pojednostavljena, jer u monitoring podzemne vode nisu uključena mjerenja ostalih anorganskih i organskih pokazatelja kakvoće vode.



Slika 6.3. Dendrogram geokemijskog afiniteta pojedinih pokazatelja u uzorcima podzemnih voda s područja Odžaka

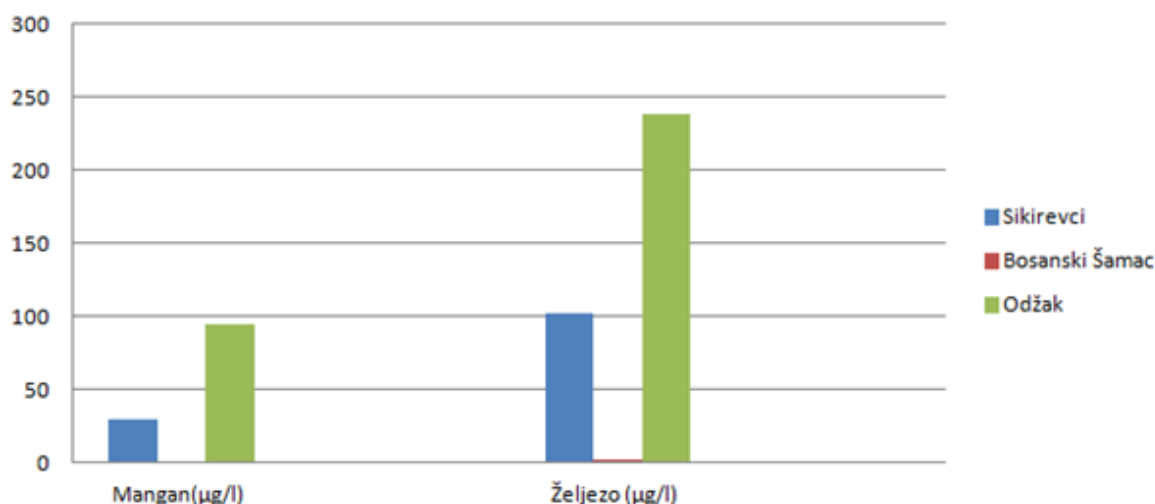
6.2.4. Sumarni prikaz geokemijskih značajki podzemne vode na širem području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“

Na temelju prikupljenih podataka o kakvoći podzemne vode na lokacijama: Sikirevci, Slavonski Šamac i Odžak, izvršena je interpretacija kakvoće podzemne vode u širem području regionalnoga crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci.

Sadržaj željeza i mangana u podzemnoj vodi na području Sikirevaca i Odžaka povremeno prelazi MDK za pitku vodu, dok su vrijednosti navedenih parametara u podzemnoj vodi na području Bosanskog Šamca ispod maksimalno dozvoljenih granica (**slika 6.4.**).

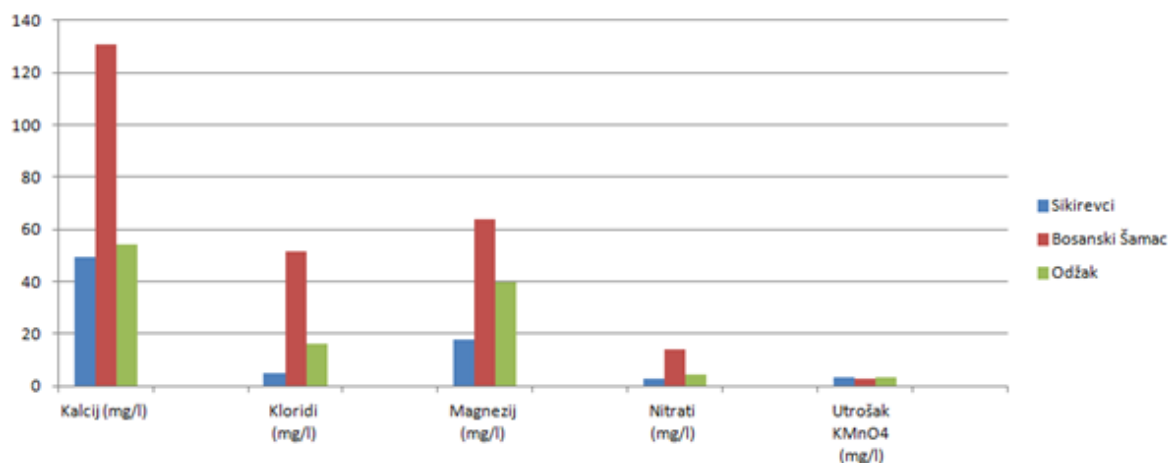
Na području Odžaka, maksimalna koncentracija željeza iznosi 950 µg/l, a srednja vrijednost 238,26 µg/l, dok maksimalno zabilježena koncentracija mangana iznosi 570 µg/l, a srednja vrijednost 94,7 µg/l.

Na području Gundinaca (Z-1, Z-2; SPB-3, 4 i 5) podzemna voda sadrži povećane koncentracije željeza i mangana, koje prelaze maksimalno dozvoljene koncentracije u pitkoj vodi. Prosječna koncentracija željeza u podzemnoj vodi na području crpilišta iznosi 101,81 µg/l, a mangana 29,71 µg/l. Maksimalna koncentracija mangana zabilježena je 2004. godine na zdencu Z-1 u Gundincima i iznosila je 167,30 µg/l, dok je maksimalna koncentracija željeza zabilježena iste godine u Gundincima, na strukturno-piezometarskoj bušotini SPB-3 i iznosila je 1.517,5 µg/l.



Slika 6.4. Prosječna vrijednost željeza i mangana u podzemnoj vodi na području Sikirevaca, Bosanskog Šamca i Odžaka

Na sve tri lokacije sadržaj kalcija je u rasponu od 37,30 do 208,94 mg/l klorida od 1,20 do 68,00 mg/l, a nitrata od 0 do 14,60 mg/l (**slika 6.5**). Oksidativnost podzemne vode, izračunata na osnovu utroška KMnO_4 , uglavnom je ispod maksimalno dopuštene koncentracije u vodi za piće na području Sikirevaca i kreće se od 0 do 1,60 mg/l. Na područjima Bosanskog Šamca i Odžaka oksidativnost ponekad prelazi maksimalno dopuštene vrijednosti koncentracija. U podzemnoj vodi na lokaciji Bosanski Šamac oksidativnost se nalazi u rasponu od 1,10 do 6,50 mg/l O_2 , a na lokaciji Odžak u rasponu od 0,90 do 7,50 mg/l.



Slika 6.5. Prosječna vrijednost kalcija, klorida, magnezija, nitrata i utroška $KMnO_4$ u podzemnoj vodi na području Sikirevaca, Bosanskog Šamca i Odžaka

6.3. Mogućnosti onečišćenja podzemne vode na širem području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“

Na temelju provedenih analiza uočeno je povremeno bakteriološko onečišćenje na lokaciji zdenaca „Istočna Slavonija“ Sikirevci, dva puta veće od dozvoljenoga, ukupnim koliformima, kao i onečišćenje podzemnih voda iz opažaćkih bušotina sa *Clostridium perfringens* (**tablica 6.1.**). Navedena onečišćenja ukazuju na antropogeni utjecaj na podzemne vode, koji može biti posljedica otpadnih voda iz domaćinstva, zbog nepostojanja komunalnih vodnih građevina za javnu odvodnju i uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Također je antropogeni utjecaj uočen i kroz povećane koncentracije amonijaka u strukturno-piezometarskoj bušotini u Sikirevcima (SPB-3), što se može pripisati nekontroliranim odlaganjem stajnjaka na životinjskim farmama. Amonijak može biti indikator mikrobiološke aktivnosti, otpadnih voda iz sustava odvodnje ili životinjskog otpada.

Na širem promatranom području razvijena je relativno intenzivna poljoprivredna proizvodnja. U takvim okolnostima, moguće je očekivati da će primjena pesticida, umjetnih gnojiva i eventualno navodnjavanje onečišćenom vodom negativno djelovati na kakvoću vode na regionalnom vodocrpilištu „Istočna Slavonija“ Sikirevci, naročito

u uvjetima intenzivne eksploatacije podzemne vode, kada dolazi do znatno bržega procjeđivanja onečišćivala kroz krovinu i uslijed većih brzina podzemne vode prema zdencima **(NAKIĆ et al., 2004)**. Na vodocrpilištu „Istočna Slavonija“ Sikirevci najveća količina nitrata i fosfata može dospjeti u tlo iz mineralnih gnojiva. Budući da se dušik nalazi u tlu na kojem nema usjeva u vlažnijem dijelu godine, dolazi do transformacije dušika u nitrate, te do procjeđivanja nitrata iz tla prema podzemnoj vodi. Zbog primjene fosfatnih gnojiva, koji sadrže određene količine teških metala, fosfati i metali procjeđuju se kroz zonu tla prema vodonosnim naslagama **(ADAM et al., 1987; BARIŠIĆ, 1988)**. Zbog navedenoga, potrebno je već sada preventivno djelovati i maksimalno ograničiti primjenu agrotehničkih sredstava u okviru šireg vodozaštitnog područja regionalnoga crpilišta.

Nepovoljnu okolnost može predstavljati i blizina rijeke Save, kao i rijeke Bosne, koje su prijammnici relativno pročišćenih i nepročišćenih otpadnih voda u istraživanom području. Budući da su plići vodonosni horizonti na širem području vodocrpilišta u izravnoj hidrauličkoj vezi s navedenim rijekama, relativno loša kakvoća površinskih voda može nepovoljno utjecati na kakvoću podzemne vode na vodocrpilištu.

Industrijska postrojenja, obrtničke radionice i benzinske postaje vjerojatno su spojene internim kanalizacijskim sustavom na glavne kolektore ili je sustav otpadnih voda riješen sukladno zakonskoj regulativi. Stanje internih instalacija u navedenim objektima nije poznato. Naglašava se njihov mogući utjecaj kao potencijalnih izvora onečišćenja. Navedeni objekti u normalnim uvjetima ne emitiraju zagađivala, do emisije zagađivala može doći zbog havarije, kvarova, nepažnje ili drugih iznimnih okolnosti. Nesanirana divlja odlagališta otpada, koja se nalaze u blizini gotovo svih naselja na istraživanom području, često su locirana uz rijeke i manje vodotoke, stoga predstavljaju kritične točke i potrebno ih je preventivno sanirati. Vrlo važnu ulogu za siguran rad regionalnog vodocrpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci ima nasip kraj rijeke Save, koji je projektiran na 100-godišnju veliku vodu. Prema tome za pretpostaviti je da je zaobalje u kojem se nalazi vodocrpilište „Istočna Slavonija“ sigurno od velikih voda za 100-godišnje povratno razdoblje.

Rezultati analiza kakvoće vode na crpilištu „Istočna Slavonija“ Sikirevci pokazali su povišene vrijednosti željeza, mangana, prirodnog amonijaka i arsena u podzemnoj vodi, zbog prirodnih reduktivnih uvjeta u vodonosnoj sredini. S obzirom na evidentnu

prisutnost žive i arsena u podzemnoj vodi, značajna je činjenica da je koncentracija ukupnih pesticida mala (manja od 50 µg/l), tako da se sadržaj žive i arsena može uglavnom zanemariti. Značajka ovih elemenata je sklonost stvaranja organskih kompleksa i uslijed toga relativno slaba pokretljivost u vodonosnoj sredini. Također, u reduktivnim uvjetima taloženja, vrlo često su živa i arsen vezani za metalne sulfide, koji se u određenim uvjetima, najčešće promjenom Eh-pH vrijednosti, mogu transformirati u elementarnu živu ili u formu trovalentnih ili peterovalentnih arsenskih oksianiona, sa znatno većom mobilnosti. U daljnjim istraživanjima kakvoće podzemne vode na ovom području, naročitu pažnju treba posvetiti određivanju porijekla sadržaja žive i arsena na ovim lokacijama.

7. METODE OCJENE PRIRODNE I SPECIFIČNE RANJIVOSTI VODONOSNIKA

7.1. Koncept ranjivosti vodonosnika

7.1.1. Povijesni pregled

Koncept ranjivosti vodonosnika prvi u hidrogeološku praksu uvodi francuski hidrogeolog **MARGAT (1968)**. Koncept ranjivosti vodonosnika polazi od činjenice da fizički uvjeti u okolišu pružaju određeni stupanj prirodne zaštite podzemnih voda. Prema **ALBINET & MARGAT (1971)** karte ranjivosti vodonosnika pokazuju mogućnost infiltracije i širenja onečišćivala u vodonosnik, na temelju geoloških značajki sedimenta i hidrogeoloških uvjeta.

Prema **CIVITA (1988)**, prirodna ranjivost vodnog tijela opisana je s mogućnošću infiltracije i perkolacije tekućine ili vodene otopine nekog onečišćivala kroz nesaturiranu zonu.

Ranjivost vodonosnika predstavlja relativnu „lakoću“ kojom štetna tvar, koja se nalazi na površini ili neposredno ispod površine terena, migrira prema razmatranom vodonosniku u određenim hidrogeološkim uvjetima (**USEPA, 1993**).

Ranjivost vodonosnika u najširem kontekstu može se opisati kao mogućnost onečišćenja vodonosnika od posljedica aktivnosti na površini terena (**NRC, 1993**). Prema **VRBA & ZAPOROZEC (1994)**, ranjivost vodonosnika nije moguće izmjeriti izravno ili in situ, ona je relativno, nemjerljivo i bezdimenzijsko svojstvo, stoga je ranjivost vodonosnika potrebno izvesti na temelju podataka koje je moguće mjeriti. Obzirom na ponašanje određene vrste onečišćenja u određenim hidrogeološkim uvjetima, **VRBA & ZAPOROZEC (1994)** razlikuju dvije vrste ranjivosti vodonosnika:

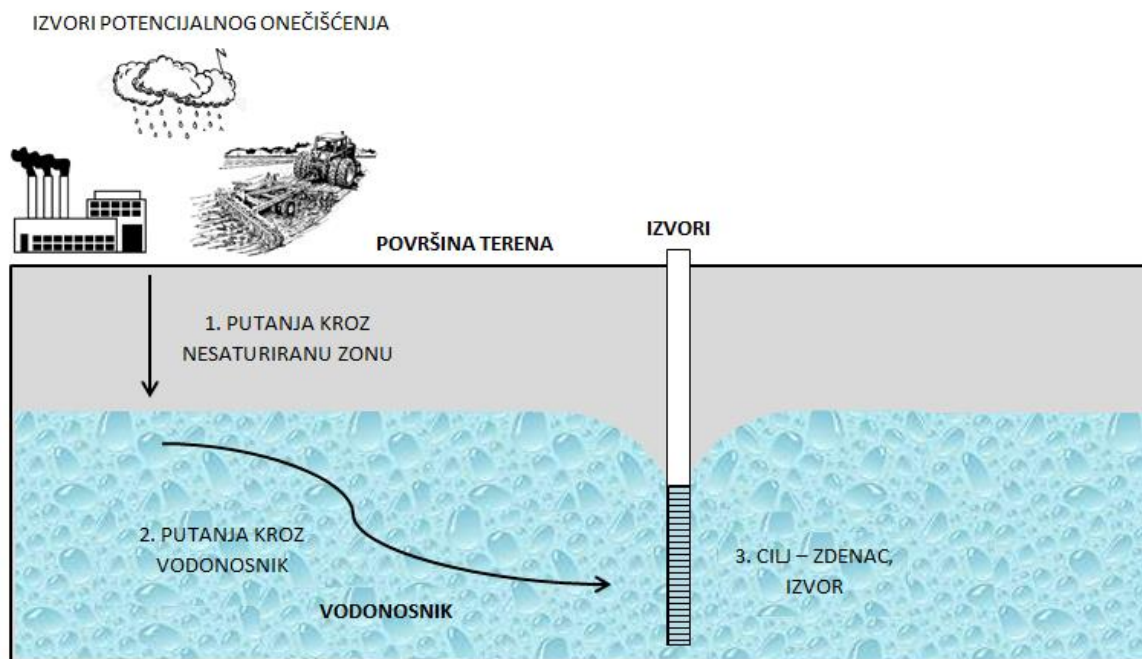
1. *Prirodna ranjivost* – jest osjetljivost podzemne vode na onečišćenja koja uključuje geološke, hidrološke i hidrogeološke uvjete promatranog područja, a nije ovisna o značajkama onečišćujuće tvari i načinu kretanja onečišćenja.

2. *Specifična ili integralna ranjivost* – jest osjetljivost podzemne vode na onečišćenja koja uključuje značajke onečišćenja ili grupe onečišćenja i njihov odnos prema hidrogeološkom sustavu.

Obzirom da ranjivost vodonosnika nije značajka sustava koju je moguće izmjeriti izravno ili u laboratoriju i označava vjerojatnost hoće li zagađenje doći, potrebno ju je izvesti na temelju podataka koje je moguće mjeriti. S ciljem definiranja ranjivosti vodonosnika razvijen je veći broj metoda koje u obzir uzimaju različita obilježja hidrogeološkog sustava i reprezentativne parametre. U opisivanju ranjivosti vodonosnika važan je prijedlog i konceptualnog modela, kojim su se, na pojednostavljen način, objedinili najvažniji koncepti ranjivosti vodonosnika. Projektom **COST 65 (1995)** dane su definicije koje opisuju ranjivost kao svojstvo vodonosnog sustava. Rezultati navedenoga projekta omogućili su razvoj različitih metoda za procjenu ranjivosti, kao alata kod strategije zaštite vodnih resursa i okoliša. **GOGU & DASSARGUES (2000)** kao jedan od osnovnih hidrogeoloških izazova navode integraciju rezultata numeričkog modeliranja toka podzemne vode i transporta onečišćivača s metodom ocjene ranjivosti vodonosnika.

Primjena različitih metoda za isto područje znalo je rezultirati različitim kartama ranjivosti bez obzira što su metode dosta slične, i što su se temeljile na sličnim parametrima i imale slične sustave bodovanja. Pokretanjem projekta **COST 620 (2004)** pokušalo se dati objektivne metodologije i okvirne smjernice za ujednačeni pristup u procjeni ranjivosti i rizika. U okviru projekta COST 620, prirodna ranjivost uključuje geološke, hidrološke i hidrogeološke uvjete područja istraživanja ne razmatrajući pri tom prirodu samog onečišćenja i scenarij onečišćenja. Zaključci u okviru projekta COST 620 su da specifična ranjivost pored značajki sustava koje se koriste za ocjenu prirodne ranjivosti u obzir uzima i obilježja onečišćenja, zatim kako ona utječu na njegov prijenos kroz različite elemente hidrogeološkog sustava, te scenarij zagađenja.

Ovi koncepti poznati su pod nazivom: **onečišćenje–put–cilj (slika 7.1)** čime je uspostavljen Europski pristup.



Slika 7.1. Model „onečišćenje –put – cilj“ (prema **COST 620, 2004**)

Vrlo je važno voditi računa o nekoliko elemenata ranjivosti koji uključuju: izbor referentne lokacije (cilj), put od mjesta onečišćenja do cilja (prijamnik, primjerice crpilište ili podzemna voda), koncept prirodne i specifične ranjivosti, mjerilo prikaza podataka.

Izvor onečišćenja se najčešće nalazi na površini terena ili neposredno ispod terena. Referentna lokacija (prijemnik) može biti vodno lice, zdenac ili izvor, dok u slučaju zatvorenog vodonosnika, cilj je krovina vodonosnika. U slučaju ocjene ranjivosti za izvor ili zdenac, pored topografskih značajki terena i svojstva nesaturirane zone, vrlo su bitne i značajke vodonosnika. Put predstavlja tok kroz nesaturiranu zonu, a ukoliko je referentna lokacija izvorište, tada se prati horizontalni tok kroz saturirani dio vodonosnika.

Europski pristup nije metoda nego skup smjernica koje definiraju i detaljno objašnjavaju parametre koji su se koristili u različitim metodama i bili prikazani na različite načine. Znanstvenici diljem svijeta dalje traže i razvijaju nove metode ili kombiniraju postojeće metode kojim bi najbolje procijenili ranjivost nekog područja

CIVITA (2010), tako se primjenom DISCO metode (**POCHON et al., 2008**) i PaPRIKa metode (**KAVOURI et al., 2011**) vrši procjena ranjivosti vodonosnika.

7.2. Opis metoda za ocjenu prirodne i specifične ranjivosti vodonosnika

Metode ocjene ranjivosti moguće je podijeliti u četiri kategorije (**GOGU & DASSARGEUES, 2000**):

- Metode hidrogeološkog kompleksa (eng. methods of hydrogeological complex);
- Metode analognih odnosa ili indeksne metode (eng. analogue relations and index methods);
- Statističke metode (eng. statistical methods);
- Parametarske metode (eng. parametric methods), koje se mogu podijeliti u:
 - Metode matričnog sustava (eng. methods matrix system);
 - Metode jednostavnog vrednovanja (eng. simple methods of evaluation);
 - Metode bodovanja s dodjeljivanjem težinskih vrijednosti (eng. methods scoring with assigning weight values)

Metode hidrogeološkog kompleksa - razvijene su 60-tih i 70-tih godina prošlog stoljeća. Procjenjuju ranjivost na kvalitativan način, na temelju određenih hidrogeoloških, morfoloških i hidrografskih značajki. Pregledne geološke karte, pedološke karte i karte s prikazima dubine do podzemne vode su najčešći izvori podataka. Metode hidrogeološkog kompleksa pogodne su za prikaz ranjivosti vodonosnika na tematskim kartama srednjeg do sitnog mjerila. Također su pogodne za prikaz velikih površina obilježenih različitim hidrogeološkim, hidrografskim i geomorfološkim razvojem, tako da područja s istim značajkama imaju jednaku razinu ranjivosti. Danas se vrlo rijetko primjenjuju a korištene su za ocjenu prirodne ranjivosti vodonosnika.

Metode analognih odnosa ili indeksne metode – razvijene su za potrebe ocjene specifične ranjivosti vodonosnika i temelje se na pojednostavljenoj jednadžbi transporta, a za ulazne podatke koriste se fizikalne i hidrološke značajke tla, te kemijske značajke onečišćivala. Metode analognih odnosa pogodne su za ocjenu prirodne i specifične ranjivosti u regionalnom mjerilu. To su metode koje u obzir ne uzimaju svojstva saturiranog dijela vodonosnika, te su pogodne isključivo u situacijama kada se kao cilj promatra razina podzemne vode, a ne izvor ili zdenac.

Statističke metode - ove metode se najmanje koriste u praksi. Koncept ranjivosti temelji se na određivanju vjerojatnosti onečišćenja. Statističke metode zasnivaju se na velikoj količini podataka o fizikalnim obilježjima prirodne sredine i procesima koji se odvijaju u njoj. Navedeni podaci najčešće nisu dostupni, što dovodi do pojednostavljenja statističkih postupaka. Primjenom statističkih metoda moguće je ocijeniti kvalitetu ulaznih podataka. Temelje se na matematičkim postupcima kojima se dovode u vezu pokazatelji kakvoće podzemne vode s prirodnim utjecajima ili utjecajem ljudskog faktora. Koriste se za ocjenu specifične ranjivosti vodonosnika u priljevnim područjima crpilišta ili čitavih vodonosnih sustava, ukoliko postoji odgovarajući program praćenja kakvoće podzemnih voda. Ovisno o raspoloživim podacima, postoji veliki broj statističkih metoda (primjerice multivarijatni regresijski modeli, klaster analize, geostatističke analize, analize vremenskih serija), koje je moguće primijeniti za ocjenu prirodne i specifične ranjivosti vodonosnika.

Parametarske metode – danas se najčešće koriste. Temelje se na vrednovanju određenih parametara, čije se vrijednosti u postupku zbrajaju i naknadno klasificiraju. Parametarskim metodama vrlo brzo je moguće obuhvatiti veliku količinu mjerodavnih prostornih podataka. Metode su metodološki detaljno razrađene i omogućava se usporednost dobivenih rezultata. Prema složenosti dijele se na:

- Metode matričnog sustava – temelje se na kombinacijama malog broja pažljivo odabranih parametara. Primjer ove metode je Irska metoda (**DoELG/EPA/DSI, 1999**). Metode matričnog sustava su se češće primjenjivale zbog svoje jednostavnosti do razvoja računala i GIS tehnologije. Ocjenom ranjivosti vodonosnika obuhvaćene su: vrsta vodonosnika, s obzirom na hidrauličke uvjete, i vrsta tla, s obzirom na teksturu i fizikalno-kemijske značajke.

- Metode jednostavnog vrednovanja – svaki od odabranih parametara ima fiksni raspon vrijednosti. Rasponi vrijednosti su hijerarhijski podijeljeni u kategorije kojima su dodijeljeni odgovarajući bodovi. Procjena ranjivosti vodonosnika dobiva se zbrajanjem ili množenjem parametara za svaki prostorni element razmatranog područja koji se naknadno dijeli u odgovarajuće kategorije. Tako dobivene kategorije predstavljaju relativni stupanj ranjivosti vodonosnika. Metode jednostavnog vrednovanja razvijene su za ocjenu prirodne ranjivosti vodonosnika (primjerice GOD metoda) (**FOSTER, 1987**).
- Metode bodovanja s dodjeljivanjem težinskih vrijednosti – predstavljaju dopunjenu varijantu metoda jednostavnog vrednovanja, uvođenjem težinskih faktora, s kojima se množe parametri i na taj način naglašavaju utjecaj pojedinih parametara u ukupnoj ranjivosti. Primjer ovih metoda su DRASTIC metoda (**ALLER et al., 1987**) te SINTACS metoda (**CIVITA & DE MAIO, 1997**).

U nastavku poglavlja je opis parametarskih metoda GOD, AVI, Irske, Njemačke i SINTACS kojim ćemo utvrditi koji je dio istraživanog područja ranjiviji temeljem definiranih parametara za svaku od navedenih metoda. Također u poglavlju 10. je opis COP metode kojom je utvrđena prirodna i specifična ranjivost vodonosnika šireg područja istraživanja.

7.2.1. Osnove GOD metode

GOD metoda koristi se za brzu ocjenu prirodne ranjivosti, kada je na raspolaganju manji broj podataka. GOD metoda u obzir uzima sljedeće parametre:

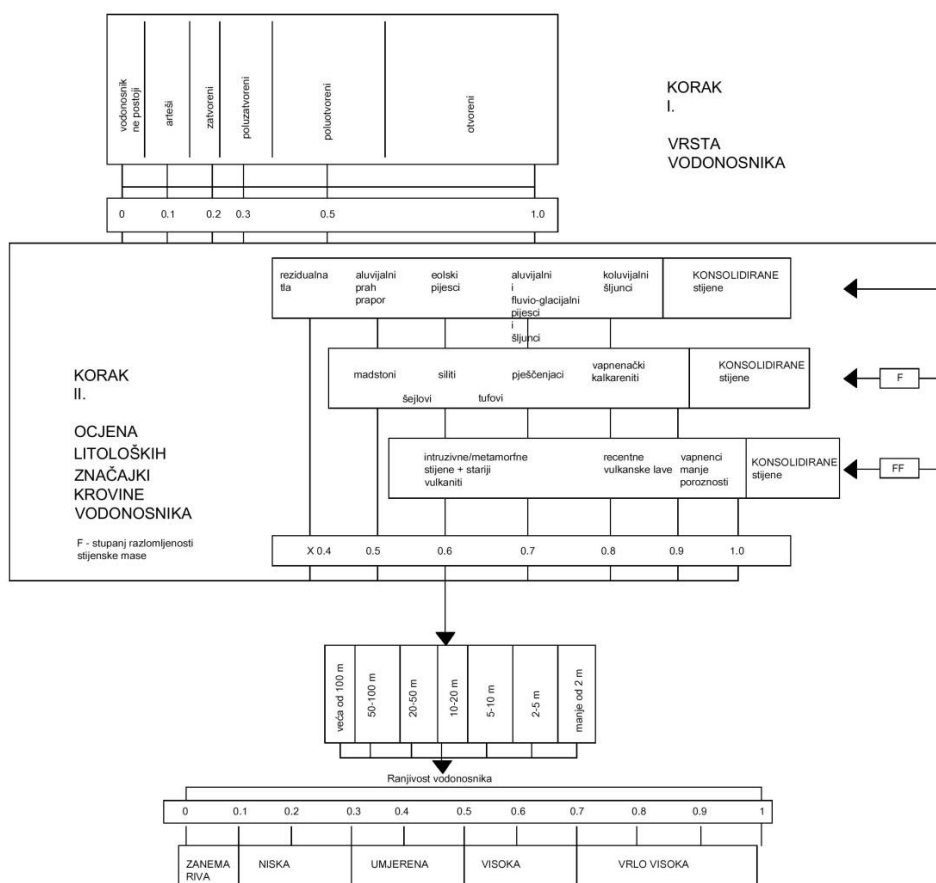
- način pojavljivanja podzemne vode (G);
- stupanj konsolidacije i litološka svojstva krovinskih naslaga vodonosnika (O) i
- dubinu do podzemne vode (D).

Svakom od navedenih parametara dodjeljuje se odgovarajuća vrijednost u rasponu od 0 (minimalna ranjivost) do 1 (maksimalna ranjivost), sukladno postupku opisanom

na **slici 7.2.**, a konačni indeks ranjivosti predstavlja produkt vrijednosti korištenih parametara (**GOGU & DASSARGUES, 2000**).

$$I_{GOD} = G \cdot O \cdot D \quad (7.1)$$

Litološke značajke vodonosnika i hidraulička vodljivost vodonosnika su svojstva koja ova metoda ne uzima u obzir. Pogodna je za ocjenu ranjivosti kada se za cilj potencijalnog onečišćenja promatra vodna ploha ili krovina vodonosnika u aluviju ili kršu. S obzirom na manji broj korištenih parametara za ocjenu ranjivost, GOD metoda ima veću tendenciju generalizacije u odnosu na DRASTIC metodu koja obuhvaća veći broj značajki sustava (**LEXOW et al., 1994**).



Slika 7.2. GOD-parametarska metoda ocjene ranjivosti vodonosnika
(prema **FOSTER, 1987**)

7.2.2. Osnove AVI metode

AVI (engl. Aquifer Vulnerability Index) metoda je mjera ranjivosti podzemnih voda temeljena na dva fizička parametra (**VAN STEMPVOORT et al., 1992**). Karte dobivene određivanjem ranjivosti AVI metodom, mogu pomoći pri definiranju zona sanitarne zaštite izvorišta i pri regionalnim istraživanjima. Parametri koje se koriste za izračunavanje indeksa ranjivosti vodonosnika su:

- debljina svakog pojedinog sloja iznad vodnog lica do površine terena (d)
- procijenjena hidraulička vodljivost svakog pojedinog sloja (K)

Podatke o debljinama pojedinog sloja moguće je dobiti iz podataka o bušotinama. Hidraulička vodljivost najčešće nije dostupna za svaki sloj, nego se najčešće procjenjuje kao srednja vrijednost za određeni (propusniji) dio vodonosnog sustava iz podataka pokusnih crpljenja (**FREEZE & CHERRY, 1979**).

Za svaki pojedini sloj na poznatoj lokaciji (bušotini) izračuna se „hidraulički otpor“ (c), koji se dobije dijeljenjem debljine svakog pojedinog sloja i njegove procijenjene hidrauličke vodljivosti. Hidraulički otpor opisuje otpor slojeva prema vertikalnom tečenju, pri čemu se lateralno širenje onečišćenja smatra beznačajnim. Hidraulički otpor sadrži vremensku komponentu koja upućuje na okvirno vrijeme gibanja čestica vode kroz slojeve gravitacijom prema dolje, pomoću advekcije, pod jediničnim hidrauličkim gradijentom.

$$c=d/K \quad (7.2)$$

gdje su:

d- debljina sloja (m),

K- hidraulička vodljivost (m/s).

Ukupni indeks ranjivosti za određenu lokaciju dobiva se zbrajanjem vrijednosti hidrauličkog otpora svakog pojedinog sloja prema izrazu:

$$AVI = \sum (d/K) = \sum c \quad (7.3)$$

Dobivene vrijednosti AVI indeksa se zatim logaritmiraju, te interpoliraju kako bi se dobila karta ranjivosti na kojoj se izdvaja pet klasa ranjivosti (**tablica 7.1.**). AVI indeks metoda ne uzima u obzir klimatske uvjete, hidraulički gradijent, poroznost i difuziju onečišćivala.

Tablica 7.1. AVI metoda – odnos indeksa ranjivosti vodonosnika i hidrauličkog otpora

HIDRAULIČKI OTPOR (c)	Log (c)	Ranjivost (AVI)
0 – 10	< 1	vrlo visoka
10 - 100	1 - 2	visoka
100 – 1000	2 - 3	srednja
1000 – 10000	3 - 4	niska
> 10 000	> 4	vrlo niska

7.2.3. Osnove Irske metode

Kada se kao cilj promatra razina podzemne vode, odnosno krovina vodonosnika tada je Irska metoda odgovarajuća za ocjenu prirodne ranjivosti svih tipova vodonosnika. Irsku metodu su razvili Geološki institut Irske (GSI), Odjel za okoliš i Lokalna Uprava (DoELG), te Agencija za zaštitu okoliša EPA, (**DoELG et al., 1999**). Kartiranje ranjivosti vodonosnika u Irskoj se provodi kao jedna od komponenti unutar cjelovite procedure zaštite vodonosnika i na taj način je moguće utjecati na sustav prostornog planiranja.

Prema strukturi i načinu ocjene, Irska metoda svrstava se u matrične sustave, a prema složenosti postupka pripada u skupinu jednostavnih metoda. Ocjenom su obuhvaćeni litološki sastav donjeg sloja tla, odnosno nesaturirana zona. Svojstva gornjeg sloja tla ne uzimaju se u obzir, jer se polazi od pretpostavke da se najveća onečišćenja događaju na dubini od 1 do 2 m ispod površine terena. Obzirom na mogućnost onečišćenja, kod konsolidiranih vodonosnika promatra se donji sloj tla,

ocjenjuje se njegova debljina i litološki sastav, dok se utjecaj nesaturirane zone, zbog visokog stupnja njene razlomljenosti u Irskoj, zanemaruje. Razmatra se i prostorni raspored krških fenomena zbog mogućnosti koncentriranog procjeđivanja i na taj način minimiziranja utjecaja krovinskih naslaga u zaštiti od potencijalnog onečišćenja.

U primjeni kod ocjene nekonsolidiranih vodonosnika prisutna je vrlo jednostavna kategorizacija s obzirom na debljinu nesaturirane zone (**tablica 7.2.**), te su predviđene samo dvije kategorije ranjivosti: ekstremna i visoka.

Tablica 7.2. Upute za određivanje ranjivosti (prema DoELG et al., 1999)

Kategorija ranjivosti vodonosnika	Hidrogeološki uvjeti				
	Propusnost donjeg sloja tla			Nesaturirana zona	Krška obilježja
	Visoka propusnost (pijesak/šljunak)	Umjerena propusnost (pijesak)	Niska propusnost (glina, treset)	(samo za pješčano(šljunčane vodonosnike)	(radijus <30m)
	Debljina (m)	Debljina (m)	Debljina (m)	Debljina (m)	Debljina (m)
Ekstremna (E)	0 - 3,0	0 – 3,0	0 - 3,0	0 - 3,0	-
Visoka (V)	> 3,0	3,0-10,0	3,0-5,0	> 3,0	N/A
Umjerena (U)	N/A	> 10,0	3,0-10,0	N/A	N/A
Niska (N)	N/A	N/A	> 10,0	N/A	N/A
Napomena: (1) N/A - nije primjenjivo					
(2) Precizne podatke o vrijednostima hidrauličke vodljivosti trenutno nije moguće dati					
(3) Pretpostavlja se otpuštanje potencijalnog zagađivala na dubini od 1-2 m ispod razine terena					

Karte ranjivosti vodonosnika dobivene Irskom metodom se kombiniraju s ostalim kartama zaštite vodonosnika i/ili izvora. Da bi se dobila karta zaštite vodonosnika, karta ranjivosti se kombinira s kartama vodonosnika, koje se temelje na utvrđivanju hidrogeoloških granica stijene i kategorija njihove važnosti.

Nedostatak Irske metode je zanemarivanje važnih faktora, kao što su: efektivna infiltracija, hidrogeološka svojstva naslaga koje izgrađuju nesaturiranu zonu konsolidiranih vodonosnika ili utjecaj nesaturirane zone kod krških vodonosnika.

7.2.4. Osnove Njemačke metode

Državni geološki institut (GLA) i Federalni institut geoznanosti i prirodnih dobara (BGR) u Njemačkoj su razvili metodu kako bi procijenili zaštitnu funkciju krovinskih naslaga (**HÖLTING et al., 1995**).

Njemačka metoda je slična Irskoj metodi, ne razmatra saturiranu zonu vodonosnika, nego zaštitnu funkciju krovinskih naslaga vodonosnika, odnosno naslaga iznad vodne plohe.

Hidraulička svojstva tla i nesaturirane zone indirektno se procjenjuju na temelju značajki tla i/ili litološkog sastava.

Ocjena ranjivosti prema Njemačkoj metodi podrazumijeva analizu efektivne infiltracije oborina, te svih slojeva iznad vodne plohe koje izgrađuju tlo i nesaturiranu zonu, a s obzirom na njihova hidraulička svojstva i debljinu. Ukoliko ne postoje podaci o efektivnoj infiltraciji, ocjene (bodovi) se mogu temeljiti na razlici između godišnjih oborina i potencijalne evapotranspiracije (ETP_{pot}) (**tablica 7.3**).

Tablica 7.3. Ocjena efektivne infiltracije (prema **HÖLTING et al., 1995**.)

EFEKTIVNA INFILTRACIJA (mm/god)	OBORINE – POTENCIJALNA EVAPOTRANSPIRACIJA (mm/god)	W (broj bodova)
< 100		1,75
100-200	< 100	1,5
200-300	100-200	1,25
300-400	200-300	1,0
>400	300-400	0,75
	>400	0,5

Pretpostavlja se da se infiltracija događa na cijelom slivu i da se voda procjeđuje do saturirane zone. Ovakvi uvjeti su najčešći u naslagama s međuzrnskom poroznosti, a

u obzir nisu uzeta posebna obilježja krša, kao što je koncentrirano tečenje podzemne vode na različitim dubinama.

Da bi se odredila ukupna zaštita krovinskih naslaga (P_t), u obzir se uzimaju dvije komponente i to: funkcija tla (P_1) i funkcija nesaturirane zone (P_2). Funkcija tla se određuje s obzirom na efektivni kapacitet tla eFC (**tablica 7.4.**). Efektivni kapacitet potrebno je definirati za svaki sloj tla i pomnožiti ga sa njegovom debljinom, a na kraju je sve dobivene vrijednosti potrebno zbrojiti.

$$P_1 = S \times W \quad (7.4)$$

gdje su:

S – bodovi dodijeljeni funkciji tla

W – bodovi dodijeljeni efektivnoj infiltraciji

Tablica 7.4. Ocjena funkcije tla (prema **HÖLTING et al., 1995**)

$\sum$ eFC (mm), do 10 dm dubine	S (soil) (broj bodova)
>250	750
200-250	500
140-200	250
90-140	125
50-90	50
<50	10

Zaštitnu funkciju nesaturirane zone (P_2), odnosno vrijeme zadržavanje vode u nesaturiranoj zoni nekonsolidiranih stijena, autori izvode preko kapaciteta kationske izmjene (CEC) čestica glina i praha, jer su oba faktora u izravnoj vezi s litološkim sastavom naslaga (**tablica 7.5. i 7.6.**). Prema literaturnim podacima o kapacitetu

kationske izmjene za čestice gline i praha, izračunate su srednje vrijednosti za različite nekonsolidirane naslage, s obzirom na udio tih frakcija u njima. Tako se različitim vrstama nekonsolidiranih stijena dodjeljuju odgovarajući bodovi.

Tablica 7.5. Ocjena nesaturirane zone za nekonsolidirane stijene
(prema **HÖLTING et al., 1995**)

Vrsta nekonsolidirane stijene	R _u (broj bodova / m)
Glina	500
Glina s primjesama ilovače, slabo prašinstva glina	400
Glina slabo pjeskovita	350
Prašinstva glina, glinovito-prašinstva ilovača	320
Glinovita ilovača	300
Glina izrazito prašinstva, pjeskovita glina	270
Prah s dosta ilovače	250
Slabo glinovita ilovača, glinovito-prašinstva ilovača	240
Izrazito glinoviti prah, prašinstva ilovača	220
Izrazito pjeskovita glina, pjeskovito-prašinstva ilovača, slabo pjeskovita ilovača, prah s ilovačom, glinoviti prah	200
Pjeskovita ilovača, prah s primjesom ilovače	180
Prah s primjesom ilovače, pjeskoviti prah s ilovačom, prah slabo pjeskovita	160
ilovača	140
Izrazito glinoviti pijesak, glinoviti pijesak s primjesom ilovače	120
Pjeskoviti prah, pijesak s dosta ilovače	90
Pijesak s ilovačom, izrazito prašinstva pijesak	75
Slabo glinoviti pijesak, prašinstva pijesak, pjeskovito-glinoviti šljunak	60
Pijesak s primjesama ilovače, pjeskovito-prašinstva šljunak	50
Slabo prašinstva pijesak, slabo prašinstva pijesak s šljunkom	25
Pijesak	10
Pijesak sa šljunkom, pjeskoviti šljunak	5
Šljunak, šljunak s brečom	200
Nekonsolidirani vulkanski materijal	400
Treset	300
Sapropel	
Napomena: ako su vidljivi ostaci organske materije u stijeni, broj bodova se uvećava za 75/m (ne primjenjuje se za treset i sapropel)	

Tablica 7.6. Ocjena nesaturirane zone za konsolidirane stijene
(prema **HÖLTING et al., 1995**)

Vrsta stijena	O	Struktura	F
claystone, slejt, lapor, silstone	20	Nerazlomljeni, neznatno razlomljeni	25,0-4,0
pješčenjak, kvarcit efuzivne stijene, intruzivne stijene, magmatske stijene	15	Umjereno razlomljeni, neznatno klastificirani, umjereno klastificirani	1,0-0,5
Porozni pješčenjaci, porozne vulkanske stijene (npr. tuf)	10	Izrazito razlomljeni ili izrazito karstificirani	0,3
Konglomerati, breče, vapnenci, tufitični vapnenci, dolomiti, gips	5	nepoznata	1,0

$$P_2 = W(R_1T_1 + R_2T_2 + \dots + R_nT_n) + Q + HP \quad (7.5)$$

gdje su:

W – bodovi dodijeljeni efektivnoj infiltraciji,

$R_{1,2,\dots,n}$ – bodovi dodijeljeni nesaturiranoj zoni,

$T_{1,2,\dots,n}$ – debljina naslaga,

Q – bodovi dodijeljeni lebdećem vodonosniku,

HP – bodovi dodijeljeni za arteške uvjete u vodonosniku.

Postojanje lebdećeg i arteškog vodonosnika osigurava dodatan stupanj zaštite vodonosnika od onečišćenja te se za takve situacije dodaje bonus od 500 bodova za svaki lebdeći, a 1500 bodova za svaki arteški vodonosnik.

Koeficijent zaštite svih slojeva (P_t) proizlazi iz sume izraza:

$$P_t = P_1 + P_2 \quad (7.6)$$

Tablica 7.7 prikazuje kategorizaciju učinkovitosti krovinskih naslaga s obzirom na zaštitu podzemne vode u odnosu na vrijeme zadržavanja vode u krovini.

Tablica 7.7. Kategorizacija ukupne zaštitne funkcije pokrovnih naslaga (prema HÖLTING et al., 1995)

UKUPNA ZAŠTINA UČINKOVITOST	UKUPAN BROJ BODOVA P_t	UKUPNO VRIJEME ZADRŽAVANJA VODE U KROVINI
Vrlo visoka	>4000	>25 godina
Visoka	>2000 – 4000	10 – 25 godina
Srednja	>1000 – 2000	3 – 10 godina
Niska	500 – 1000	Nekoliko mjeseci do oko 3 godine
Vrlo niska	500	Nekoliko dana do oko 1 godine, u krškim stijenama često i manje

Njemačka metoda prema strukturi i stupnju složenosti pripada u metode jednostavnog vrednovanja i pogodna je za ocjenu prirodne ranjivosti vodonosnika. Dobivene vrijednosti zaštitne učinkovitosti slojeva iznad vodne plohe pokazuju se na karti, gdje se svakoj kategoriji dodjeljuje određena boja.

7.2.5. Osnove SINTACS metode

Po uzoru na američki DRASTIC, **ALLER et al. (1987)** su razvili u Italiji SINTACS metodu za procjenu ranjivosti vodonosnika. Novo razvijenom metodom autori su

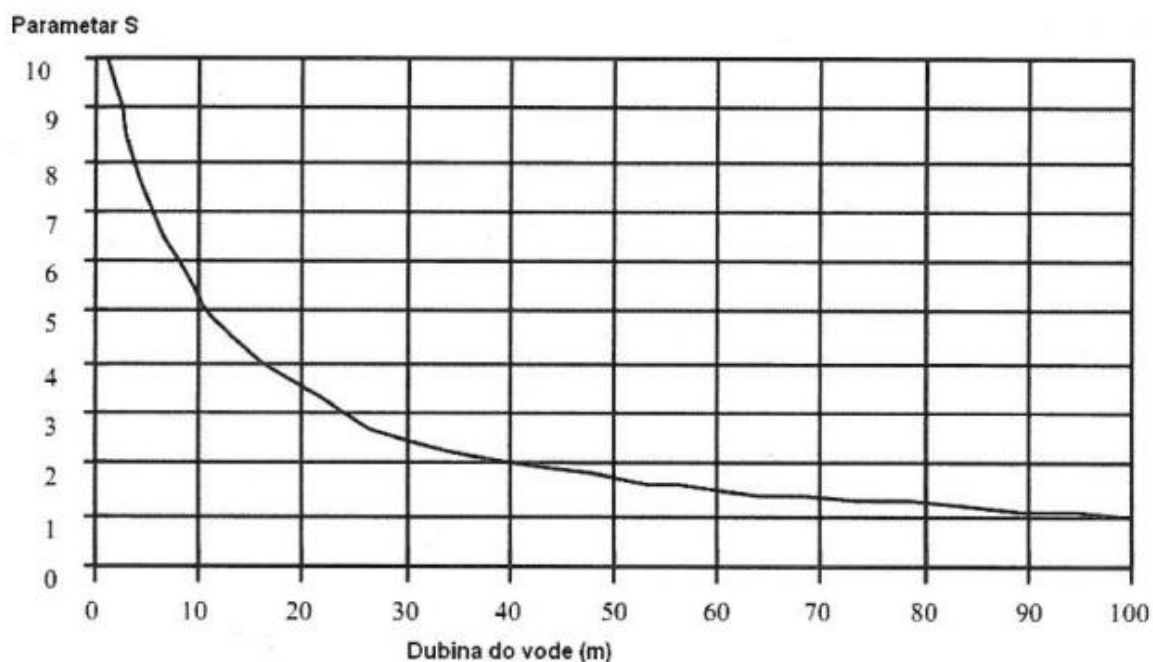
pokušali korigirati nedostatke DRASTIC metode, vezane za raspon vrijednosti pojedinih parametara i dodjeljivanje odgovarajućih bodova, te raspodjelu indeksa ranjivosti u odgovarajuće kategorije. Novo razvijena metoda nadopunjavala se kroz vrijeme, na temelju iskustava provedenih na 500 lokaliteta na području Italije. Razvijen je sustav ocjene ranjivosti vodonosnika koji je na osnovu nekoliko težinskih faktora omogućavao fleksibilnost u primjeni, s obzirom na hidrogeološke uvjete i način korištenja zemljišta.

Autori **CIVITA & DE MAIO (2000)** su predložili poboljšanu verziju SINTACS R5 (peta verzija) metode, temeljem koje se ranjivost vodonosnika određuje iz sljedećih sedam parametara: dubine do podzemne vode (S), djelovanja efektivne infiltracije (I), kapaciteta razrjeđenja u nesaturiranoj zoni (N), kapaciteta razrjeđenja u tlu/pokrovnim naslagama (T), hidrogeoloških obilježja vodonosnika (A), raspona hidrauličke vodljivosti vodonosnika (C) i hidrološke uloge nagiba terena (S).

Svaki od navedenih parametara je u rasponu od 1 do 10, gdje veća vrijednost parametara označava veću ranjivost vodonosnika. U nastavku su opisani parametri, rasponi vrijednosti i način dodjeljivanja bodova parametrima.

Dubina do podzemne vode (S)

Dubina do podzemne vode je važan parametar za ocjenu ranjivosti vodonosnika, jer utječe na trajanje vertikalnog procjeđivanja onečišćenja kroz krovinske naslage, a time i na zadržavanje onečišćenja, primjerice zbog procesa sorpcije. U skladu s rezultatima provedenih istraživanja i na temelju iskustva, odabran je hiperbolički oblik smanjenja vrijednosti pridruženih bodova u odnosu na povećanje dubine do podzemne vode. Vrijednost bodova približava se vrijednosti 1 za dubine podzemne vode veće od 70 m (**slika 7.3**).



Slika 7.3. SINTACS – dubina do podzemne vode – rasponi i vrijednosti bodova
(prema **CIVITA & DeMAIO, 2000**)

Efektivna infiltracija (I)

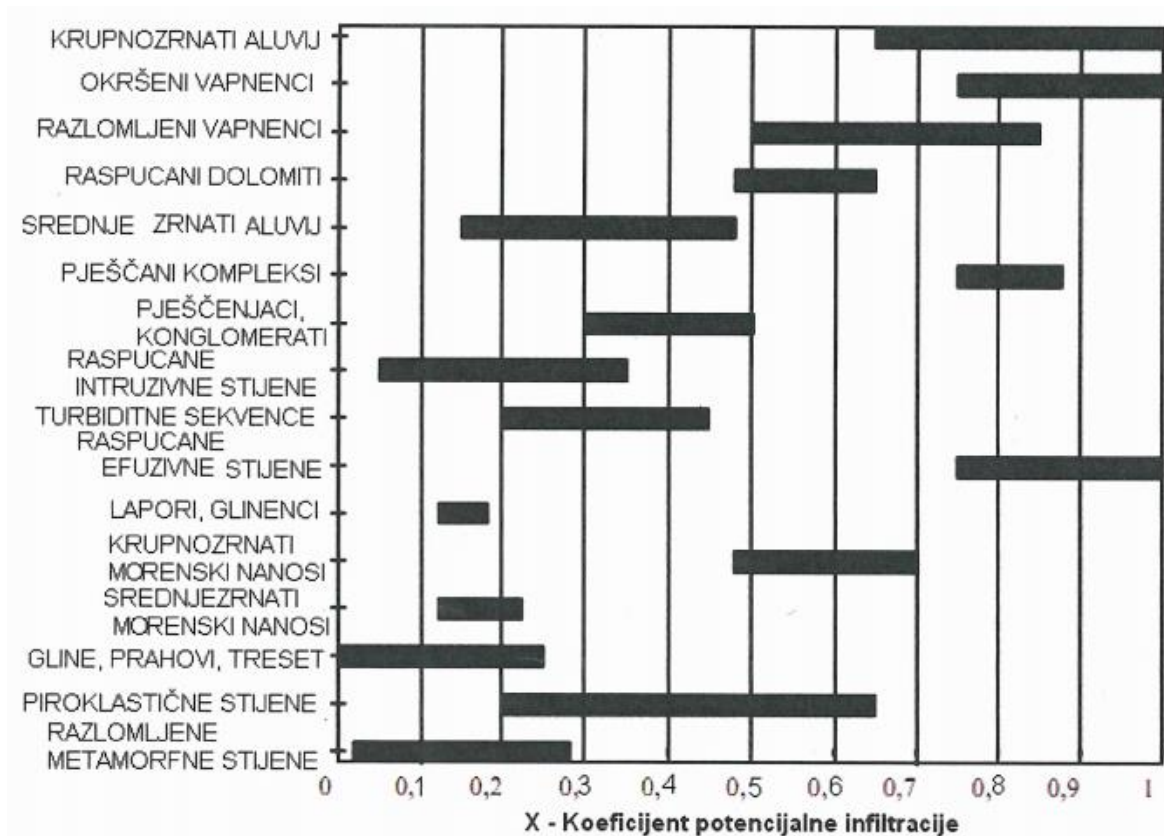
Efektivna infiltracija je također važan parametar u procjeni ranjivosti vodonosnika, zbog ispiranja potencijalnog onečišćenja iz tla i procesa razrjeđenja koji se odvijaju u nezasićenoj i zasićenoj zoni za vrijeme transporta onečišćenja. Parametri efektivne infiltracije se izračunavaju na temelju oborina (P) i, evapotranspiracije (E_t), u kombinaciji s hidrogeološkim značajkama, što je sadržano u indeksu potencijalne infiltracije (X). Veća količina oborina uzrokuje veću ranjivost, koja će u vrlo kratkom roku omogućiti transport onečišćenja do podzemne vode. Za izračun navedenog parametra uzima se niz od najmanje 20 srednjih godišnjih količina oborina i srednjih godišnjih temperatura zraka. Indeks X ovisi o: litologiji vodonosnika (u slučaju prodora stijene vodonosnika na površinu terena ili vrlo blizu površine) (**slika 7.4**), hidrauličkim značajkama tla, ako mu je debljina veća od 0,5 m (**slika 7.5**), nagibu površine terena i tipu relativne propusnosti izdanka stijene vodonosnika na površini (**LOBOREC, 2013**).

Za područja gdje nema kontinuiranih naslaga tla, parametar (I) se izračunava prema izrazu:

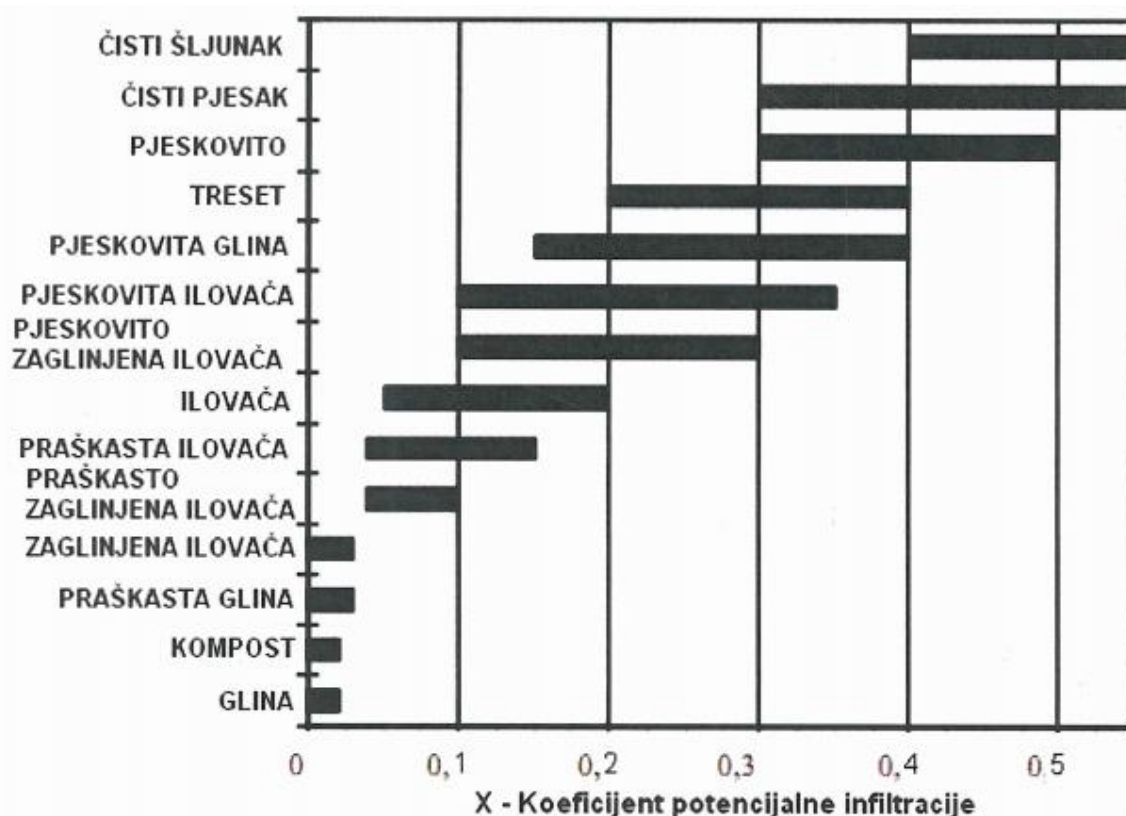
$$I = (P - Et) \cdot X \quad (7.7)$$

Za područja gdje je debljina tla veća od 0,5 m parametar (I) se izračunava prema izrazu:

$$I = P \cdot X \quad (7.8)$$

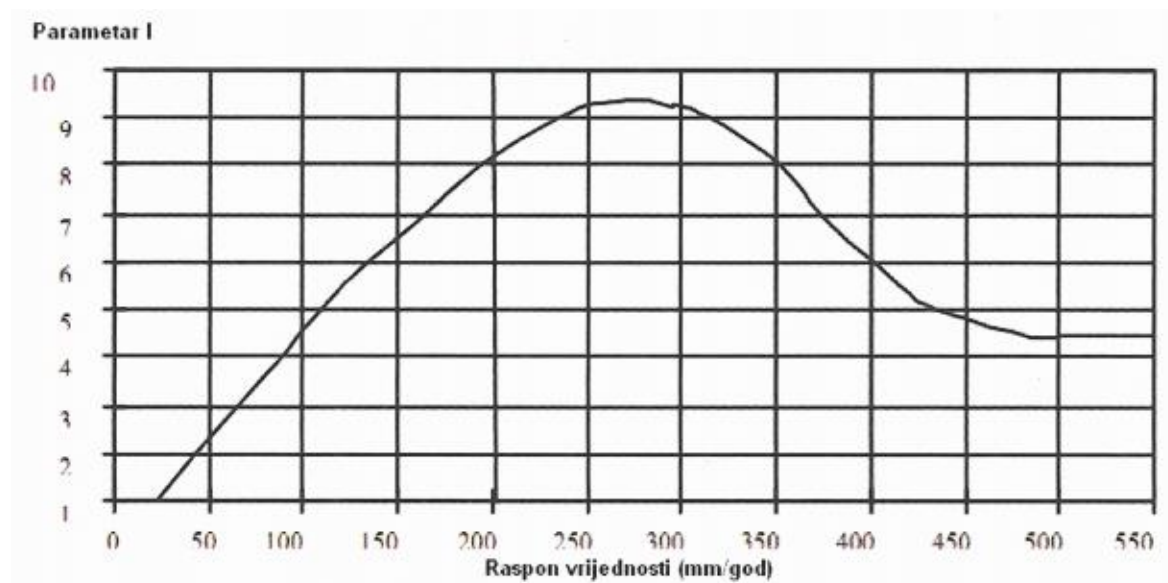


Slika 7.4. SINTACS - efektivna infiltracija – određivanje koeficijenta X ovisno o vrsti stijena (prema CIVITA & DeMAIO, 2000)



Slika 7.5. SINTACS - efektivna infiltracija – određivanje koeficijenta X ovisno o teksturi tla (prema **CIVITA & DeMAIO, 2000**)

Rezultat I (mm/god) uvrštava se u dijagram (**slika 7.6**), koji daje vrijednost parametra I . Prikazana krivulja do određene vrijednosti ima uzlazni karakter (250-300), a nakon određenih vrijednosti ima silazni oblik, što znači da određene vrijednosti infiltriranih količina oborina vrše razrjeđenja onečišćenja, i na taj način smanjuju ranjivost vodonosnika.



Slika 7.6. SINTACS – efektivna infiltracija – rasponi i vrijednosti bodova (prema CIVITA & DeMAIO, 2000)

Kapacitet razrjeđenja u nesaturiranoj zoni (N)

Na razrjeđenje onečišćenja u nesaturiranoj zoni djeluju fizički i kemijski procesi. Kapacitet razrjeđenja onečišćenja u nesaturiranoj zoni ovisi o litološkim i hidrogeološkim značajkama nesaturirane zone (teksturi, mineralnom sastavu, granulometrijskom sastavu, razlomljenosti, okršavanju i dr). Na dijagramu (**slika 7.7**) su prikazane hidrogeološke značajke naslaga s pripadajućim rasponom bodova N. Iz dijagrama je vidljivo i to da većina kategorija ima vrijednost parametara u rasponu od 3 i više.

Ako se u nesaturiranoj zoni nalaze slojevi različitih litoloških i hidrogeoloških značajki, ukupna vrijednost parametara N definirana je kao suma umnoška debljine i težinskih vrijednosti pojedinog sloja te se dobivena vrijednost dijeli s ukupnom debljinom nesaturirane zone.

Ukupna vrijednost SINTACS parametra N dobivena je rasterskom algebrom prema formuli:

$$N = \frac{N_{sp} \cdot d_{sp} + N_{dp} \cdot d_{dp}}{d} \quad (7.9.)$$

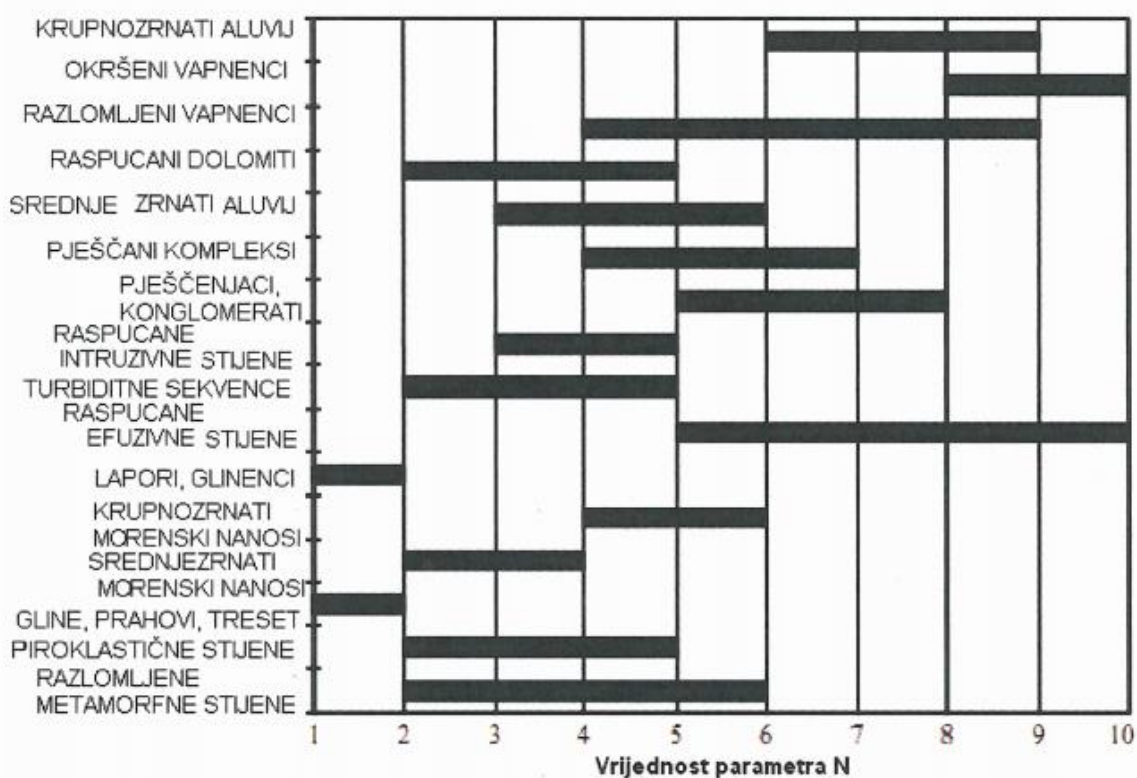
gdje su:

N_{sp} - težinska vrijednost za naslage izgrađen od ilovače, gline i praha

d_{sp} - debljina naslaga izgrađenih od ilovače, gline i praha

N_{dp} - težinska vrijednost za naslage izgrađen šljunaka i pijesaka

d_{dp} - debljina naslaga izgrađenih od šljunaka i pijesaka

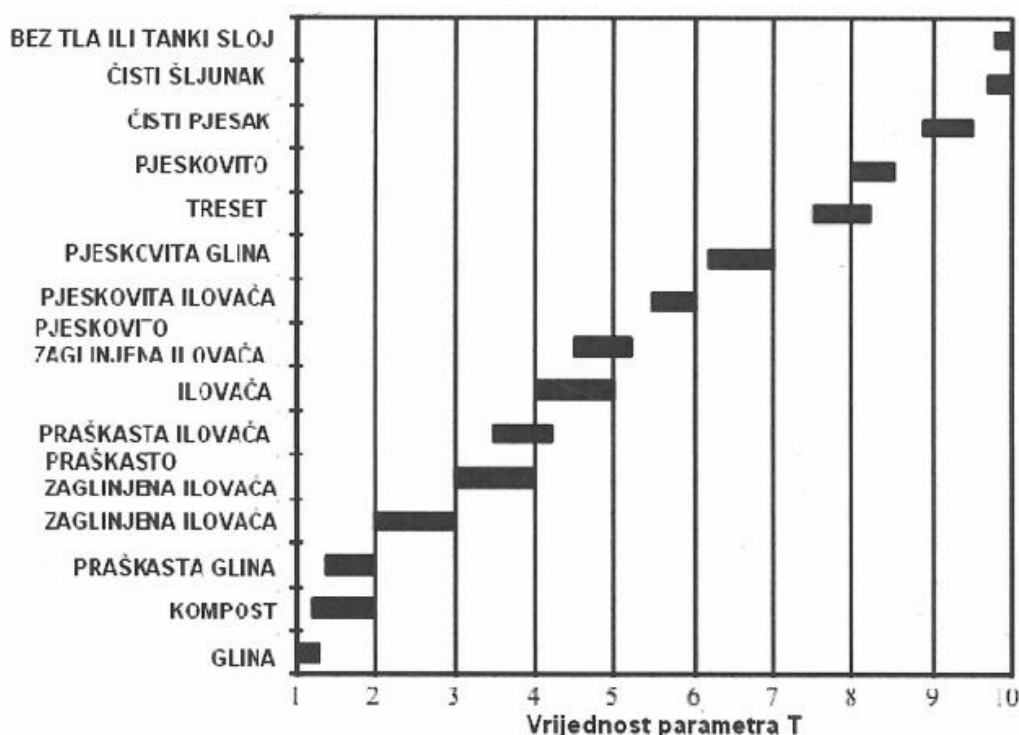


Slika 7.7. SINTACS - Kapacitet razrjeđenja u nesaturiranoj zoni – raspon bodova u nesaturiranoj zoni (prema **CIVITA & DeMAIO, 2000**)

Ocjena 1 se dodjeljuje nesaturiranoj zoni, u slučaju kada se u krovini vodonosnika nalazi jedan ili više nepropusnih slojeva.

Kapacitet razrjeđenja u tlu/pokrovnim naslagama (T)

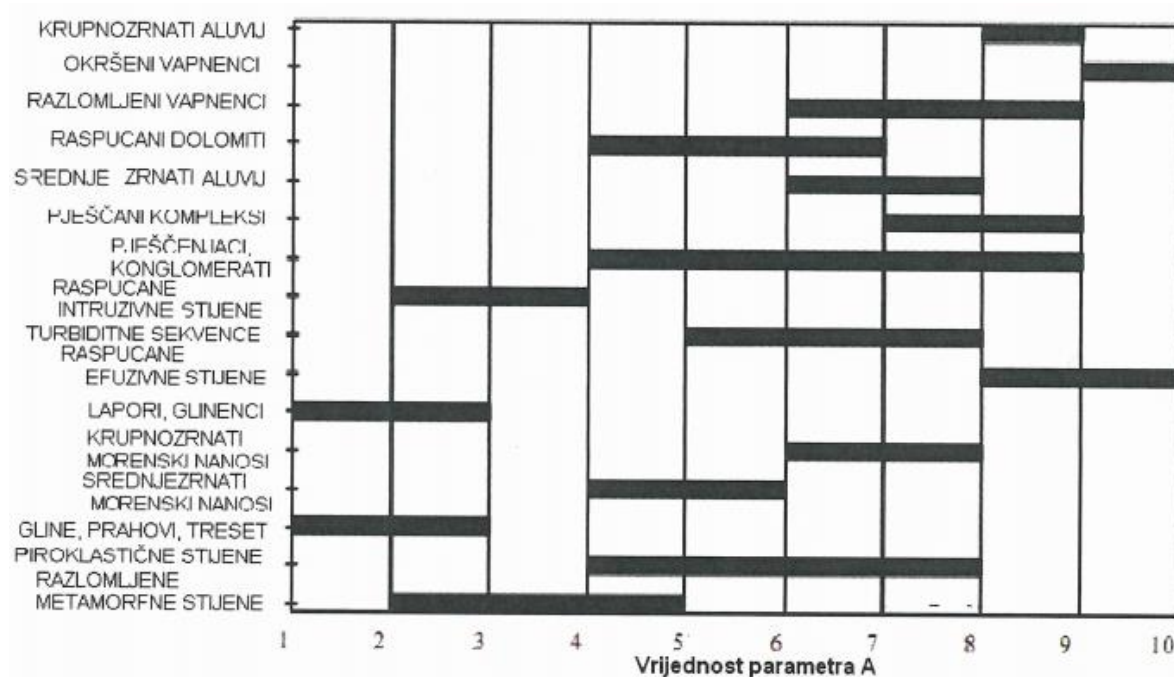
Sadržaj organske materije je vrlo važan element koji izdvaja tlo iz preostalog dijela nesaturirane zone. Tlo kao izdvojena cjelina nesaturirane zone usporava i zadržava onečišćenje, te štiti vodonosnik od potencijalnih onečišćenja. U tlu može doći do brojnih fizikalno-kemijskih i bioloških procesa koji utječu na ponašanje onečišćenja, a ovise o svojstvima tla ili pokrovnih naslaga koje se promatraju kroz dvije skupine parametara. Granulometrijski sastav, tekstura, gustoća, dubina, ukupni porozitet, hidraulička vodljivost tla i raspoloživa količina vode u tlu je prva skupina parametara koja izravno utječe na adsorpciju, filtraciju, drenažni kapacitet, sadržaj vode i brzinu procjeđivanja. pH, kapacitet kationske izmjene (CEC), sadržaj organske materije i sadržaj gline je druga skupina parametara koji omogućuju sorpciju nekog kemijskog spoja ili elementa na čestice tla. Vrlo često su podaci za procjenu T parametra nedostupni, stoga je pojednostavljen sustav bodovanja koji uzima u obzir samo granulometrijski sastav čestica koje izgrađuju nesaturiranu zonu (**slika 7.8**).



Slika 7.8. SINTACS - Kapacitet razrjeđenja u tlu/pokrovnim naslagama – rasponi bodova (prema **CIVITA & DeMAIO, 2000**)

Hidrogeološka obilježja vodonosnika (A)

Parametar hidrogeološka obilježja vodonosnika (A) opisuje saturirani dio vodonosnog sustava. Ovaj parametar opisuje procese unutar saturirane zone vodonosnika i miješanje onečišćenja s podzemnom vodom. **Slika 7.9** prikazuje sustav vrednovanja hidrogeoloških obilježja za različite vrste vodonosnika.

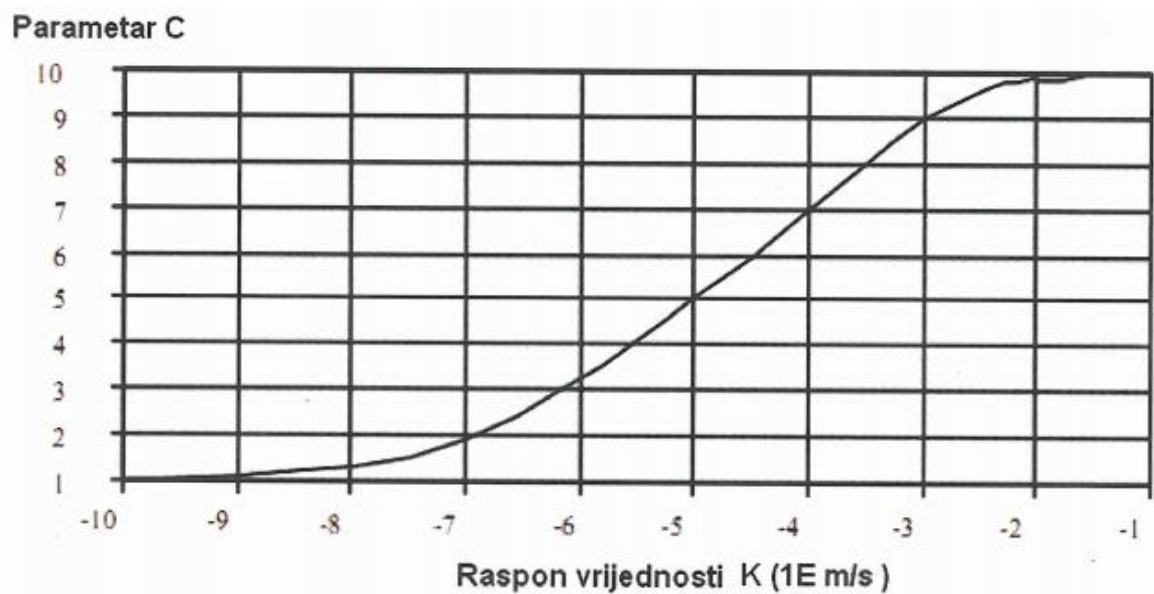


Slika 7.9. SINTACS - Hidrogeološka obilježja vodonosnika – rasponi bodova (prema CIVITA & DeMAIO, 2000)

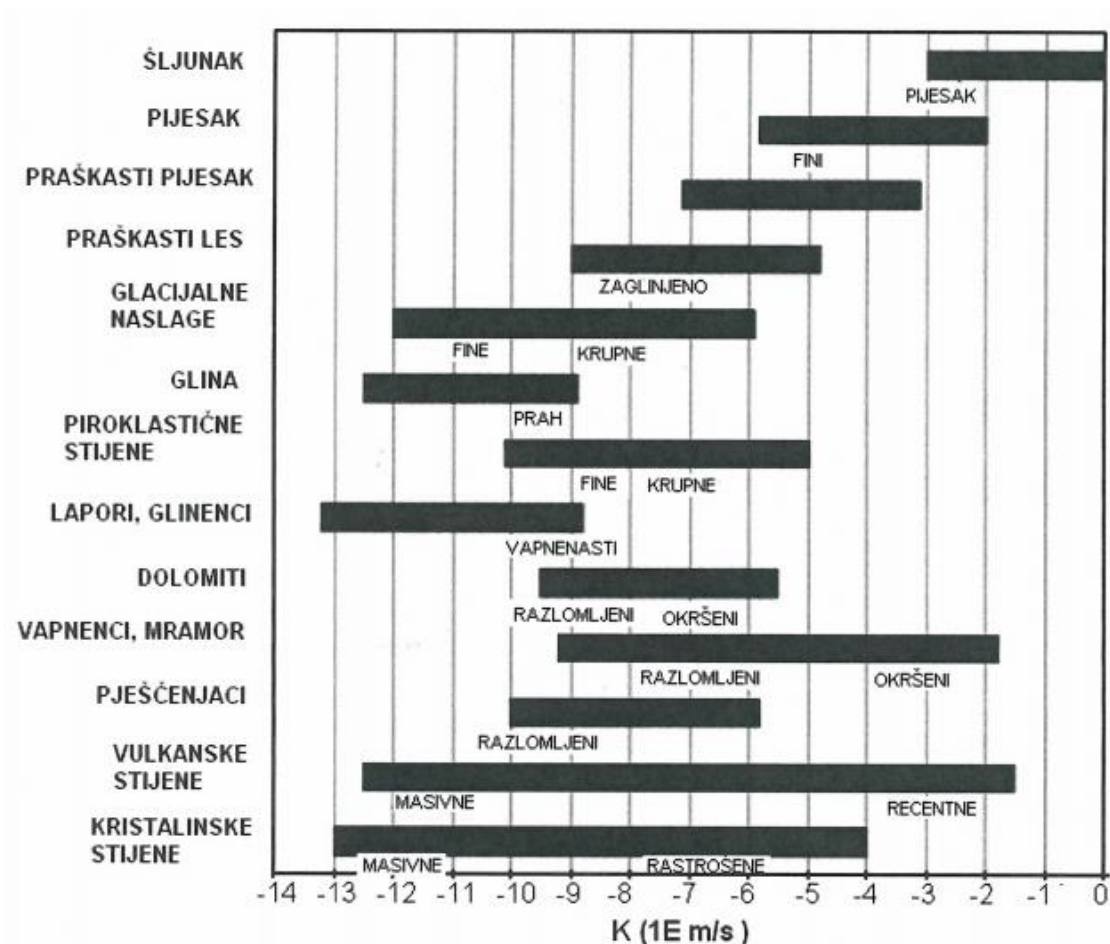
Raspon hidrogeološke vodljivosti vodonosnika (C)

Hidrogeološka vodljivost vodonosnika utječe na brzinu toka podzemne vode, kao i na vrijeme zadržavanja onečišćenja u vodonosniku, a ujedno opisuje lakoću gibanja podzemne vode unutar saturiranog medija. Procjena ovog parametra je vrlo složena. Postoje različite metode za određivanje istog, a često su procjene temeljene na rezultatima pokusnog crpljenja.

Slika 7.10 prikazuje dijagram ocjenjivanja za dodjeljivanje vrijednosti parametra C, koji je vezan uz vrijednost hidrogeološke vodljivosti (K), koju je moguće procijeniti iz dijagrama na **slici 7.11**.



Slika 7.10. SINTACS – Hidraulička vodljivost vodonosnika – rasponi i vrijednosti pripadajućih bodova (prema **CIVITA & DeMAIO, 2000**)

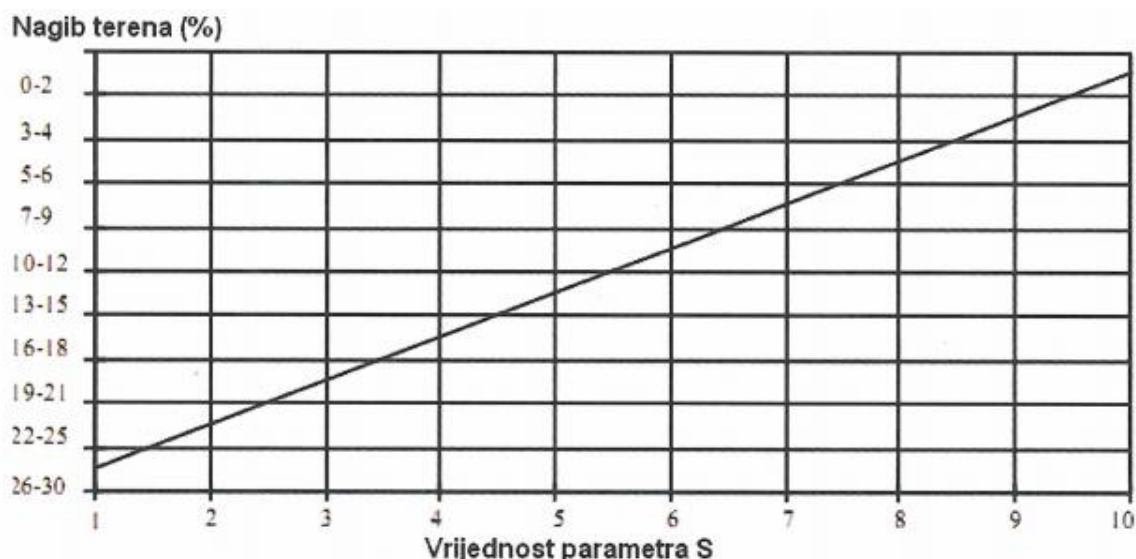


Slika 7.11. SINTACS – Raspon vrijednosti hidrauličke vodljivosti vodonosnika- prema vrstama vodonosnika (prema **CIVITA & DeMAIO, 2000**)

Hidrološka uloga nagiba terena (S)

Hidrološka uloga nagiba terena (S) je vrlo važan parametar za određivanje ranjivosti vodonosnika, budući da o njemu, direktno ili indirektno ovise vrijednosti nekih drugih parametara, kao što su: efektivna infiltracija, vrijeme zadržavanja podzemne vode u vodonosniku te, sposobnost zadržavanja i smanjenja koncentracija zagađivala u hidrogeološkom sustavu.

Na **slici 7.12** je vidljivo da što je veći nagib terena to se dodjeljuju i veći bodovi, tako da za nagib terena, koji je veći od 1 % dodjeljuje se vrijednost boda 10, a za nagib terena veći od 28 %, dodjeljuje se vrijednost boda 1.



Slika 7.12. SINTACS – Hidrološka uloga nagiba terena – raspon vrijednosti i pripadajućih bodova (prema **CIVITA & DeMAIO, 2000**)

Postupak primjene SINTACS metode, za razliku od ranije opisanih metoda, moguće je prilagoditi hidrogeološkim uvjetima u vodonosniku, kao i opterećenjima koja se događaju prilikom korištenja zemljišta promatranog prostora. Za procjenu konačnog stupnja ranjivosti vodonosnika, SINTACS metoda predviđa pet grupa težinskih faktora odnosno scenarija u rasponu od „normalnih uvjeta“ do „pukotinskih sustava“ (**tablica 7.8**).

Scenarij „**normalni uvjeti**“ primjenjuje se za nizinska područja, nekonsolidirane stijene, malu dubinu do podzemne vode i malu gustoću naseljenosti, bez intenzivne poljoprivrede.

Scenarij „**intenzivno opterećenje**“ se primjenjuje za područja guste naseljenosti, u kojima je intenzivna poljoprivreda s primjenom agrotehničkih sredstava i velikim navodnjavanjem površinama, kao i sa stalnim opterećenjima otpadnih voda iz industrijske proizvodnje.

Scenarij „**procjeđivanje**“ primjenjuje se u močvarama ili na poplavnim područjima gdje je prisutno kontinuirano procjeđivanje površinske vode u vodonosnik.

Scenarij „**krš**“ se primjenjuje u kršu gdje su prisutni strmi topografski nagibi te se zanemaruju parametri: dubina do podzemne vode i utjecaj nesaturirane zone.

Scenarij „**pukotinski sustavi**“ primjenjuje se u raspucalim vodonosnicima.

Tablica 7.8. SINTACS - grupa težinskih koeficijenata (prema CIVITA & DeMAIO, 2000)

PARAMETAR	NORMALNI UVJETI	INTENZIVNO OPTEREĆENJE	PROCJEĐIVANJE	KRŠ	PUKOTINSKI SUSTAV
S	5	5	4	2	3
I	4	5	4	5	3
N	5	4	4	1	3
T	4	5	2	3	4
A	3	3	5	5	4
C	3	2	5	5	5
S	2	2	2	5	4

Indeks ranjivosti za konačnu ocjenu ranjivosti se računa prema formuli:

$$I_{\text{SINTACS}} = \sum P_i \cdot W_i \quad (7.10)$$

gdje je:

P – vrijednost boda dodijeljenog parametru,

W – težinski faktor.

Normalizirane vrijednosti indeksa ranjivosti prikazuju se kroz šest stupnjeva ranjivosti, u rasponu od 26 do 260, kojima se dodjeljuju klase ranjivosti (**tablica 7.9**), a na karti se prikazuju različitim bojama.

Tablica 7.9. SINTACS –klasa ranjivosti vodonosnika (prema **CIVITA & DeMAIO, 2000)**

I SINTACS	KLASA RANJIVOSTI
26 – 80	Vrlo niska
> 80-105	Niska
> 105-140	Srednja
> 140-186	Velika
> 186-210	Vrlo velika
>210-260	Ekstremna

SINTACS metoda za ocjenu ranjivosti vodonosnika se do danas primjenjivala prilikom određivanja ranjivosti: vulkanogenih sedimenata, sedimenata s međuzrnskom poroznosti, magmatsko-metamorfni stijena i krša. Tako su **MAHLKNECHT et al. (2006)** odredili ranjivost vulkanogeno-sedimentnog kompleksa u Meksiku. Na području Italije SINTACS metoda je testirana od strane više autora (**CIVITA & De MAIO, 2000; CORNIELLO et al., 2004; URICCHIO et al., 2004; MARSICO et al., 2004; POLEMIO et al., 2009**). Na području Portugala na magmatsko-metamorfni stijenama SINTACS metodu primijenili su **LOBO-FERREIRA & OLIVEIRA (2004)**. SINTACS metoda primijenjena je i u Sloveniji (**JANŽA & PRESTOR, 2002; MALI & JANŽA, 2005; UHAN et al., 2008**). Na području Hrvatske, SINTACS metodu su primijenili **LARVA (2008)**, za određivanje prirodne ranjivosti vodonosnika s međuzrnskom poroznosti, **LOBOREC (2013)**, za određivanje prirodne ranjivosti krškog vodonosnika, te u sklopu projekta UNESCO-IHP **KUHTA (2014)** za područje Pule.

7.3. Osnove analize hazarda

Prema smjernicama **COST 620 (2004)**, hazard je mogući izvor onečišćenja od ljudskog djelovanja, koji se najčešće nalazi na površini terena.

Postupak procjene opasnosti (hazarda) na nekom području obuhvaća određivanje stupnja štetnosti koji potencijalna opasnost (hazard) može imati na podzemne vode, uzimajući u obzir svojstva samog hazarda, ali i vanjske utjecaje koje mogu smanjiti mogućnosti pojave opasnog događanja (**LOBOREC, 2013**). Pri definiranju opasnosti koji mogu utjecati na kakvoću podzemnih voda, vrlo ih je bitno usporediti i dovesti u vezu s hidrogeološkim, geološkim i geografskim značajkama prostora.

Ocjena utjecaja ljudskih aktivnosti na kakvoću podzemnih voda postiže se izradom karata opasnosti (hazarda), na kojoj se opasnosti prikazuju kao točkasti, linijski i poligonski objekti.

Kategorizaciju hazarda potrebno je izraditi na temelju unaprijed definiranih kriterija koji mogu uključivati vrijeme i duljinu trajanja pojedinog hazarda, vrstu ljudske aktivnosti i prirodu štetne tvari koje rezultiraju iz te aktivnosti, agregatno stanje štetnih tvari i sl. (**LARVA, 2008**).

Izrada karata hazarda podijeljena je u nekoliko koraka.

Prikupljanje podataka o svim vrstama hazarda na razmatranom prostoru i oblikovanje GIS baze podataka je prvi korak pri izradi karata hazarda. Topografske karte, digitalne ortofoto karte, satelitski snimci, arhivski podaci, kao i prikupljanje podataka terenskim istraživanjem, su načini prikupljanja podataka, odnosno evidentiranja hazarda, nakon čega se radi početna faza karte hazarda.

Neklasificirane karte opasnosti prikazuju prostornu raspodjelu mogućih onečišćivača (tematska karta) i podloga su za klasifikaciju mogućih onečišćivača za izradu klasificirane karte opasnosti. Neklasificirane karte ne pružaju realnu informaciju o stvarnoj razini opasnosti pojedinih onečišćivača za podzemne vode, stoga je potrebno pristupiti drugom koraku pri izradi karata hazarda. Drugi korak pri izradi karte hazarda je razvrstavanje evidentiranog hazarda prema vrstama korištenja

prostora. Drugi korak analize opasnosti je kvalitetno napravljen, ako se pored točnog lociranja onečišćivača evidentiraju i sve njegove ostale značajke.

Za realnu procjenu hazarda podzemnih voda, definiranu kao indeks opasnosti (HI), za svaki izdvojeni potencijalni onečišćivač, potrebno je procijeniti tri faktora: težinsku vrijednost onečišćivača, faktor rangiranja (tzv. faktor ocjene stvarne opasnosti) i faktor redukcije.

Indeks opasnosti se računa prema sljedećoj formuli:

$$HI = H \cdot Q_n \cdot R_f \quad (7.11)$$

gdje je :

HI – indeks opasnosti,

H – težinska vrijednost,

Q_n – faktor ocjene stvarne opasnosti,

R_f – faktor redukcije.

Težinska vrijednost H se očitava iz **tablice 9.1** i ima raspon od 0 do 100. Područje bez opasnosti označava se s težinskom vrijednosti 0, a ekstremnoj razini opasnosti dodjeljuje se težinska vrijednost 100.

Faktor ocjene stvarne opasnosti ili faktor rangiranja (Q_n) ima raspon od 0,8 do 1,2 i prikazuje stvarnu veličinu opasnosti od onečišćenja podzemnih voda, uslijed različitih svojstava tvari unutar iste vrste onečišćivača. Može se reći da faktor ocjene stvarne opasnosti predstavlja korekcijski faktor kako bi se stvarnom onečišćivaču povećao indeks opasnosti, a onečišćivaču s istom težinskom vrijednošću, koji realno ne predstavlja takvu opasnost za podzemne vode, isti se smanjuje.

Faktor redukcije (R_f) predstavlja vjerojatnost pojavljivanja onečišćenja iz registriranog onečišćivača. Ima raspon vrijednosti od 0 do 1, gdje za faktor redukcije 0 nema opasnosti od onečišćenja podzemne vode. Faktor redukcije 1 znači da ne postoji smanjenje stvarne opasnosti od onečišćenja iz registriranog onečišćenja.

Dobiveni rezultati analize opasnosti prikazuju se u pet kategorija na karti klasificiranih opasnosti, koja zajedno s kartom prirodne ranjivosti služi za procjenu rizika od onečišćenja podzemnih voda (**tablica 7.10**).

Tablica 7.10. Kategorija opasnosti od mogućeg onečišćenja

INDEKS OPASNOSTI (HI)	KATEGORIJA OPASNOSTI	RAZINA OPASNOSTI
0-24	2	Nema ili vrlo mala
24-48	3	niska
48-72	4	srednja
72-96	5	visoka
96-120	6	vrlo visoka

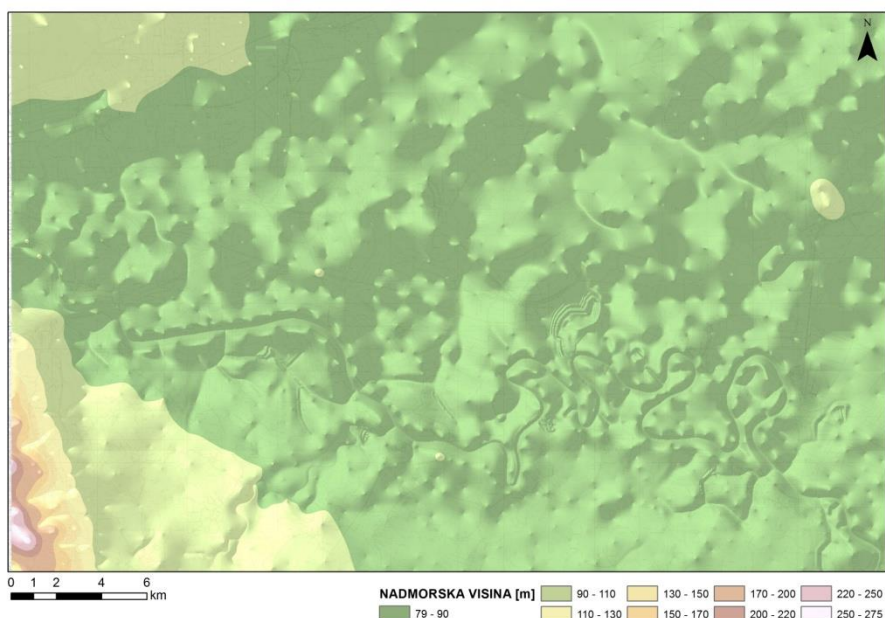
8. OCJENA PRIRODNE RANJIVOSTI VODONOSNIKA

8.1. Priprema podataka za modeliranje

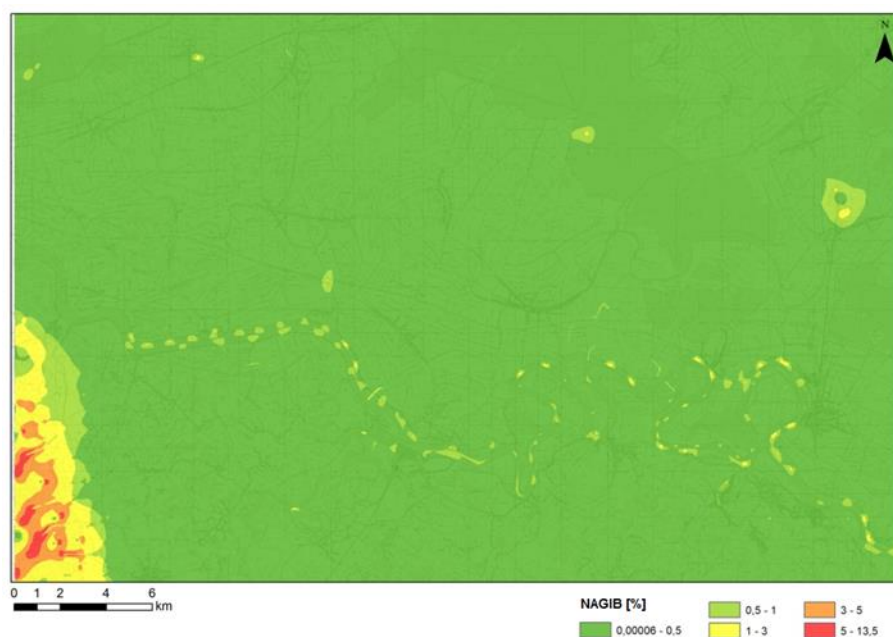
Dobra priprema podloga za procjenu prirodne ranjivosti ključan je proces za učinkovitu primjenu bilo koje metode procjene ranjivosti. Ponekad potrebni podaci za primjenu pojedinih metoda nisu dostupni, jer se ili ne mjere na području istraživanja, ili nisu pohranjeni ili nisu javno dostupni. Podaci koji su korišteni u ovom radu za modeliranje prirodne ranjivosti prikupljani su na razne načine. Svi podaci su obrađeni i pripremljeni za analize pomoću GIS tehnologije, programskim paketom ArcGis Desktop, tvrtke ESRI.

8.1.1. Priprema podataka o topografiji

Iz topografskih karata Republike Hrvatske mjerila 1:25.000 digitalizirane su vrijednosti nadmorskih visina, koje su poslužile u izradi digitalnog modela reljefa (DMR) (**slika 8.1**), koji je pak osnova za izradu karte nagiba terena (**slika 8.2**).



Slika 8.1. Digitalni model reljefa istraživanog područja



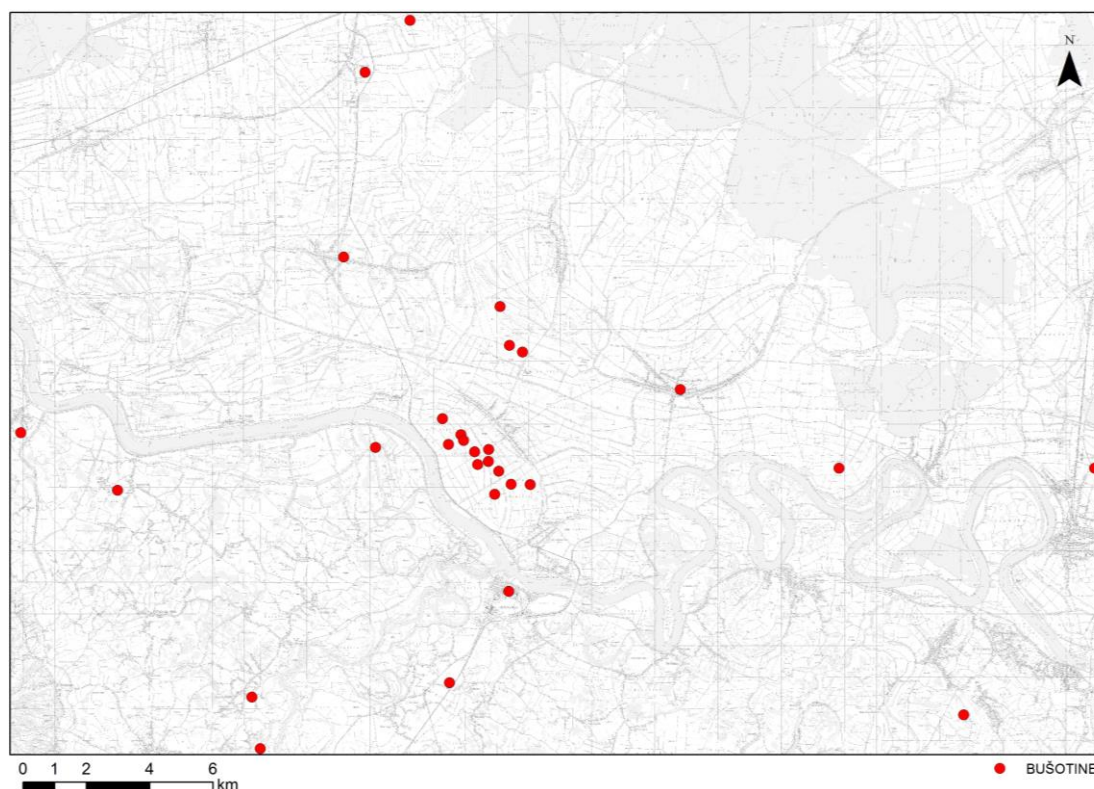
Slika 8.2. Karta nagiba terena

8.1.2. Priprema podataka o krovinskim naslagama

Iz 32 točkasta podatka s istražnih bušotina, piezometara i zdenaca, smještenih na području istraživanja, dobiveni su podaci o parametrima krovinskih naslaga (**tablica 8.1, slika 8.3**). Uz podatke koji se odnose na normalne hidrološke uvjete oborina i niske razine podzemnih voda prikazane u **tablici 8.1** za usporedbu su u analizu uključeni i podaci o hidrološkim uvjetima visokih voda. Naime, u svibnju 2014. godine došlo je do potpune saturacije tla na određenom području istraživanja. Zbog visokog vodostaja rijeka Save i Bosne, poplavljeni su dijelovi istraživanih područja. U ovom radu ranjivost je procijenjena za oba slučaja po svim metodama opisanim u poglavlju 7, te je usporedno prikazan utjecaj razina podzemne vode na ranjivost vodonosnika.

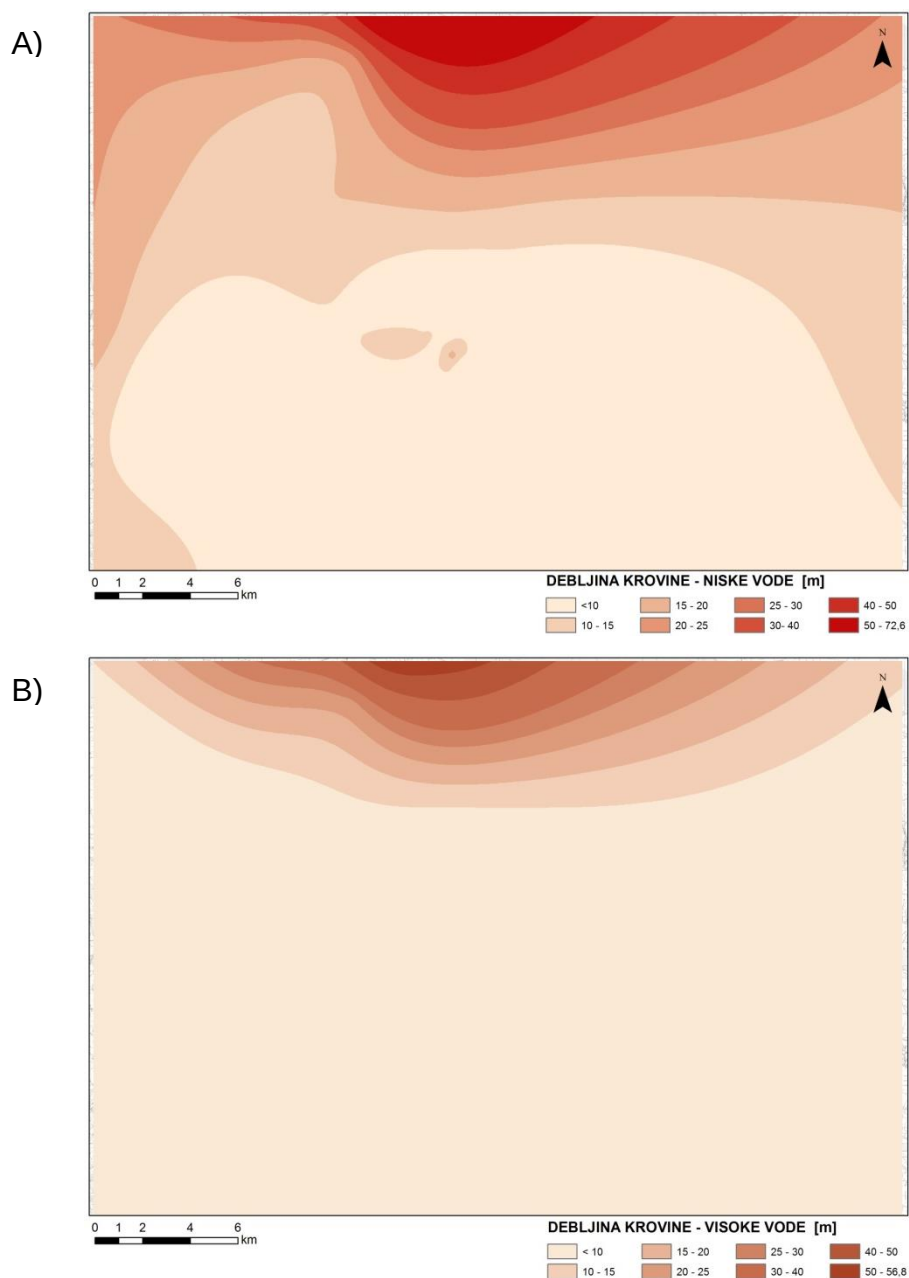
Tablica 8.1. Parametri krovinskih naslaga

RB	Naziv bušotine	Debljina slabopropusnih naslaga	Dubina do podzemne vode	Dubina do podine
		(m)	(m)	(m)
1	V-47	8,00	16,00	48,00
2	BV-42	25,00	42,00	66,00
3	BV-4	67,00	67,00	80,60
4	BV-21	15,00	22,00	57,00
5	SPB-6	12,60	18,12	74,00
6	SPB-3 (Z-2)	8,60	13,70	64,70
7	BV-16	6,40	23,50	68,00
8	V-48/1	5,90	7,40	96,20
9	V-37	19,60	13,50	35,70
10	SPB-12 (ZS-8)	6,60	10,50	71,70
11	SPB-7 (ZS-2)	8,20	15,60	69,30
12	SPB-9 (ZS-3)	11,70	16,90	75,50
13	V-49 (SPB-13)	9,10	8,50	70,80
14	SPB-8	8,60	8,20	67,00
15	SPB-21	14,00	2,80	61,50
16	SPB-22	9,10	2,00	65,60
17	SPB-26	7,20	1,50	67,30
18	SPB-15 (ZS- 4)	8,20	8,90	68,40
19	SPB-24	18,70	12,50	63,40
20	SPB-23	20,70	15,80	61,70
21	SPB-5	8,70	19,90	56,40
22	SPB-11	12,40	14,50	75,40
23	AB-3	17,50	5,40	168,00
24	AB-5	12,00	10,00	71,00
25	B-2	4,50	4,50	72,60
26	BD-1	10,60	8,00	194,00
27	AB-4	29,50	18,00	138,90
28	B-2a	10,50	16,00	58,50
39	AB-1	23,00	3,00	193,00
30	BV-1	15,00	4,00	74,00
31	BO-2	12,00	6,00	66,00
32	AB-2	5,60	5,90	156,00

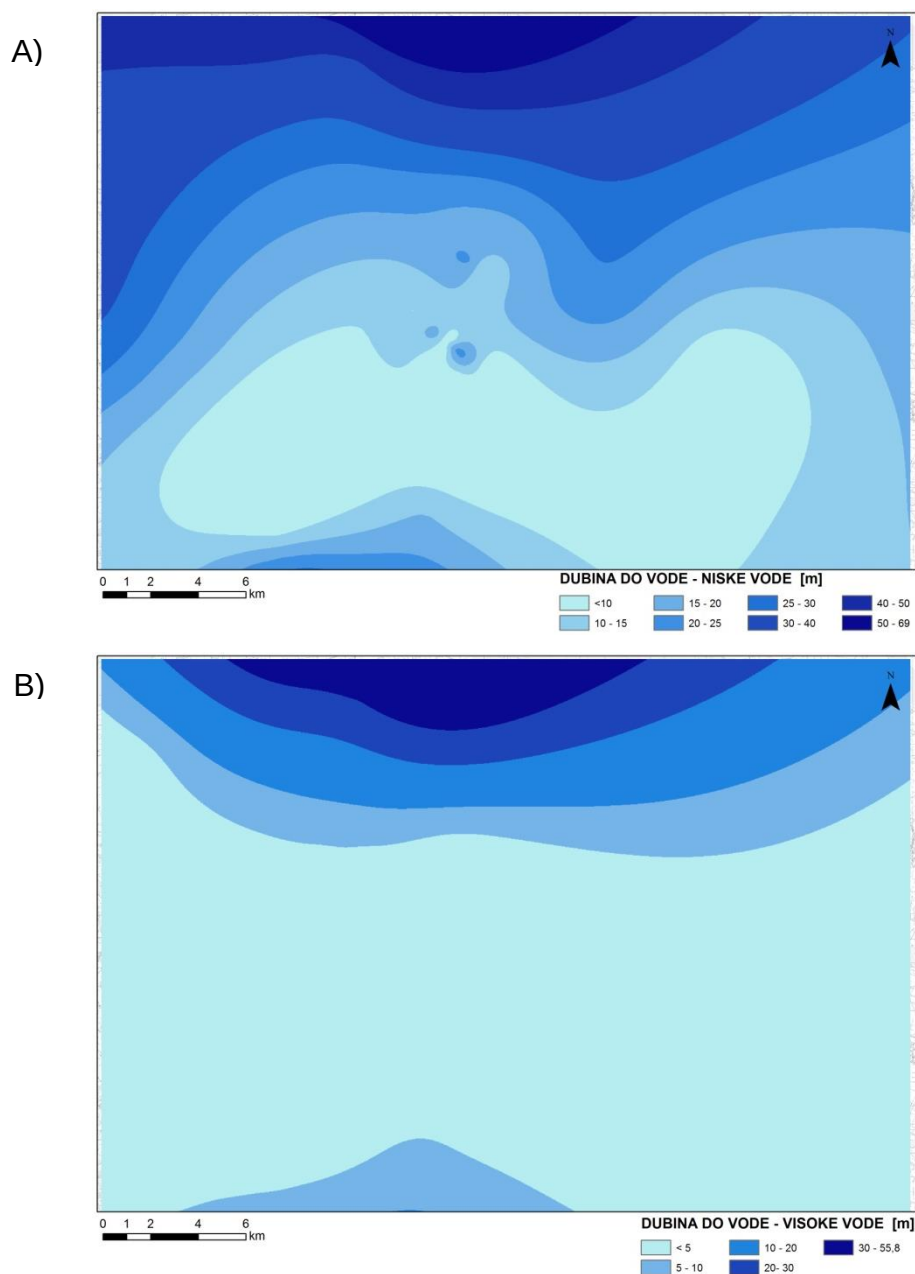


Slika 8.3.: Prostorni raspored izvedenih strukturno-piezometarskih bušotina i pokusno-eksploatacijskih zdenaca na području istraživanja

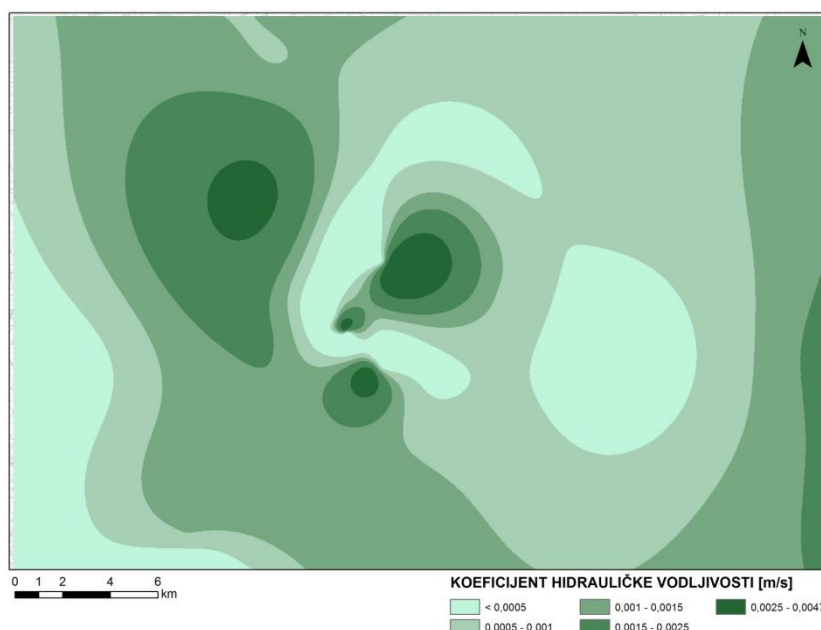
Alatima za interpolaciju u sklopu *Spatial Analyst Tools* ekstenzije ESRI ArcGis Desktop softvera dobivena je prostorna distribucija spomenutih karakteristika. Korištena je Spline metoda interpolacije koja kao rezultat daje vrlo fine, ugađene linije prijelaza te kao takva najbolje aproksimira prirodno stanje spomenutih parametara. Na taj način izrađena je karta debljine krovine (**slika 8.4 A i B**), karta dubina do podzemne vode (**slika 8.5 A i B**), te karta prostorne raspodjele koeficijenta hidrauličke vodljivosti (**slika 8.6**).



Slika 8.4. Karta debljine krovine u slučaju A) niskih voda i B) visokih voda

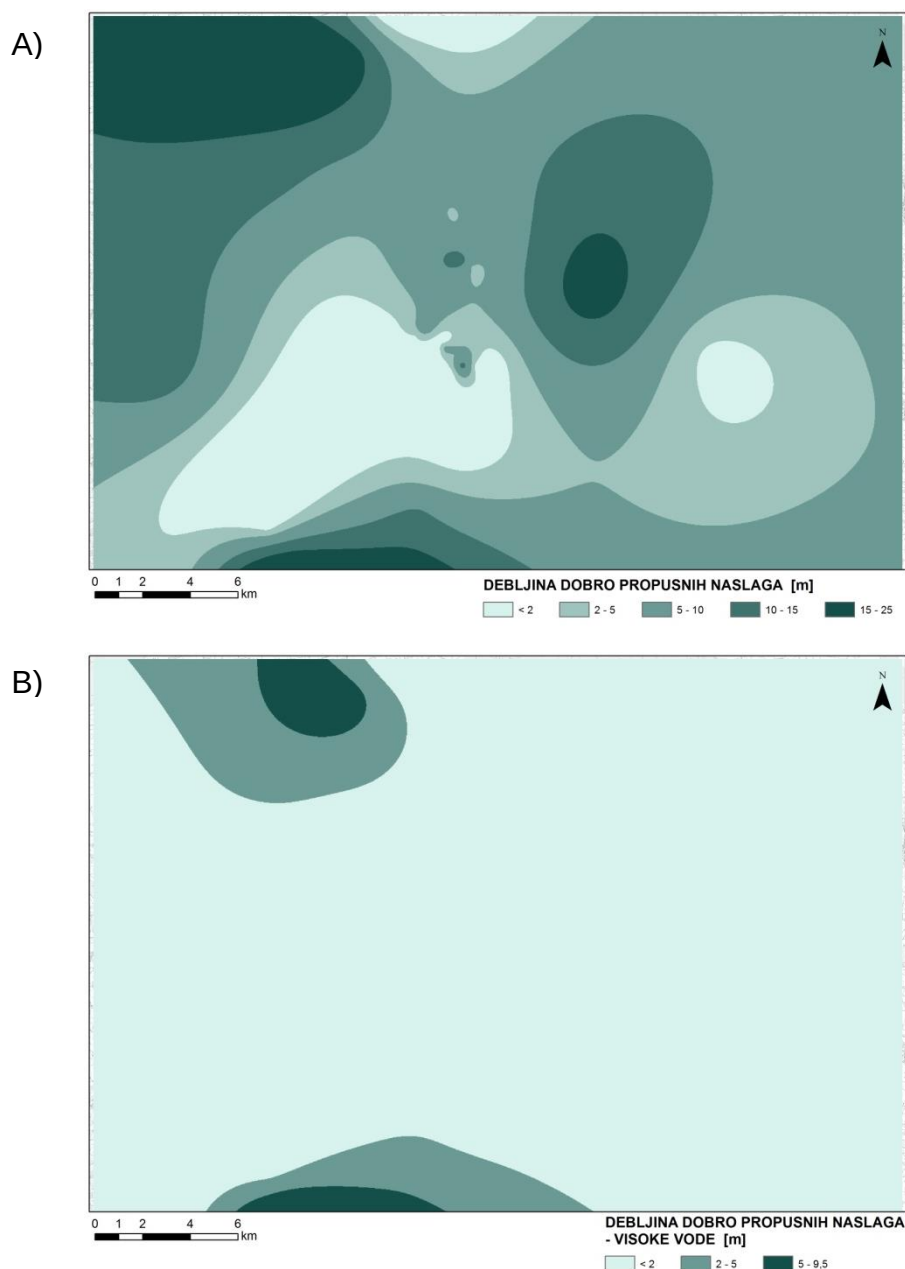


Slika 8.5. Karta dubina do podzemne vode u slučaju
A) niskih voda i B) visokih voda



Slika 8.6. Karta prostorne raspodjele koeficijenta hidrauličke vodljivosti

Zatim je GIS tehnologijom, pomoću alata za prostorne rasterske analize u ekstenziji *Spatial Analyst Tools* (ESRI, 2012) *Raster Calculatorom* određena algebarska razlika po ćelijama između rastera koji prikazuje dubine do razine podzemne vode i debljina krovinskih naslaga iznad razina podzemnih voda. Na taj način je nesaturirana zona vodonosnika podijeljena u dva paketa naslaga - slabopropusne naslage, koje su izgrađene od pretežno glinovitih, prahovitih i siltoznih materijala, koje ujedno čine i slabopropusnu krovinu vodonosnika, te dobro propusne naslage, koje čine pijesci i šljunci. Potrebno je napomenuti da su slojevi unutar spomenutih paketa naslaga prostorno vrlo isprepleteni, kao što je prikazano na poprečnim profilima (**slike 5.1, 5.2. i 5.5**) u poglavlju 5.1. i 5.2. Na **slikama 8.7 A i B** prikazana je debljina dobro propusnih naslaga iznad razina podzemnih voda i to na **slici 8.7 A**) u slučaju niskih voda ili **B**) u slučaju visokih voda.

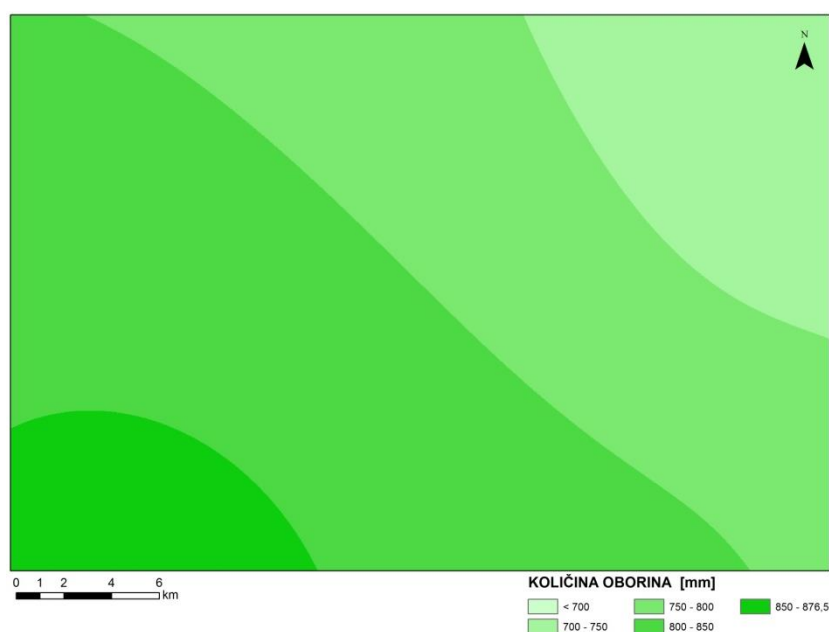


Slika 8.7. Karta debljine dobro propusnih naslaga u slučaju: A) niskih voda i B) visokih voda

8.1.3. Priprema podataka o oborinama

Podaci o srednjim godišnjim oborinama preuzeti su od Državnog hidrometeorološkog zavoda i odnose se na razdoblje od 2000. do 2014. godine.

Interpolacijom točkastih podataka s mjernih postaja Slavonski Brod, Đakovo, Vinkovci i Županja napravljena je karta prostorne raspodjele količina oborina, prikazana na **slici 8.8**.



Slika 8.8. Karta prostorne raspodjele količine oborina

8.1.4. Priprema podataka o pedološkim karakteristikama

Pomoću Hidropedološke karte Republike Hrvatske, M 1:300.000 (**VIDAČEK et al., 2003**), provedenih detaljnih terenskih i laboratorijskih istraživanja (**PETOŠIĆ, 2002**), uvažavajući postojeću klasifikaciju tla za područje Republike Hrvatske (**ŠKORIĆ, 1985**) i pedološke karte Bosne i Hercegovine 1: 50.000, sekcije Brod-3 i Brod-4, Derventa-2, Vinkovci-3 i Vinkovci-4 i Tuzla-1, (**KOVAČEVIĆ et al., 1976**), te Projekta zaštite izvorišta vodovoda u Odžaku za područje Federacije Bosne i Hercegovine,

izrađena je Karta pedoloških jedinica za istraživano područje (**ĆERIĆ et al., 2008**). Na **slici 8.9** su izdvojene sljedeće vrste tla: **1 - ritska crnica, djelomično hidromeliorirano** - humusom bogato hidromorfno tlo sa znakovima hidromorfizma, pretežito oksidativnog karaktera, zasićenog bazama. Prostire se na zaravnjenim terenima, močvarama i u dolinama, a nastalo je prekomjernim vlaženjem podzemne vode. Ilovasto do pjeskoviti teksturni sastav osigurava laku i veliku promjenu razine podzemne vode.

2 - močvarno glejno, djelomično hidromeliorirano - tlo sa znacima prekomjernog vlaženja podzemnih i površinskih voda. Prostire se uz centralne zone riječnih dolina, u depresijama i nižim predjelima s plitkom površinskom i/ili podzemnom vodom. Izmjenom mokre i suhe faze tijekom godine izmjenjuju se oksidacijsko-redukcijski procesi. Osnovne značajke ovog tipa tla je prašinasto-glinovit teksturni sastav i vrlo slaba vanjska i unutarnja dreniranost. Teksturni je sastav tla do 80 cm dubine praškasto-glinovit. Dublji slojevi, do 1,5 m dubine, najčešće su prašinasto-glinasto-ilovastog sastava. Veliki udio gline u teksturnom sastavu čini ovo tlo jako plastičnim. Tlo je porozno s osrednjim kapacitetom za vodu. Kapacitet za zrak vrlo je malen. Pripada slabo humusnom tlu.

3 - lesivirano na praporu, semiglejno - prostire se na blago povišenom, prijelaznom pojasu svake riječne terase, karakterizirano procesima hidromorfizma. Navedeni procesi su posljedica promjene razine podzemne vode, a najčešće se javljaju ispod 1 m dubine. U oraničnom sloju prevladava prašinasto-ilovasti, a manjim dijelom praškasto-glinasto-ilovasti teksturni sastav. Tlo pripada grupi plastičnih tala, osrednjeg je kapaciteta za vodu, dobre poroznosti i najčešće je u granicama dosta humoznih tala. S dubinom tlo postupno prelazi u matrični supstrat (karbonatni les).

4 - eutrično smeđe – matična podloga karbonatno-silikatni i silikatni supstrati bogati bazama. Navedeno tlo se formira „in situ“ trošenjem prirodnih minerala i sintezom sekundarnih minerala (gline). Tlo je pjeskovito-ilovaste do glinaste teksture, mrvičaste do graškaste strukture, dosta humozno.

5 - ritska crnica vertična, djelomično hidromeliorirana - zauzima ravničarske dijelove riječne terase, periodično vlažna plitkim podzemnim vodama. U teksturnom sastavu dominira prašinasto-glinasta ilovača i praškasta ilovača. Matični supstrat je les, sa znatnim količinama humusa. Tlo je porozno s osrednjim kapacitetom za vodu.

6 - aluvijalno (fluvisol) obranjeno od poplava - prostire se u zoni savskog aluvijalnog pojasa, te je i geneza ovog tipa tla vezana za fluvijativne procese rijeke Save. Tlo obranjeno od poplave koristi se kao vrlo dobra oranica. Ova tla su propusna, varijabilne teksture u profilu, s pješčanim slojem u dnu.

7 - aluvijalno ilovasta tla - laganog teksturnog sastava do dubine 1 m s dominacijom praškaste ilovače, u dubljim horizontima utvrđena je praškasto-glinasta ilovača. Tlo je okarakterizirano kao plastično, dosta humozno i porozno s osrednjim kapacitetom za vodu.

8 - fluvijalna tla - javljaju se u plavnim zonama svih rijeka (Bosna i Sava), dobre su plodnosti i bogate hranjivima. Osnovne osobine ovog tla ovise o vrsti materijala. Jako su heterogena, od skeletnih do glinovitih, ali su općenito povoljnih fizičkih svojstava. Mogu biti karbonatna i beskarbonatna, slabo su humozna, a sadržaj biogenih elemenata ovisi od kojeg su materijala nastala.

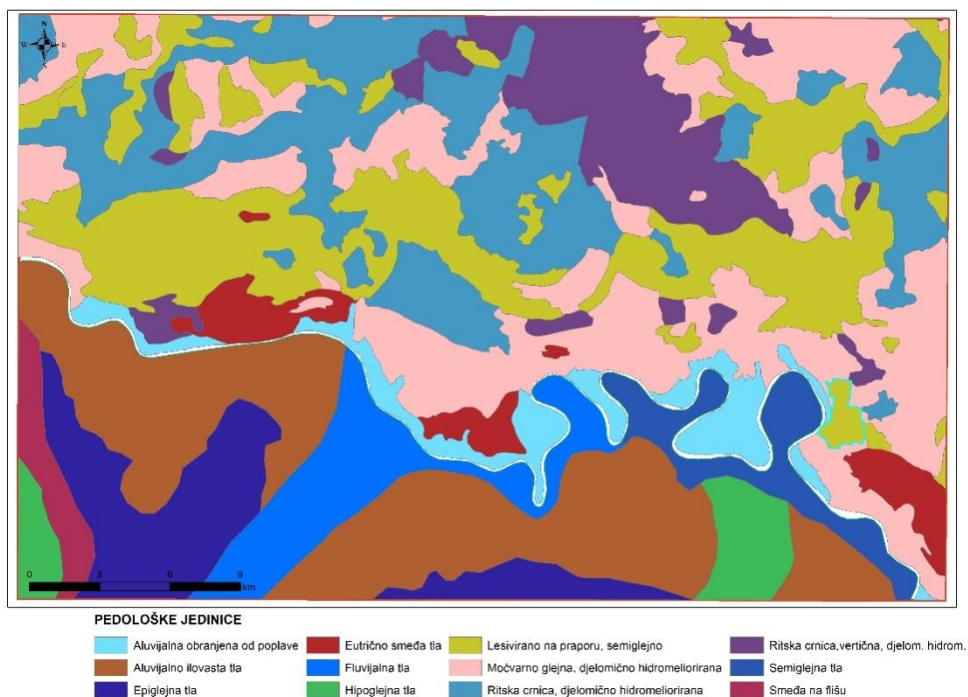
9 - smeđa na flišu - zauzimaju najviše površine na bregovitom reljefu, a razvila su se na eocenskom flišu kojeg uglavnom čini kompleks pješčenjaka i škrljavih beskarbonatnih glina. Mogu imati više varijanti ovisno o supstratu na kojem su se razvili. Zbog nepovoljnih klimatskih prilika i velike količine oborina dolazi do jače akumulacije humusa, ispiranja i acidifikacije. Supstrati bogatiji s bazama postupno prelaze u lesno tlo. Ova tla su često skeletna i slabog kapacitetu za vodu.

10 - epiglejna tla - javljaju se na ravnim dijelovima poloja, obronačnim dijelovima terena ili na terasama. Nastali su na glinenim supstratima na kojima se skuplja i duže zadržava padinska ocjedna voda. Pri dužem zadržavanju vode dolazi do zamočvarivanja. Za ovo tlo je karakteristična mokra (redukcija) i suha (oksidacija) faza. To je i razlog tvorbe Fe i Mn konkrecija i mramorastog izgleda. Zbog visokog udjela frakcije praha, tlo je sklono zbijanju i stvaranju kore, a pri najmanjem nagibu eroziji. To su vrlo kisela tla, slabo humozna, bezstrukturna i manjeg kapaciteta adsorpcije.

11 – hipoglejna tla – Karakteristična su po trajnim prekomjernim vlaženjima podzemnom vodom, pretežno u donjem dijelu profila, gdje nema kolebanja podzemne vode tijekom godine. Prisutan je visoki stupanj anaerobnosti, proces

oglejavavanja redukcijom Fe i Mn. Ova tla se odlikuju malom biološkom aktivnošću i nedostatkom kisika.

12 – semiglejna tla - su sivosmeđa beskarbonatna, degradirana, oglejena i fluvijalno livadsko poluglejna. U centalnim zonama javljaju se semiglejna, a u priterasnom dijelu glejna tla, dok se u riječnoj dolini javljaju aluvijalni nanosi. Pripadaju u potencijalno najplodnija tla.



Slika 8.9. Prikaz pojedinih tipova tala izdvojenih na širem području istraživanja (prema VIDAČEK et al., 2003; PETOŠIĆ, 2002; ŠKORIĆ, 1985; KOVAČVIĆ et al., 1976; ĆERIĆ et al., 2008)

8.2. Ocjena prirodne ranjivosti SINTACS metodom

Procjena ranjivosti vodonosnika metodom SINTACS napravljena je na temelju podataka pripremljenih na način prikazan u poglavlju 8.1. Podaci su klasificirani za svaki od sedam parametara, pojedinačno su obrađeni i dopunjeni prostornim

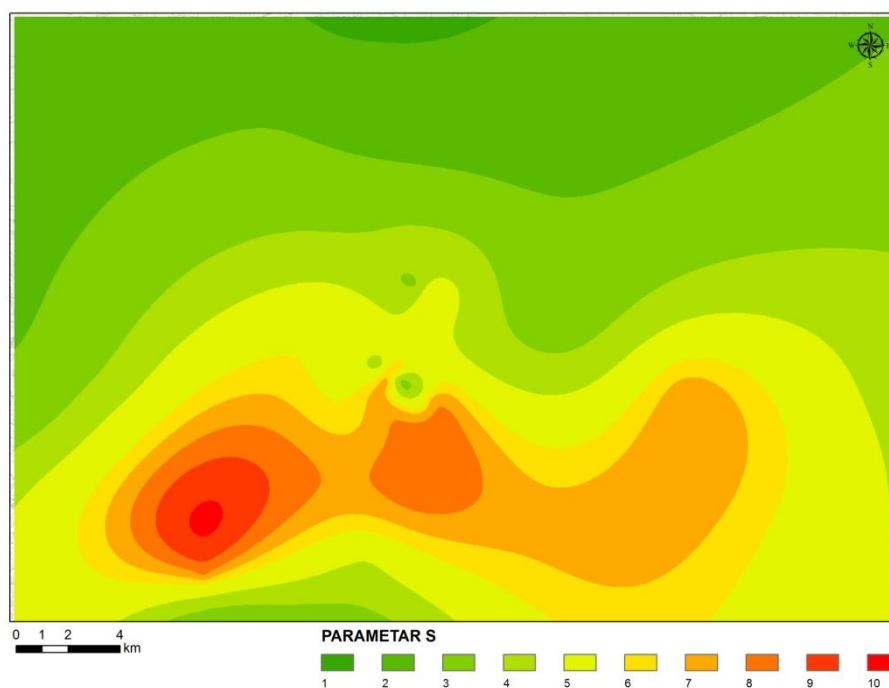
preklapanjem. Način na koji su dobivene vrijednosti pojedinih parametara za SINTACS metodu objašnjeni su u nastavku teksta.

Parametar S

Iz piezometara i zdenaca dobivena je razina podzemne vode koja se na istraživanom području nalazi na dubini od 0,33 do 67 m. Prema dijagramu za izračun S parametra SINTACS metode (**slika 7.3**) navedene vrijednosti dubina do podzemne vode ulaze u cjelokupan raspon vrijednosti od 1 do 10. Ukupna dubina do razine podzemnih voda raščlanjena je u dva osnovna paketa naslaga – slabopropusne naslage, koje su izgrađene od pretežno glinovitih, prahovitih i siltoznih materijala te dobro propusne naslage, koje čine pijesci i šljunci. Uzimajući u obzir najmanju debljinu nesaturirane zone, prezentiran je najnepovoljniji scenarij za ranjivost podzemnih voda. Karta dubina do podzemne vode korištena je za izradu prostorne raspodjele parametra S i to za klase dubine prikazane u tablici 8.2 Prostorni raspored parametra S prikazan je na **slici 8.10**.

Tablica 8.2. Raspon dubine do podzemne vode i dodijeljene vrijednosti S parametra

Raspon dubine RPV [m]	Parametar S
0,33 – 2	10
2 – 4	9
4 – 6	8
6 – 8	7
8 – 10	6
10 – 15	5
15 – 20	4
20 – 30	3
30 – 60	2
60 - 67	1



Slika 8.10. Prostorni raspored parametra S (dubina do podzemne vode)

Parametar I

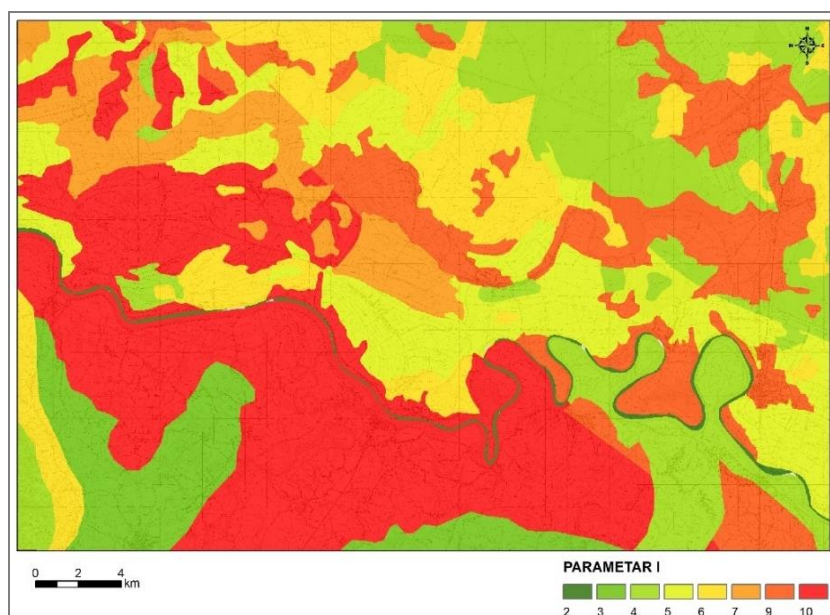
Na istraživanom području pokrov tla dobro je razvijen, stoga se za čitavo područje efektivna infiltracija procjenjuje prema izrazu za područja gdje je debljina tla veća od 0,5 m prema formuli 7.8.

Faktor X ovisi o pokrovnim naslagama. U ovom slučaju, ovisno o dominantnoj teksturi pokrovnih naslaga, dobivenih na temelju hidropedološke karte, izdvojene su kategorije, prikazane u **tablici 8.3**.

Tablica 8.3. Vrijednosti koeficijenta X u odnosu na pedološku vrstu tla i teksturu

PEDOLOŠKA VRSTA TLA	TEKSTURA	KOEFICIJENT X
1 - ritska crnica	ilovača	0,17
2 - močvarno glejna	ilovača	0,12
3 - lesivirano na praporu, semiglejno	ilovača + pijesak	0,3
4 - eutrično smeđa	ilovača	0,15
5 - ritska crnica vertična	glina	0,1
6 – aluvijalno tlo (fluvisol)	ilovača + pijesak	0,3
7 - aluvijalno ilovasta tla	pjeskovita ilovača	0,3
8 - fluvijalna tla	pjeskovita glina	0,35
9 - Smeđa na flišu	ilovača	0,15
10 - epiglejna tla	glina + ilovača	0,05
11 – hipoglejna tla	glina	0,08

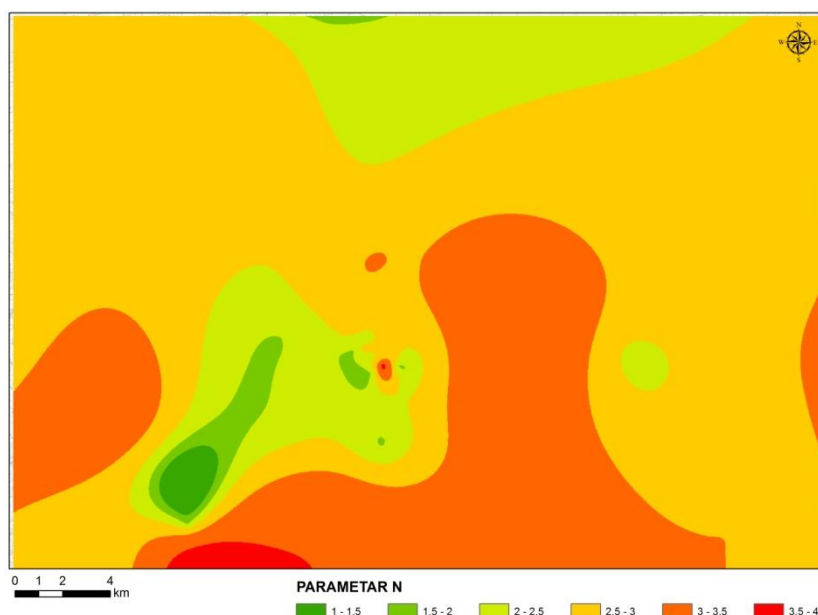
Tako dobiven prostorni raspored indeksa efektivne infiltracije množi se s količinom oborina za područje prostiranja određene pedološke vrste tla. Rezultat je karta efektivne infiltracije, koja prema rasponima umnoška količine oborina i indeksa potencijalne infiltracije, preko krivulje SINTACS metode (**slika 8.11**), daje vrijednost parametra I . Prostorna raspodjela parametra I prikazana je na slici **8.11**.

**Slika 8.11.** Prostorni raspored parametra I

Parametar N

Razrjeđenje u nesaturiranoj zoni ovisi o značajkama stijena koje se nalaze u ovoj zoni. Na području istraživanja radi se o općenito dvije vrste naslaga koje izgrađuju nesaturiranu zonu. To su: stijene slabije propusnosti i dobro propusne stijene (**slike 8.4 i 8.7**). Slabo propusnim stijenama, koje su izgrađene od ilovače, gline i praha, dodijeljena je vrijednost parametra $N_{sp}=2$, dok je dobro propusnim stijenama (šljuncima i pijescima) dodijeljena vrijednost srednje znatog aluvija, $N_{dp}=4$. Ukupna vrijednost SINTACS parametra N dobivena je rasterskom algebrom prema formuli (7.9).

Prostorni raspored parametra N prikazan je na **slici 8.11**.



Slika 8.12. Prostorni raspored parametra N

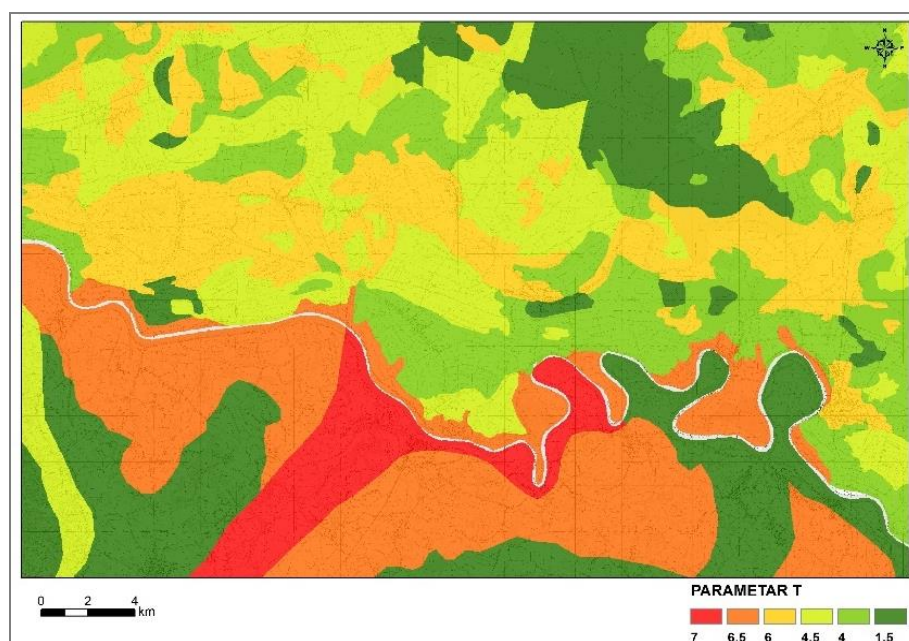
Parametar T

Kapacitet tla ili pokrovnih naslaga (razrjeđenje u tlu) također je procijenjeno preko podataka o sastavu, teksturi i debljini pokrovnih naslaga iz Hidropedološke karte Republike Hrvatske, M 1:300.000 (**VIDAČEK et al., 2003**) i pedološke karte Bosne i Hercegovine M 1: 50.000, sekcije Brod-3 i Brod-4, Derventa-2, Vinkovci-3 i Vinkovci-4 i Tuzla-1 (**KOVAČEVIĆ et al., 1976**). Dodijeljena vrijednost parametra T na cijelom

području nalazi se u intervalu od 1,5 do 6,5 (**tablica 8.4**). Na istraživanom prostoru nema područja bez pokrova, odnosno područja gdje je debljina pokrova vrlo mala, tako da iznosi veći od 6,5 nisu dodijeljeni (**slika 8.13**).

Tablica 8.4. Vrijednosti parametra *T* u odnosu na pedološku vrstu i teksturu tla

PEDOLOŠKA VRSTA TLA	TEKSTURA	T
1 - ritska crnica	ilovača	4,5
2 - močvarno glejna	ilovača	4
3 - lesivirano na praporu, semiglejno	ilovača + pijesak	6
4 - eutrično smeđa	ilovača	4,5
5 - ritska crnica vertična	glina	1,5
6 – aluvijalno tlo (fluvisol)	ilovača + pijesak	6,5
7 - aluvijalno ilovasta tla	pjeskovita ilovača	6
8 - fluvijalna tla	pjeskovita glina	6,5
9 - Smeđa na flišu	ilovača	4,5
10 - epiglejna tla	glina + ilovača	1,5
11 – hipoglejna tla	glina	1,5



Slika 8.13. Prostorni raspored parametra *T*

Parametar A

Budući da se radi o međuzrnskom vodonosniku, koji je općenito ujednačenog sastava s promjenama u sastavu i starosti koje je teško razgraničiti, za cijelo

područje istraživanja dodijeljena je vrijednost parametra $A = 7$, što bi odgovaralo srednjoj vrijednosti srednje zrnatog aluvija.

Parametar C

U ovisnosti o veličini koeficijenta infiltracije, a prema dijagramima propisanim metodologijom SINTACS metode, vrijednosti parametra C imaju sljedeću prostornu raspodjelu (**slika 8.14**).



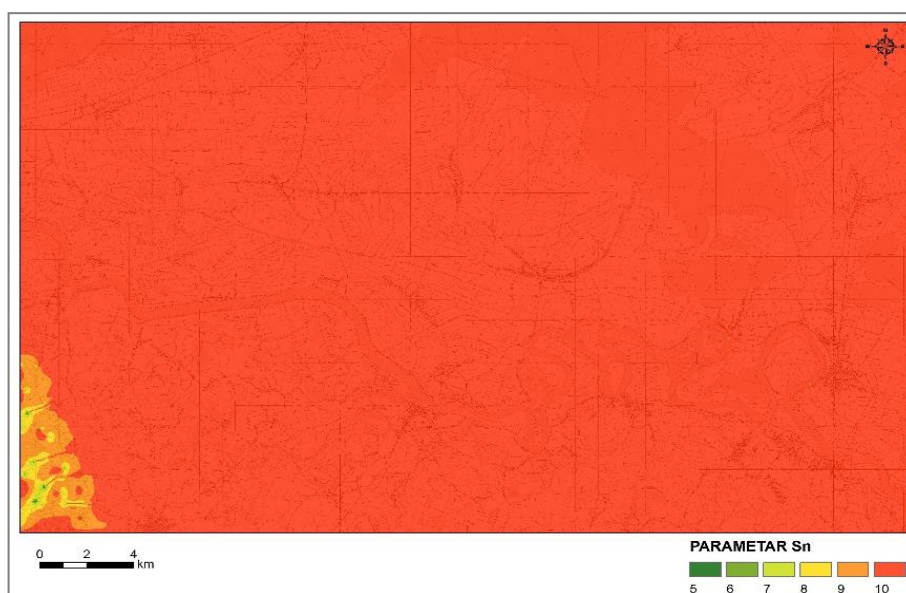
Slika 8.14. Prostorni raspored parametra C

Parametar S_n

Iz digitalnog modela reljefa dobivena je karta nagiba terena izražena u postocima. Tako dobiven raster poslužio je za reklasifikaciju prema uputi SINTACS metode (**tablica 8.5**). Čelijama je dodijeljena vrijednost parametra S_n koji opisuje ulogu nagiba terena. Područje istraživanja pretežno je ravničarsko, s vrlo malim razlikama nadmorske visine, stoga je prostorna raspodjela S_n faktora pretežno s maksimalnom vrijednosti parametra S_n (**slika 8.15**).

Tablica 8.5. Vrijednost parametra S_n

Raspon nagiba terena [%]	Parametar S_n
0 – 2	10
2 – 4	9
4 – 6	8
6 – 9	7
9 – 12	6
12 – 15	5
15 – 18	4
18 – 21	3
21 – 25	2
➤ 25	1

**Slika 8.15.** Prostorni raspored parametra S_n (nagib terena)

Za procjenu konačnog stupnja ranjivosti vodonosnika, SINTACS metoda predviđa pet grupa težinskih faktora, odnosno scenarija (normalni uvjeti, veliko opterećenje, procjeđivanje, krš i raspucale stijene). Za razmatrano područje primijenjeni su takozvani „normalni uvjeti“. Radi se o izrazito nizinskom području koje nije gusto naseljeno i na kojemu se nalazi malo navodnjavanih površina.

Indeks ranjivosti, za svaku ćeliju, računa se rasterskom GIS analizom, pomoću alata „Raster Calculator“ i to prema formuli:

$$I_s = 5*S + 4*I + 5*N + 4*T + 3*A + 3*C + 2*S_n \quad (8.3.)$$

gdje su:

S - dubina do podzemne vode,

I - efektivna infiltracija,

N - utjecaj nesaturirane zone,

T - značajke tla,

A - značajke vodonosnika,

C - hidraulička vodljivost vodonosnika,

S – nagib topografske površine.

Dobiveni indeks ranjivosti klasificiran je u šest klasa ranjivosti. Konačni rezultat je karta ranjivosti SINTACS metodom (**Prilog 1**) na kojoj je vidljivo da je područje istraživanja podijeljeno na područja s vrlo visokom, visokom, srednjom i niskom ranjivosti vodonosnika. Također je uočeno da nema područja s ekstremnom, kao ni s vrlo niskom ranjivosti prema SINTACS metodi.

Prema SINTACS metodi glavnina područja istraživanja ocijenjena je kao područje s visokom i srednjom ranjivosti. Kategorija sa srednjom i visokom ranjivosti vodonosnika sumarno zauzima 99,29 % područja (**tablica 8.6**), dok je vrlo velika ranjivost izražena na malom području uz rijeku Savu i rijeku Bosnu. Prema SINTACS metodi, područje regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci također se nalazi na prostoru gdje je podjednako zastupljena i srednja i visoka ranjivost (**prilog 1**).

U svibnju 2014. godine došlo je do potpune saturacije tla na području istraživanja. Zbog uvjeta intenzivnih oborina i hidroloških prilika - visokog vodostaja rijeka Save i Bosne - poplavljeni su dijelovi istraživanog područja. Uzimajući u obzir raspoložive podatke za navedeno razdoblje, napravljena je procjena ranjivosti vodonosnika za vrijeme velikih voda prema SINTACS metodi.

Za ocjenu ranjivosti korištene su poznate vrijednosti parametara za: efektivnu infiltraciju, značajke tla, značajke vodonosnika, hidrauličku vodljivost vodonosnika i

nagib površine terena. Do promjene je došlo kod parametara: dubina do podzemne vode i utjecaj nesaturirane zone, odnosno razina podzemne vode na istraživanom području bila je dijelom u razini terena. Za ocjenu ranjivosti koristile su se vrijednosti razina podzemnih voda prije poplave i za vrijeme trajanja poplave u RH i FBiH. Za vrijeme velikih voda izdvojene su tri kategorije ranjivosti prema SINTACS metodi: područje s vrlo velikom, velikom i srednjom ranjivosti vodonosnika (**prilog 2**). Potrebno je istaknuti da nije zabilježena pojava ekstremne ranjivosti vodonosnika, no vrlo visoka ranjivost vodonosnika zauzima znatno veću površinu za vrijeme velikih voda nego za vrijeme niskih voda (**prilog 1**), dok se klasa srednje ranjivosti dosta smanjila (**tablica 8.6**). Regionalno crpilište „Istočna Slavonija“ Sikirevci kategorizirano je kao područje s visokom ranjivosti vodonosnika, a vrlo blizu se nalazi i područje vrlo visoke ranjivosti (**prilog 2**).

Tablica 8.6. Rezultati procjene prirodne ranjivosti metodom SINTACS

KLASA RANJIVOSTI	UDIO POVRŠINE [%]	
	NISKE VODE	VISOKE VODE
VRLO NISKA	0	0
NISKA	0,31	0
SREDNJA	45,72	22,19
VISOKA	53,57	55,59
VRLO VISOKA	0,40	22,22
EKSTREMNA	0	0

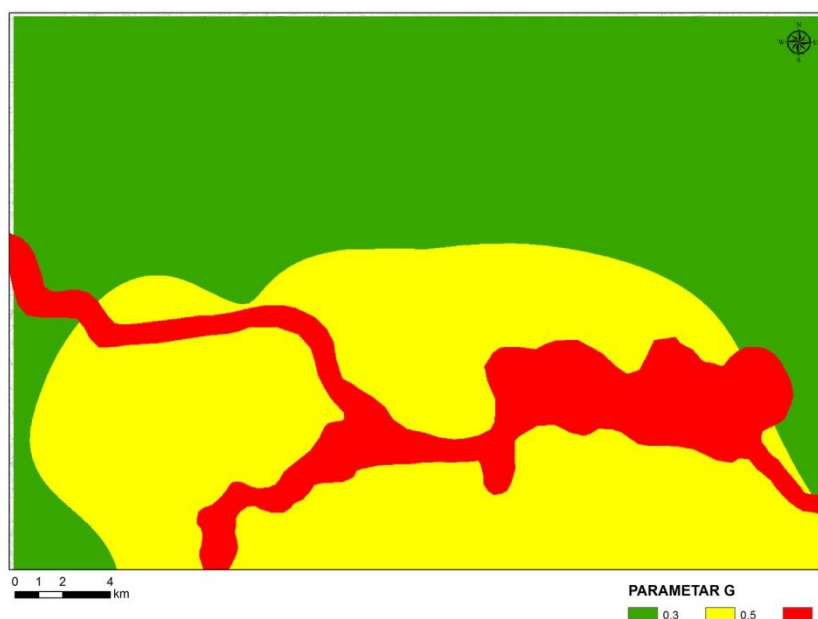
8.3. Ocjena prirodne ranjivosti GOD metodom

U nastavku teksta opisane su značajke tematskih slojeva i rezultati ocjene ranjivosti. Podaci su klasificirani za samo tri parametra, kako je i definirano ovom metodom. Način na koji su dobivene vrijednosti pojedinih parametara za ocjenu ranjivosti GOD metodom objašnjen je u nastavku teksta.

G parametar

Način pojavljivanja podzemne vode definira se na temelju hidrauličkog stanja vodonosnika. Elementima prostorne mreže mogu biti dodijeljene vrijednosti između 0 i 1.

U cilju definiranja načina pojavljivanja podzemne vode odnosno hidrauličko stanje vodonosnika, prostor istraživanja podijeljen je u područja (**slika 8.16**) otvorenog, poluotvorenog i poluzatvorenog vodonosnika. Uski pojas uz Savu definiran je kao otvoreni vodonosnik, budući da se vodonosnik Velika Kopanica prostire ispod Save odnosno, rijeka je usječena u njega, te postoji izravna komunikacija rijeke i vodonosnika. Otvorenom vodonosniku dodijeljena je vrijednost 1. Području u kojem dominira poluotvoreni vodonosnik dodijeljena je vrijednost 0,5. Suma debljina proslojaka slabopropusnih krovinskih naslaga iznad razine podzemne vode manja od 10 m definira poluotvoreni vodonosnik. U trećoj skupini se nalazi područje prostiranja poluzatvorenog vodonosnika, odnosno rubni dijelovi vodonosnika Velika Kopanica. Suma debljina proslojaka slabopropusnih naslaga iznad razine podzemne vode je veća od 10 m, stoga joj je dodijeljena vrijednost 0,3.



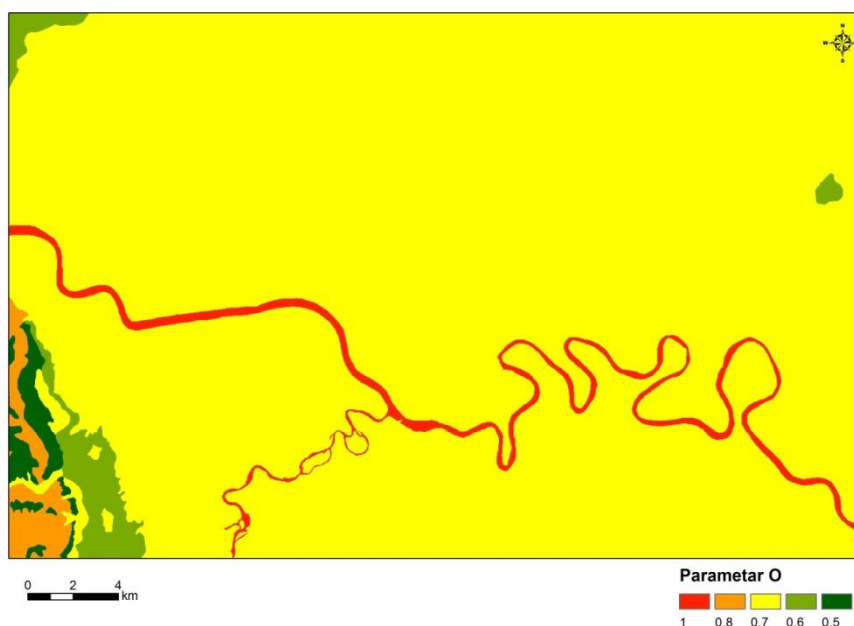
Slika 8 .16. Prostorni raspored parametra G

O parametar

Na temelju karte krovinskih naslaga vodonosnika napravljena je ocjena ovog tematskog sloja i definirana je debljina i litološki sastav krovinskih naslaga vodonosnika (**slika 8.17**). Na istraživanom prostoru krovinske naslage vodonosnika izgrađene su od konglomerata, pješčenjaka, lapora, glinenih naslaga i laporovitih pijesaka, lesa i sedimentata druge riječne terase, kalcitnih lapora i aluvijalnih pijesaka i šljunka. Najveći prostor zauzimaju aluvijalni pijesci i šljunci.

Prema GOD kategorizaciji navedenim naslagama dodijeljena je vrijednost boda kako slijedi:

- konglomerati, pješčenjaci, lapori, glinene naslage i laporoviti pijesci - 0,5
- les i sedimenti druge riječne terase - 0,6
- kalcitni lapori - 0,8
- ostatak područja (aluvijalni pijesci i šljunci) - 0,7

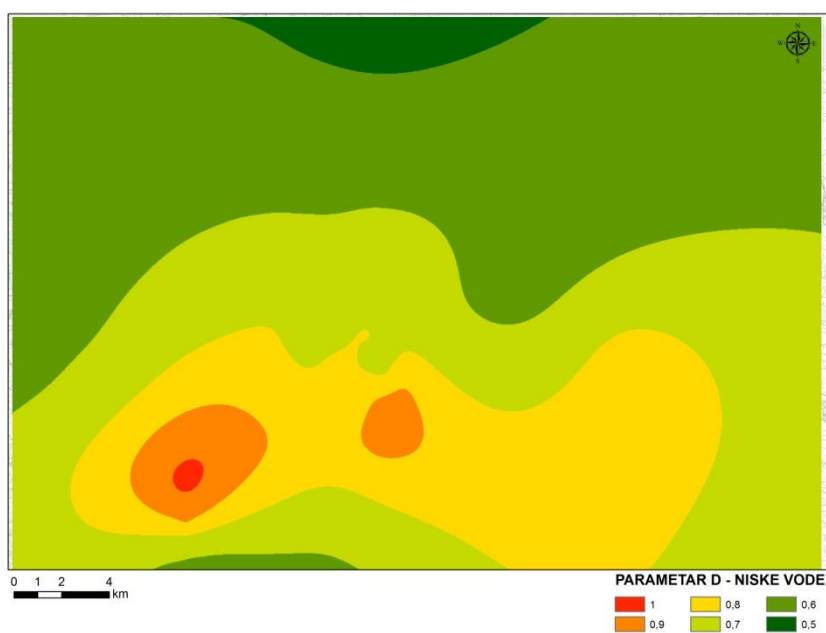


Slika 8.17. Tematski sloj - litološke značajke krovine vodonosnika

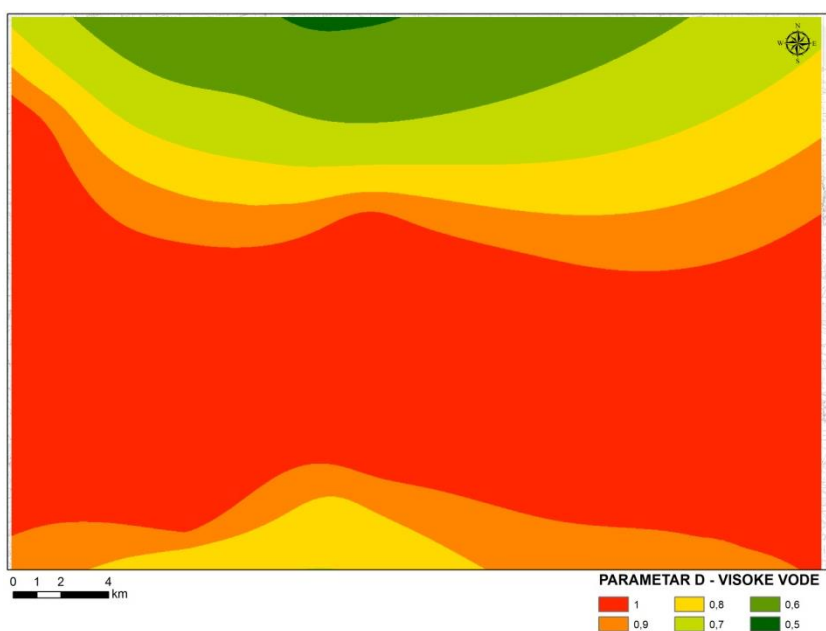
D parametar

Područje istraživanja obzirom na parametar „dubina do podzemne vode“ podijeljen je u šest kategorija. I kod GOD metode ponovno je analiza napravljena za oba slučaja, i u vrijeme normalnih vodostaja i za vrijeme velikih voda, a razliku predstavlja upravo parametar D. Vrijednosti elemenata prostorne mreže u oba slučaja nalaze se u rasponu 0,5 – 1, kao što je prikazano na **slici 8.18.**, no razlika u prostornom rasporedu kategorija je više nego očita. Kategorija gdje je razina podzemnih voda na dubini manjoj od 2 m (**slika 8.18 A**), zauzima najmanji dio područja, a u slučaju visokih voda (**slika 8.18 B**), ta kategorija, koja je ujedno i najproblematičnija, zauzima glavninu promatranog područja.

A)



B)



Slika 8.18. Tematski sloj - dubina do podzemne vode u slučaju: A) niskih voda i B) visokih voda.

Nakon što je svakom od navedenih parametara dodijeljena odgovarajuća vrijednost u rasponu od 0 do 1, prema metodologiji prikazanoj na **slici 7.2.**, rastere je potrebno međusobno pomnožiti i reklasificirati sukladno GOD preporukama. Rezultat je karta

ranjivosti prikazana na **prilogu 3**. Vrijednosti nastale množenjem tematskih slojeva u slučaju niskih voda nalaze se u rasponu od 0,1-0,9. Izdvojene su četiri kategorije ranjivosti vodonosnika: niska, umjerena, visoka i vrlo visoka. Prostor vrlo visoke ranjivosti je područje uz korita rijeka Save i Bosne, dok je područje visoke ranjivosti prostor uz rijeke Savu i Bosnu, kao i dio s najmanjim dubinama nesaturirane zone. Raspon od 0,1-0,3 označava područje niske ranjivosti i zauzima najveći dio šireg područja regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci, točnije 85,59 % područja istraživanja (**tablica 8.7**).

Ocjena ranjivosti vodonosnika GOD metodom prije poplave i za vrijeme velikih voda napravljena je na temelju podataka pripremljenih na način prikazan u poglavlju 8.1. Konačni indeks ranjivosti za razdoblje poslije poplave nalazi se u rasponu od 0,1 do 1. Važno je usporediti rezultate procjene prirodne ranjivosti u vrijeme niskih i visokih razina podzemnih voda na istraživanom području. Naime, kategorije umjerene i niske ranjivosti vodonosnika prije i za vrijeme poplave znatno su se promijenile, dok su se kategorije vrlo visoke i visoke ranjivosti tek neznatno povećale (**tablica 8.7**). Područje umjerene ranjivosti se znatno povećalo za vrijeme poplave, što je vidljivo na **prilogu 4**.

Utvrđeno je da je u razdobljima kada je razina podzemne vode blizu površine terena na području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci, crpilište se prema GOD metodi nalazi u kategoriji umjerene ranjivosti, dok se u vrijeme prosječnih razina podzemnih voda nalazi u kategoriji niske ranjivosti. Iz toga se može zaključiti da razina podzemnih voda, tj. debljina nesaturirane zone ima znatan utjecaj na procjenu prirodne ranjivosti.

Tablica 8.7. Rezultati procjene prirodne ranjivosti GOD metodom

KLASA RANJIVOSTI	UDIO POVRŠINE [%]	
	NISKE VODE	VISOKE VODE
VRLO NISKA	0	0
NISKA	85,59	53,87
SREDNJA	6,69	34,37
VISOKA	6,51	9,14
VRLO VISOKA	1,21	2,62

8.4. Ocjena prirodne ranjivosti AVI metodom

Za razliku od ranije prezentiranih metoda, za ocjenu indeksa ranjivosti vodonosnika AVI metodom, korišteno je samo dva parametra. Podaci korišteni za ovu metodu se temelje na parametrima iz mnogobrojnih izvješća provedenih vodoistražnih radova na priljevnom području crpilišta (SVETINA et al., 2005, 2007; TUSIĆ et al., 2006; RIMAC et al., 1977, 1980, 1981, 1984, 1985; ĆERIĆ et al., 2008). U nastavku teksta je opisan način na koji su dobivene vrijednosti parametara za ocjenu ranjivosti primjenom AVI metode.

Parametri d i K

Podaci o debljinama slojeva iznad vodnog lica (d) i vrijednosti hidrauličke vodljivosti (K) koje se odnose na cjelokupnu dubinu vodonosnika, dobiveni su pokusnim crpljenjem iz pokusno-eksploatacijskih zdenaca i piezometara. Dobivene vrijednosti su interpolirane pomoću *spline interpolacije* na način kao što je opisano u poglavlju 8.1.1. Dobivena je karta prostorne raspodjele hidrauličke vodljivosti (K), koja je poslužila za izračun ranjivosti AVI metodom.

Ukupan indeks ranjivosti za pojedinu lokaciju je dobiven na način da je ukupna debljina nesaturirane zone podijeljena sa srednjom vrijednosti hidrauličke vodljivosti nesaturirane zone. Dobivene vrijednosti su logaritmirane, razvrstane u klase i

dobivena je karta ranjivosti u kojoj su izdvojene samo dvije klase ranjivosti vodonosnika i to: vrlo niska i niska klasa ranjivosti. Područje vrlo niske ranjivosti, s rasponom vrijednosti indeksa ranjivosti od 4–9,8 zauzima najveći dio istraživanog područja, dok je niska ranjivost, s rasponom vrijednosti indeksa ranjivosti od 3–4, zastupljena na onom dijelu područja istraživanja na kojem se preklapila kombinacija nešto manje dubine do razine podzemne vode i nešto veće vrijednosti koeficijenta hidrauličke vodljivosti s obzirom na ostatak područja (**prilog 5**). Rezultati procjene ranjivosti ovom metodom ukazuju da je na temelju vrijednosti debljina nesaturirane zone i koeficijenta hidrauličke vodljivosti vodonosnik dobro zaštićen.

Ukupan indeks ranjivosti prema AVI metodi, za vrijeme velikih voda, izračunat je na isti način, uz promjenu vrijednosti debljine nesaturirane zone, budući da je na pojedinim mjerenim mjestima razina podzemne vode bila vrlo blizu terena ili u razini terena. Kartom ranjivosti izdvojene su četiri klase ranjivosti vodonosnika (**prilog 6**), a odnos površina područja zastupljenog pojedinom kategorijom ranjivosti prikazan je u **tablici 8.8**.

Tablica 8.8. Rezultati procjene prirodne ranjivosti AVI metodom

KLASA RANJIVOSTI	UDIO POVRŠINE [%]	
	NISKE VODE	VISOKE VODE
VRLO NISKA	75,59	24,72
NISKA	24,40	38,52
SREDNJA	0	33,47
VISOKA	0	3,29
VRLO VISOKA	0	0

Vrlo niska ranjivost, s rasponom vrijednosti indeksa ranjivosti od 4 do 8,8 i u ovom slučaju zauzima sjeverni dio istraživanog područja, oko naselja Vrpolje, Andrijevc i Strizivojna, kao i jugozapadni dio područja. Kategorija niske ranjivosti, s rasponom vrijednosti indeksa ranjivosti od 3 do 4, najvećim dijelom zauzima područje velike Kopanice, kao i prostor sjeverno od Babine Grede, te južni dio istraživanog prostora. Kategorija srednje ranjivosti, s rasponom vrijednosti indeksa ranjivosti od 2 do 3, te kategorija visoke ranjivosti, s rasponom vrijednosti indeksa ranjivosti od 1 do 2 zauzimaju središnji dio područja istraživanja, u kojem je razina podzemnih voda u

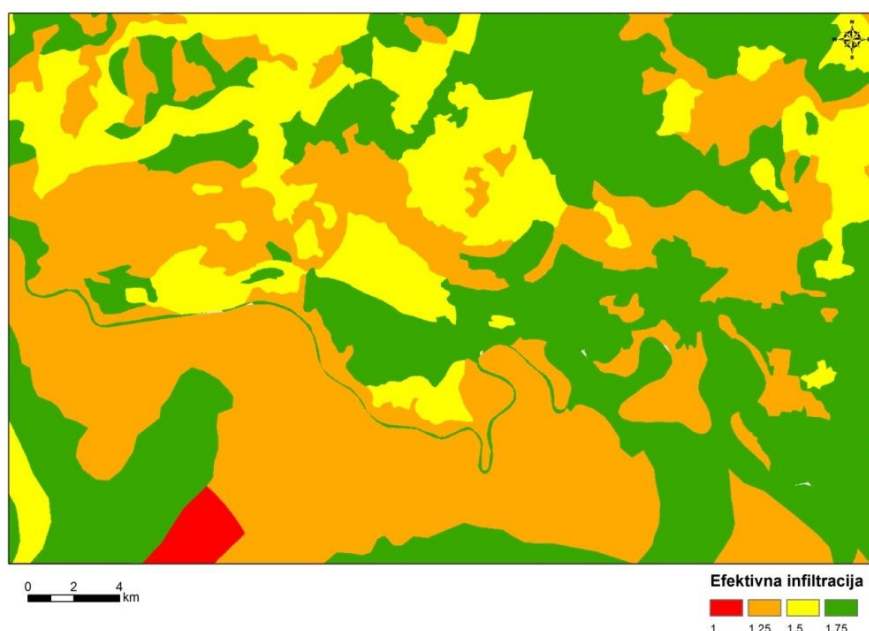
vrijeme visokih voda najbliža površini (**slika 8.4 B**). U tom dijelu nalazi se i regionalno crpilište Istočna Slavonija (vidljivo na **prilogu 6**). Na tom području nije jasno definirana kategorija ranjivosti. Problem je u tome što za ograničeno područje postoji jako veliki broj podataka o debljinama nesaturirane zone i velikog raspona vrijednosti koeficijenta hidrauličke vodljivosti, što je utjecalo na konačni rezultat ranjivosti. AVI metoda nije se pokazala najboljom u slučaju procjene ranjivosti na ovom području, jer u slučaju niskih voda precjenjuje zaštitnu ulogu nesaturirane zone, a u slučaju visokih voda dolazi do prevelikog rasipanja rezultatnog indeksa ranjivosti zbog velike razlike vrijednosti koeficijenta hidrauličke vodljivosti na malom prostoru.

8.5. Ocjena prirodne ranjivosti Njemačkom metodom

Njemačkom metodom se ne razmatra saturirana zona vodonosnika, već se definiraju značajke naslaga iznad vodne plohe do površine terena. Razmatra se zaštitna funkcija krovinskih naslaga vodonosnika, kao i vrijeme zadržavanja vode u krovini vodonosnih naslaga.

Efektivna infiltracija oborina, W

Za određivanje efektivne infiltracije područje istraživanja podijeljeno je na isti način kao i kod SINTACS metode. Postoji razlika u vrijednostima koje su dodijeljene zonama ovog rastera. Na područjima gdje je procijenjena prosječna godišnja efektivna infiltracija manja od 100 mm, dodijeljena je vrijednost boda 1,75. Za efektivnu infiltraciju od 100 do 200 mm dodijeljena je vrijednost boda 1,5, a za efektivnu infiltraciju od 200 do 300 mm dodijeljena je vrijednost boda od 1,25. Na područjima gdje je procijenjena prosječna godišnja efektivna infiltracija između 300 – 400 mm, dodijeljena je vrijednost boda 1 (**slika 8.19**).



Slika 8.19. Prostorna raspodjela prosječne godišnje efektivne infiltracije oborina, izražena kroz parametar W

Funkcija tla, S

Efektivni kapacitet tla (**eFC**) je parametar pomoću kojega određujemo funkciju tla. U praksi se pretpostavlja da je debljina tla konstanta s debljinom od 1 m, kako bi se postupak pojednostavio.

Kod određivanja funkcije tla u prvoj fazi je definiran litološki sastav prema rezultatima pedološkog profiliranja (**VIDAČEK et al., 2003**). Ovisno o litološkom sastavu određene su vrste tla prema USDA klasifikaciji. Prema Njemačkom pedološkom priručniku (**AG BODEKUNDE, 1982**) u drugoj fazi je određen efektivni kapacitet za prethodno određene vrste tla. Ovisno o efektivnom kapacitetu tla, u trećoj fazi vrstama tla dodijeljeni su odgovarajući bodovi (**tablica 8.5**). Tla u širem utjecajnom području regionalnoga crpilišta Istočna Slavonija pripadaju skupini ilovača s različitim udjelima praha, gline i pijeska te se takvim tlima bez obzira na varijacije udjela pojedinih komponenata dodjeljuje vrijednost 250 (**LARVA, 2008**)

Funkcija nesaturirane zone, R

U poglavlju 8.1.2. je pojašnjeno da je ukupna debljina krovinskih naslaga iznad razina podzemnih voda raščlanjena u dva osnovna sloja – slabopropusne naslage koje su izgrađene od pretežno glinovitih, prahovitih i siltoznih materijala te dobro propusne naslage koje čine pijesci i šljunci.

Vrijednost varijable R u slučaju šljunčano-pješčanog horizonta iznosi 10, a za pjeskovite ilovače, s prahom i glinovitim prahom, vrijednost ove varijable iznosi 200.

Vrijednosti indeksa ranjivosti P nalaze se u rasponu od 236–20.124 temeljem čega je i razmatrano područje raspodijeljeno u svih pet kategorija ranjivosti, u rasponu od niske do vrlo visoke, kao što je prikazano na **prilogu 7**.

Kategorija s vrlo niskom zaštitnom funkcijom krovinskih naslaga, tj. kategorija visoke ranjivosti vodonosnika, obuhvaća južni dio područja istraživanja zbog izraženog utjecaja efektivne infiltracije, kao i smanjene debljine slabopropusnih krovinskih naslaga. Prema sjeveru područja istraživanja smanjuje se ranjivost, kako raste debljina zaštitnih krovinskih naslaga. Tako je regionalno crpilište „Istočna Slavonija“ Sikirevci smješteno na području niske kategorije ranjivosti, zajedno s naseljima Štitar, Županja i Babina Greda, dok se u području vrlo visoke učinkovitosti pokrovnih naslaga, tj. u vrlo niskoj kategoriji ranjivosti, nalaze naselja Strizivojna, Vrpolje i Donji Andrijevi.

Učinkovitost zaštitne funkcije krovinskih naslaga u vrijeme visokih voda značajno se razlikuje u odnosu na prethodno opisan slučaj, što je posve logično jer se smanjuje debljina nesaturirane zone.

Na rezultatnoj karti ranjivosti u vrijeme visokih voda (**prilog 8**) područje istraživanja je podijeljeno u svih pet kategorija ranjivosti. Područje vrlo niske i niske učinkovitosti krovinskih naslaga, što odgovara kategoriji visoke i vrlo visoke ranjivosti vodonosnika, za vrijeme velikih voda zauzima gotovo polovine istraživanog prostora (**tablica 8.9**). Najveća promjena je u središnjem dijelu područja istraživanja gdje je smješteno i crpilište „Istočna Slavonija“ Sikirevci, koje se u ovom slučaju nalazi u kategoriji vrlo visoke i visoke ranjivosti (**prilog 8**). Kategorija vrlo niske ranjivosti nalazi se u prostoru gdje je dubina do podzemne vode bila veća od 30 m.

Tablica 8.9. Rezultati procjene prirodne ranjivosti Njemačkom metodom

KLASA RANJIVOSTI	UDIO POVRŠINE [%]	
	NISKE VODE	VISOKE VODE
VRLO NISKA	42,96	18,27
NISKA	34,83	9,11
SREDNJA	15,33	15,17
VISOKA	6,88	37,51
VRLO VISOKA	0	19,95

9. ANALIZA OPASNOSTI OD POTENCIJALNIH ONEČIŠĆIVAČA

Više puta je u prethodnom tekstu istaknuto da su vodonosnici, u kojima se nalazi regionalno crpilište „Istočna Slavonija“, označeni kao područje sa strateški važnim zalihama pitke vode za Republiku Hrvatsku te ih je stoga nužno zaštititi od antropogenih utjecaja.

Zaštita izvorišta je jedan od osnovnih preduvjeta za dugoročno i održivo korištenje vodnih resursa, no postojanje komunalnih vodnih građevina za javnu odvodnju bez sustava pročišćavanja, izgradnja prometnica, industrije, razvoj poljoprivrede te postojanje, legalnih i ilegalnih odlagališta otpada povećava negativne utjecaje na podzemne vode na istraživanom prostoru.

Budući da na istraživanom prostoru ne postoji niti jedan uređaj za pročišćavanje otpadnih voda, koji je u funkciji, a vrlo je malo kontroliranih odlagališta otpada, sve je veća opasnost od zagađenja podzemnih voda. Uz navedeno, kakvoću površinskih i podzemnih voda mogu ugroziti aktivnosti na poljoprivrednim površinama zbog intenzivnog korištenja agrotehničkih sredstava za povećanje prinosa različitih ratarskih kultura.

Iako su prvi rezultati istraživanja na promatranom području pokazali da su podzemne vode u vodonosnim slojevima iz kojih se crpi voda za potrebe vodoopskrbe dobre kakvoće, vrijednosti pojedinih pokazatelja, pokazuju postupnu promjenu u vremenu. Uz navedeno, rezultati kemijskih i bakterioloških analiza pokazali su da u plitkim procjednim slojevima postoji zagađenja podzemnih voda s nekim od organskih spojeva. U skladu s preporukama projekta COST 620, te uzimajući u obzir pokazatelje onečišćenja procjedne i podzemne vode na promatranom području, izdvojeni su potencijalni onečišćivači koji bi mogli imati negativan utjecaj na kakvoću podzemnih voda na istraživanom području.

9.1. Identifikacija izvora opasnosti za kakvoću podzemne vode

Različitim metodama prikupljeni su podaci o mogućim onečišćivačima na širem području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“. Glavni izvor podataka bili su prostorni planovi Brodsko-posavske (**PPBPŽ, 2001**), Vukovarsko-srijemske (**PPVSŽ, 2002**), i Osječko–baranjske županije (**PPOBŽ, 2002**), kao i službene mrežne stranice jedinica lokalne samouprave, iz kojih su izdvojene gospodarske djelatnosti koje mogu negativno utjecati na kakvoću podzemne vode. Onečišćivači su izdvojeni i iz Elaborata o zonama sanitarne zaštite izvorišta Vrpolje (**NAKIĆ & MAYER, 2003**), Elaborata zaštitnih zona izvorišta „Berava“-Babina Greda, „Topolik“-Privlaka i „Sojara“-Vrbanja (**NAKIĆ & ŽUGAJ, 2008**), Elaborata zaštitnih zona izvorišta Županja (**NAKIĆ & ŽUGAJ, 2007**) i Projekta zaštite izvorišta vodovoda u Odžaku (**ĆERIĆ et al., 2008**). Iz topografskih karata Republike Hrvatske mjerila 1:25.000 izdvojene su prometnice i naselja kao onečišćivači. Iz satelitskih snimaka novijeg datuma izdvojeni su novoizgrađeni objekti, poslovne zone i slični objekti s mogućim utjecajem na podzemne vode.

Gore navedeni podaci, kao i podaci koji nisu vidljivi u dostupnoj dokumentaciji (odlagališta otpada i ispusti otpadnih voda), su dopunjeni i potvrđeni terenskim rekognosciranjem. Svi prikupljeni podaci su uvršteni u bazu potencijalnih i aktivnih onečišćivača. Na širem području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci izdvojen je veliki broj mogućih izvora onečišćenja. Potrebno je naglasiti da su neki onečišćivači prethodno detaljno istraženi te postoji dovoljno podataka o njima. Drugi onečišćivači, o kojima nema dovoljno podataka su procijenjeni. Na širem istraživanom području izvršeno je prikupljanje podataka o onečišćivačima kao i njihovo prostorno lociranje, te se na temelju toga pretpostavilo postojanje mogućeg onečišćenja.

Nakon faze prikupljanja podataka o potencijalnim izvorima onečišćenja pristupilo se njihovom grupiranju, i to prema vrsti i sastavu ispuštene tvari koja onečišćuje podzemne vode. Također su opisana osnovna svojstva onečišćujućih tvari, te njihovo ponašanje u podzemlju (poglavlje 8.1.1.). Svi podaci o onečišćivačima obrađeni su u skladu sa smjernicama COST 620 projekta.

9.1.1. Onečišćivači prema vrsti i sastavu ispuštene tvari

Organska onečišćivala uzrokuju degradaciju kakvoće podzemne vode zbog njezinog kontakta s različitim organskim spojevima, primjerice ugljikovodicima poput nafte i njezinih derivata, zatim deterdžentima, pesticidima, organskim otapalima, raznim bojama, uljima i mastima te različitim fenolima. Opasnost od ovog tipa onečišćenja neprekidno raste zbog naglog razvoja organsko-kemijske industrije i sve šire primjene njenih produkata u poljoprivredi, domaćinstvima i drugim djelatnostima. Osim navedenog, na širem području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ uzrok organskoga onečišćenja može biti veliki broj benzinskih postaja, autopraonica i servisnih stanica za vozila različitih namjena te, poljoprivredne zadruge (ljekarne) koje posjeduju spremišta goriva. U ovu kategoriju onečišćenja mogu se svrstati lagune za sakupljanje oborinskih voda s prometnica, kao i prometnice bez kontroliranog sustava odvodnje, te održavanje odnosno tretiranje prostora oko željezničkih pruga s raznim pesticidima.

Kemijske promjene izazvane kemijskim ili biogeokemijskim reakcijama upravljaju ponašanjem organskog onečišćenja u tlu, u nezasićenoj i zasićenoj zoni vodonosnika. Veća količina humusa koja se nalazi u tlu može znatno usporiti organsko onečišćenje koje ulazi u tlo i na njegovo procjeđivanje do podzemne vode.

Anorganski onečišćivači u podzemnoj vodi posljedica su miješanja podzemne vode s nepročišćenim sanitarnim otpadnim vodama naselja, industrijskim i drugim otpadnim vodama koje mogu sadržavati niz toksičnih tvari i spojeva. U toj kategoriji se nalazi primjerice arsen, šesterovalentni krom, olovo, kadmij, nitrati, fosfati, sulfati i kloridi. Procjedne vode s poljoprivrednih površina i prometnica također mogu izazvati anorgansko onečišćenje. Izvori anorganskih onečišćenja na širem području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ mogu biti upotreba mineralnih gnojiva u poljodjelstvu, metaloprerađivačke i servisne usluge, odlagališta otpada, otpadne vode u domaćinstvu i dr.

Veća količina humusa u tlu može znatno usporiti anorgansko i organsko onečišćenje koje ulazi u tlo i njegovo procjeđivanje do podzemne vode. Proces sorpcije, kationska izmjena, taloženja i kotaloženja anorganskih onečišćivala, uz

hidrodinamičke procese, upravljaju ponašanjem anorganskih tvari unesenih u podzemlje.

Mikroorganizmi (bakterije i virusi) u podzemnoj vodi su posljedica miješanja podzemne vode sa sanitarnim otpadnim vodama i procjednim vodama s nekontroliranih odlagališta otpada. Mikroorganizmi predstavljaju važan pokazatelj zdravstvene ispravnosti vode za piće te se njihova prisutnost utvrđuje u vodi namijenjenoj za javnu vodoopskrbu, sukladno *Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN 125/13; NN 141/13)*. Neizgrađenost komunalnih vodnih građevina za javnu odvodnju, kao i nepostojanje uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u naseljima, uz propusne sabirne i septičke jame za otpadne vode te, peradarske i stočarske farme s neadekvatnim spremištima za gnojevku, osnovni su izvor mogućeg mikrobiološkog onečišćenja podzemnih voda na istraživanom području.

Kretanje mikroorganizama kroz podzemlje je složen proces koji uključuje transport, disperziju i filtraciju, te na taj način osigurava smanjenje broja mikroorganizama u poroznoj sredini (**LOBOREC, 2013**). Dezinfekcijom vode koja je propisana *Zakonom o vodi za ljudsku potrošnju (NN 56/13; 64/15)* osigurava se zdravstveno ispravna voda za piće u sustavima javne vodoopskrbe. Opasnost onečišćenja vode mikroorganizmima prijeti korisnicima koji nisu priključeni na sustave javne vodoopskrbe, što je na priljevnom području široko zastupljeno iz ekonomskih razloga, bez obzira na izgrađenost postojećih vodoopskrbnih sustava i odredbe *Zakona o vodama (NN 159/09; 153/09; 63/11; 130/11; 56/13; 14/14)*.

9.1.2. Onečišćivači prema gospodarskim djelatnostima

U skladu sa smjernicama COST 620 projekata, koje daju osnovu za izradu klasificiranih djelatnosti, napravljeno je grupiranje onečišćivača prema gospodarskim djelatnostima. Numeracija i nazivlje opasnosti, kao i dodijeljene težinske vrijednosti opasnosti, prikazane su u **tablici 9.1** U nastavku teksta grupirani su i opisani samo oni onečišćivači koji su registrirani na širem području regionalnog crpilišta Istočna Slavonija.

Tablica 9.1. Težinske vrijednosti za pojedine tipove opasnosti (prema COST 620, 2004).

	VRSTA OPASNOSTI	H
1	INFRASTRUKTURNI OBJEKTI	
1.1.	Otpadne vode	25-85
1.1.1.	Naselja (istjecanje kanalizacijskih sustava)	35
1.1.2.	Naselja bez kanalizacijskog sustava	70
1.1.3.	Izdvojeni pojedinačni objekti bez kanalizacije	45
1.1.4.	Septičke i sabirne jame, nužnici	45
1.1.5.	Navodnjavanje otpadnom vodom	55
1.1.6.	Ispust iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda	35
1.1.7.	Površinsko zbrinjavanje urbanih otpadnih voda	60
1.1.8.	Otjecanje s asfaltnih površina	25
1.1.9.	Ispust otpadne vode u površinski vodotok	45
1.1.10.	Upojni zdenac otpadnih voda	85
1.2.	Komunalni otpad	35-50
1.2.1.	Odlagalište otpada, kante za smeće	40
1.2.2.	Prikupna stanica za otpad, reciklažno dvorište	40
1.2.3.	Sanitarni deponij	50
1.2.4.	Spremište i odlagalište građevinskog otpada	35
1.2.5.	Mulj sa uređaja za pročišćavanje otpadnih voda	35
1.3.	Gorivo, benzin, nafta	50-65
1.3.1.	Nadzemni spremnik goriva	50
1.3.2.	Podzemni spremnik goriva	55
1.3.3.	Skladišni rezervoari	50
1.3.4.	Dvorišni spremnici	50
1.3.5.	Utovarne stanice goriva	60
1.3.6.	Benzinske postaje	60
1.3.7.	Kaverna za čuvanje goriva	65
1.4.	Promet i prijevoz	30-60
1.4.1.	Cesta, neosigurana	40
1.4.2.	Cestovni tunel, neosiguran	40
1.4.3.	Cestovno vozno skladište	35
1.4.4.	Parkiralište za automobile	35
1.4.5.	Željeznička pruga	30
1.4.6.	Željeznički tunel, neosiguran	30
1.4.7.	Željeznička postaja	35
1.4.8.	Otpremno dvorište	40
1.4.9.	Pista	35
1.4.10.	Cjevovod opasnih tekućina	60
1.5.	Rekreacijski centri	25-30
1.5.1.	Turističko naselje	25-30
1.5.2.	Mjesto za kampiranje	30
1.5.3.	Otvoreni sportski stadion	25
1.5.4.	Golf igralište	35
1.5.5.	Skijalište	25
1.6.	Ostali hazardi	25-35
1.6.1.	Groblje	25
1.6.2.	Životinjsko pokopalište	35
1.6.3.	Kemijska čistionica	35
1.6.4.	Transformatorska stanica	30
1.6.5.	Aktivni i napušteni vojni objekti	35

	VRSTA OPASNOSTI	H
2	IDUSTRIJSKE AKTIVNOSTI	
2.1.	Rudarenje (aktivni i napušteni rudnici)	60-85
2.1.1.	Rudnik, sol	60
2.1.2.	Rudnik, drugi nemetali	70
2.1.3.	Rudnik, ruda	70
2.1.4.	Rudnik, ugljen	70
2.1.5.	Rudnik, uran	80
2.1.6.	Vanjski spremnici opasnog krutog materijala	85
2.1.7.	Postrojenje za obradu rude	70
2.1.8.	Odlagalište rudničkog i zemljanog materijala	70
2.1.9.	Jalovna ruda	70
2.1.10.	Sustav za denažu rudnika	65
2.1.11.	Jezero jalovine	65
2.2.	Kamenolom	10-30
2.2.1.	Iskapalište i nasip za gradnju	10
2.2.2.	Štunčara i pješčara	30
2.2.3.	Kamenolom	25
2.3.	Eksploatacija nafte i plina	40-70
2.3.1.	Proizvodne bušotine	40
2.3.2.	Bušotine za ponovno ubacivanje	70
2.3.3.	Stanice za utovar	55
2.3.4.	Naftovod	55
2.4.	Industrijska postrojenja	40-85
2.4.1.	Ljevaonica	40
2.4.2.	Željezni i čelični radovi	40
2.4.3.	Industrija za završnu obradu metala	50
2.4.4.	Galvaniziranje	55
2.4.5.	Rafiniranje nafte	85
2.4.6.	Tvorница kemikalija	65
2.4.7.	Tvorница gume	40
2.4.8.	Proizvodnja papira i celuloze	40
2.4.9.	Štavionica kože	70
2.4.10.	Prehrambena industrija	45
2.5.	Elektrane	50-65
2.5.1.	Plinara	60
2.5.2.	Termoelektrana na kruta goriva	50
2.5.3.	Nuklearna elektrana	65
2.6.	Industrijska skladišta	45-100
2.6.1.	Skladišta krutih materijala i kemikalija	60
2.6.2.	Spremišnici opasnih tvari	70
2.6.3.	Nagomilani pepeo i šljaka	70
2.6.4.	Odlagalište neopasnih tvari	45
2.6.5.	Odlagalište opasnih tvari	90
2.6.6.	Odlagalište nuklearnog otpada	100
2.7.	Odvodnja i pročišćavanje otpadnih voda	40-85
2.7.1.	Cjevovod otpadne vode	65
2.7.2.	Laguna za sakupljanje otpadnih voda industrije	65
2.7.3.	Ispust iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda	40
2.7.4.	Upojni zdenac otpadnih voda	85
3	POLJOPRIVREDA I STOČARSTVO	
3.1.	Životinjske farme	25-45
3.1.1.	Životinjska staja (šupa, štagalj, svinjac)	30
3.1.2.	Hranilište	30
3.1.3.	Industrijska farma	30
3.1.4.	Gnojšnica	45
3.1.5.	Bazen ili rezervoar s gorivom	45
3.1.6.	Područje intenzivne ispaše	25
3.2.	Poljoprivreda	15-60
3.2.1.	Otvorena silaža (polje)	25
3.2.2.	Zatvorena silaža	20
3.2.3.	Skladište umjetnog gnojiva i pesticida	40
3.2.4.	Poručje (intenzivne poljoprivrede)	30
3.2.5.	Bašča (vrt)	15
3.2.6.	Staklenik	20
3.2.7.	Navodnjavanje otpadnom vodom	60

1. Infrastrukturni objekti

1.1 Otpadne vode

1.1.1 Naselja s kanalizacijskim sustavom (H=35)

U širem utjecajnom području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ samo gradovi Županja, Bosanski Šamac i Odžak djelomično imaju izgrađene sustave javne odvodnje, bez pročišćavanja otpadnih voda. Otpadne vode grada Županje i Bosanskog Šamca ispuštaju se u Savu bez prethodnih tretmana. Otpadne vode iz grada Odžak u FBiH ispuštaju se bez prethodnog pročišćavanja u napuštenu šljunčaru jugoistočno od uže gradske zone, nedaleko od stambenih objekata. Područje na kojem se ispuštaju otpadne vode nije zaštićeno, pa se na mjestu ispusta formira neuređen vodotok kojim teku otpadne vode, te može doći do nesmetane infiltracije otpadnih voda u podzemlje. Trenutno se u sklopu strukturno investicijskih fondova projekta „Poboljšanje vodnokomunalne strukture-aglomeracije Županja“, na području grada Županje i Općine Štitar gradi sustav odvodnje otpadnih voda, zajedno s uređajem za pročišćavanje otpadnih voda (**ITD d.o.o. Osijek, 2014**). Na području Odžaka u postupku je izrada projektne dokumentacije za revitalizaciju postojeće kanalizacijske mreže, te izrada projekta za izgradnju kolektora za odvodnju pročišćenih otpadnih voda do korita rijeke Bosne. Navedenim aktivnostima doći će do smanjenja opasnosti od onečišćenja podzemnih voda.

1.1.2. Naselja bez kanalizacijskih sustava (H=70)

Na istraživanom području niti jedno naselje nema u potpunosti izgrađene sustave za javnu odvodnju. Rubni dijelovi naselja navedenih u 1.1.1, nemaju izgrađene komunalne vodne građevine za odvodnju. Tako naselja G. Svilaj, Novi Grad, Zorice, Prud, Domaljevac, Kostrč, Bazik, Grebnice, Tolisa, Novo Selo, Donji i Gornji Hasići, Tišina, Gornja i Donja Crkvina, Vojskovo, Donja Dubica i Ada na području Federacije Bosne i Hercegovine te naselja: Štitar, Babina Greda, Gradište, Cerna, Šiškovci, Rokovci, Andrijaševci, Gundinci, Beravci, Velika Kopanica, Sikirevci, Jaruge, Kruševica, D. Andrijević, Posavska Mala, Vrpolje, Čajkovci, Strizivojna i Novi Grad na

području Republike Hrvatske otpadne vode rješavaju upuštanjem u sabirne i septičke jame. Budući da se upuštanje otpadnih voda u septičke i sabirne jame vrši bez prethodnih tretmana, isto predstavlja jedno od najvećih opterećenja za podzemne vode, što utječe na njezinu kakvoću. Najveća ispiranja i onečišćenja podzemlja događaju se u vlažnim razdobljima kojima su prethodila duža sušna razdoblja. Veća naselja predstavljaju veće opterećenje odnosno veću opasnost za podzemne vode od manjih naselja, tako da su unutar ove klase opasnosti korišteni različiti faktori rangiranja ovisno o veličini naselja.

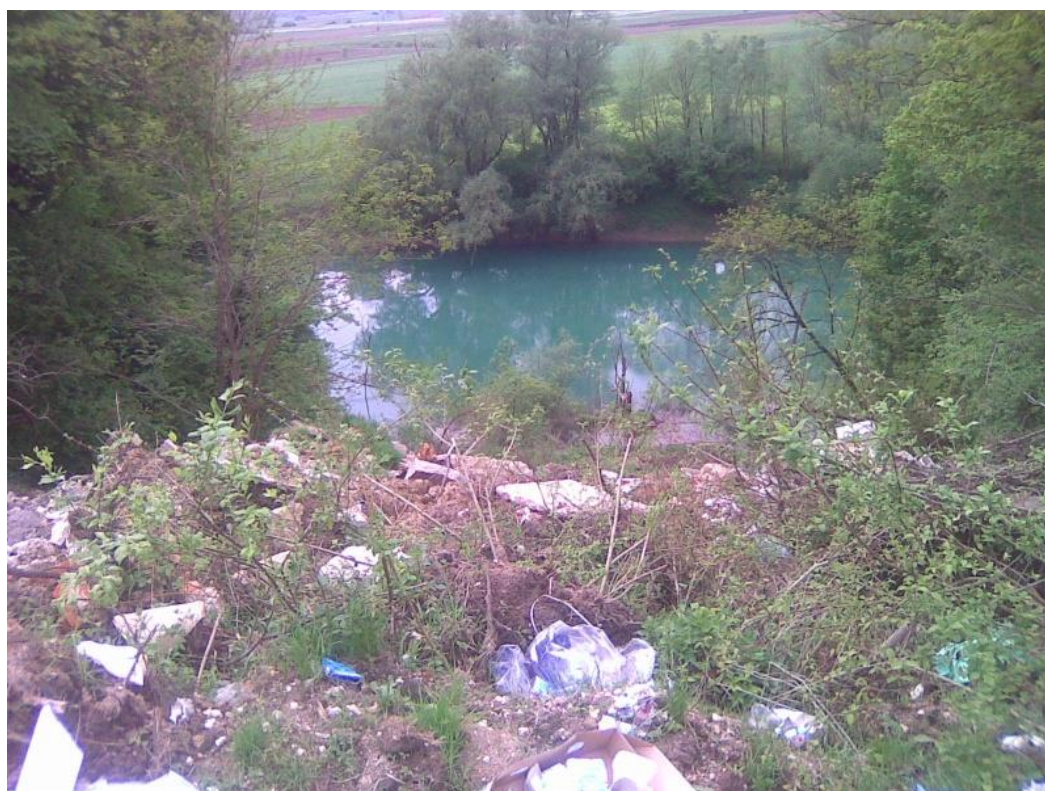
1.1.8. Otjecanje s asfaltnih površina (H=25)

Na području istraživanja, cestovna mreža obuhvaća: autocestu koridor Vc (područje FBiH i RH), autocestu Zagreb–Lipovac, magistralne, regionalne, lokalne i nerazvrstane ceste. Magistralne ceste povezuju općinska i županijska središta te Federaciju Bosne i Hercegovine i Republike Hrvatske. Zagađenje podzemnih voda može nastati u različitim fazama izgradnje i korištenja autocesta. Premda određeni opseg onečišćenja može nastati i tijekom izgradnje autoceste, ovaj utjecaj je privremenog karaktera i ograničenog intenziteta, naročito ako se poduzmu odgovarajuće mjere ublažavanja utjecaja i zaštite okoliša. Onečišćenja od asfaltnih površina mogu se podijeliti na stalna, sezonska i akcidentna (**ĆERIĆ et al., 2008**). Stalna onečišćenja su ispuštanje goriva, ulja i maziva, te trošenje guma koja se tijekom oborina spiru i procjeđuju u podzemne vode. Sezonska onečišćenja su korištenja soli i drugih sredstava za održavanje cesta u zimskom razdoblju. Iako i prethodne vrste onečišćenja mogu utjecati na kakvoću podzemnih voda, najveću opasnost predstavljaju potencijalna onečišćenja koja mogu nastupiti uslijed akcidentnih situacija, odnosno prometnih nesreća vozila kojima se vrši transport goriva i drugih opasnih i štetnih tvari.

1.2. Komunalni otpad

1.2.1. Odlagalište otpada (H=40)

Poseban problem za kakvoću podzemnih voda predstavlja nekontrolirano odlaganje opasnih i štetnih tvari različitog sastava i porijekla. Tu se prvenstveno radi o ambalaži za goriva, ulja i maziva, koja se koriste za motorna vozila i građevinske mašine, a koja su deponirana na divljim odlagalištima zajedno s ostalim otpadom. Navedene tvari u podzemne vode dopijevaju ispiranjem oborina i predstavljaju raspršen izvor onečišćenja. Nekontrolirana odlagališta opasnih i štetnih tvari (**slika 9.1.**) na istraživanom prostoru nalaze se najčešće van naselja, bez obzira na organiziran odvoz komunalnog otpada u gradovima/naseljima. Zahvaljujući sufinanciranju Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitosti u pojedinim naseljima pristupilo se organiziranoj sanaciji divljih odlagališta na prostoru Vukovarsko-srijemske županije.



Slika 9.1. Nekontrolirano odlaganje otpada uz rijeku Bosnu

1.2.3. Sanitarna odlagališta otpada (H=50)

Na istraživanom prostoru službena odlagališta komunalnog otpada i otpada nastalog u procesu proizvodnje sličnog komunalnom otpadu nalaze se na lokaciji „Stara Ciglana“ Županja i „Tuk“ Odžak. Na navedena odlagališta odlaže se otpad s područja gradova Županja, Odžak i okolnih naselja. Gradsko odlagalište „Stara Ciglana“ Županja se nalazi oko 100 m istočno od rijeke Save, a uz lokaciju odlagališta prolazi melioracijski kanal koji utječe u Savu sjeverno od lokacije (**slika 9.2**). Za izradu Elaborata o zaštiti okoliša, Gradsko odlagalište Županja – ocjena o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš provedena su hidrogeološka istraživanja te je determinacijom jezgre iz bušotina izbušenih 1,2 km od odlagališta otpada u Županji utvrđeno da se na navedenoj lokaciji nalaze slabopropusne krovinske naslage te da nema opasnosti za podzemne vode (**FUNDURULJA et al., 2014**). Deponija „Tuk“ se nalazi u blizini naselja Odžak kao i rijeke Bosne, a podloga odlagališta su šljunci što ju je okarakteriziralo kao odlagalište otpada visokog rizika za zdravlje ljudi (Projekt integralnog lokalnog razvoja (ILDP), 2011). te se ista planira zatvoriti i sanirati. Gradsko odlagalište „Stara ciglana“ je pod upravom „Čistoća“ d.o.o. Županja, dok odlagalištem „Tuk“ u Odžaku upravlja „Komunalac“ d.o.o. Odžak.



Slika 9.2. Sanitarna deponija „Stara ciglana“ Županja

1.3 Gorivo, benzin, nafta

1.3.6. Benzinske postaje (H=60)

Na širem utjecajnom području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ ukupno je evidentirano 20 benzinskih crpki, od toga 15 na području RH, a ostalo na području Federacije Bosne i Hercegovine. Na navedenom području veliki broj benzinskih crpki su u privatnom vlasništvu. Nije poznato imaju li sve benzinske crpke ishođene vodopravne dozvole te zadovoljavaju li sve uvjete kako ne bi došlo do onečišćenja podzemnih i površinskih voda.

1.4 Promet i prijevoz

1.4.1 Cesta, neosigurana(H=40)

Na istraživanom prostoru nalazi se veliki broj različito rangiranih prometnica, u odnosu na prometno opterećenje. Sve prometnice, koje nemaju uređen sustav odvodnje oborinskih voda, pripadaju u kategoriju povremenih linijskih zagađenja. Također, u slučaju nezgode na vozilima u blizini crpilišta, koje mogu dovesti do značajnog prolijevanja goriva iz rezervoara vozila ili do izlivanja štetnih tvari, ove ceste mogu postati značajan potencijalni izvor onečišćenja podzemnih voda. Na istraživanom području koriste se sljedeće prometnice: autocesta A3 Bregana-Zagreb-Lipovac, državna cesta D7 smjer - Granični prijelaz - Slavonski Šamac-Đakovo-Osijek-Beli Manastir, Državna cesta D520 Slavonski Šamac-Babina Greda, magistralna cesta M17 Sarajevo-Bosanski Šamac, koja se nadovezuje na cestu D7. Također su na istraživanom području registrirane županijske, regionalne i razne pristupne ceste manjeg značaja. Autocesta A3 je jedna od najopterećenijih cesta u Hrvatskoj, koja u istraživanom području ima riješen kontrolirani sustav odvodnje otpadnih voda. Indeks opasnosti HI ostalih cesta razvrstan prema važnosti prometnom opterećenju nalazi se u rasponu od 32 do 48.

1.4.5. Željeznička pruga (H=30)

Željezničke pruge na širem području istraživanja mogu postati značajan povremeni izvor onečišćenja u slučaju primjene herbicida za uništavanje korova u neposrednoj blizini pruge. Također ulazi i u kategoriju potencijalnih izvora onečišćenja u slučaju havarija na vlakovima. Istraživanim prostorom prolazi željeznička pruga Zenica–Doboj–Bosanski Šamac–Vinkovci.

1.4.7. Željeznička postaja (H=30)

Na širem području istraživanja regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ evidentirana je željeznička postaja Bosanski Šamac te nije poznato je li na istoj riješena odvodnja otpadnih voda te predstavlja li opasnost za podzemne vode.

1.4.10. Cjevovod opasnih tekućina (H=60)

Sjeverozapadno od naselja Vrpolje, iz pravca Slavonski Brod, prolazi jadranski naftovod Omišalj–Sotin. Također, paralelno s trasom JANAF-a prolazi naftovod Đeletovci-Rušćica. Puknućem navedenih cjevovoda i izlivanjem sadržaja iz istih može doći do onečišćenja podzemnih voda.

1.6 Ostali hazardi

1.6.1. Groblja (H=25)

Utjecaj groblja na podzemne vode na promatranom prostoru treba promatrati u smislu mogućeg onečišćenja podzemne vode zbog naknadnoga procjeđivanja raspadnute organske materije ili procjeđivanja zaštitnih sredstava protiv korova i mogućih drugih agrotehničkih sredstava, koja se primjenjuju na lokacijama groblja. Svako naselje na širem području istraživanja ima groblje, s tim da su na području Općine Odžak (FBiH) evidentirana 23 groblja. Bez obzira na velik broj evidentiranih groblja, za potrebe ove analize naseljima nije dodijeljena dodatna vrijednost opasnosti.

2. Industrijske aktivnosti

2.4. Industrijska postrojenja

2.4.3. Industrija za završnu obradu metala (H=50)

Na lokaciji Bosanski Šamac nalazi se *AD Meboš* u stečaju. U Odžaku se nalazi *Strolit d.o.o* (**slika 9.3**) i *Metalac d.o.o.*, u Slavonskom Šamcu *Grabovina d.o.o* i u Županji *Same Deutz fahr*, industrijska postrojenja za preradu i završnu obradu metala. Za postrojenja na području RH su izdane vodopravne dozvole za ispuštanje otpadnih voda i postoje određeni predtretmani otpadnih voda na lokacijama industrijskih postrojenja, te se na taj način smanjuje opasnost od onečišćenja podzemnih voda. Za industrijska postrojenja na području FBiH nije poznat podatak na koji način se regulira ispuštanje otpadnih voda s lokacije industrijskih postrojenja.



Slika 9.3. *Strolit d.o.o. Odžak*

2.4.8. Proizvodnja papira i celuloze (H=40)

Na širem području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ u naselju Donji Andrijeveci nalazi se *PAN–Papirna industrija d.o.o.* (**slika 9.4**). Prije upuštanja u prijemnik, otpadne vode s lokacije postrojenja prolaze kroz flotatore, pješčane filtre i polidiskove, sukladno vodopravnoj dozvoli. Na temelju objedinjenih uvjeta zaštite okoliša utvrđeno je da se na lokaciji posebno prati zaštita tla i podzemnih voda. Za vrijeme tehnološkog procesa vrlo je mala mogućnost onečišćenja tla i podzemnih voda. Izvidom na lokaciji utvrđeno je da spremnici mazuta koji mogu uzrokovati onečišćenje tla i podzemnih voda imaju ugrađenu tankvanu, te uzroci onečišćenja

podzemnih voda ili tla mogu biti posljedica nekontroliranog ispuštanja otpadnih voda s lokacije postrojenja uslijed neispravnog korištenja opreme i prijevoznih sredstava, neispravnih postupaka u tehnološkom procesu, elementarnih nepogoda i namjernog ispuštanja opasnih i štetnih tvari.



Slika 9.4. Papirna industrija PAN Donji Andrijevc

2.4.10. Prehrambena industrija (H=45)

Na širem području regionalnog crpilišta registrirano je nekoliko prehrambenih industrijskih pogona. Kao značajniji industrijski pogoni ističu se: *Družba d.o.o.* s proizvodnjom mlijeka i mliječnih proizvoda u Babinoj Gredi, *Slavonija Nova d.o.o.* s preradom žitarica u Županji, *Rog d.o.o.* s proizvodnjom proizvoda od mesa i mesa peradi u Vrpolju, *Klaonica d.o.o.* za proizvodnju i obradu mesa i *Tvornica za preradu voća i povrća* u Odžaku i *Pam & S d.o.o.* za preradu i konzerviranje mesa i peradi u Prudu. Najčešće, otpadne vode iz prehrambene industrije sadrže organske tvari, koje mogu uzrokovati onečišćenje podzemnih voda. Za prehrambena industrijska postrojenja na području RH postoje predtretmani i izdane su vodopravne dozvole za ispuštanje otpadnih voda od strane Hrvatskih voda, dok za područje FBiH navedeni podaci nisu poznati te je potrebno utvrditi količinu, sastav i ispuste, kao i predtretmane otpadne vode prije ispusta.

3. Poljoprivreda i stočarstvo

3.1. Životinjske farme

3.1.1. Životinjska staja (šupa, štagalj, svinjac H=30)

Većina domaćinstava na istraživanom prostoru bavi se poljoprivrednom proizvodnjom za vlastite potrebe te posjeduje životinjske staje za uzgoj domaćih životinja, kao i prostorije za mehanizaciju i skladištenje hrane. Tijekom poljoprivredne proizvodnje dolazi do nastanka različitog otpada, što zavisi o vrsti poljoprivredne aktivnosti, načina proizvodnje i stupnja njezinog razvoja. Upravljanje otpadom, nastalim u domaćinstvima prilikom poljoprivredne proizvodnje, je na vrlo niskoj razini, jer ne postoji primijenjen adekvatan način za zbrinjavanje otpada/stajnjaka (**slika 9.5**) iz ovih djelatnosti što predstavlja veliku opasnost za okoliš, a ujedno i za podzemne vode.



Slika 9.5. Odlagalište stajnjaka na seoskom gospodarstvu Babina Greda

3.1.3. Industrijska farma (H=30)

Na širem području regionalnog crpilišta postoji veliki broj objekata koji ulaze u ovu kategoriju, a predstavljaju opasnost za podzemne vode. Prema *Studiji Utjecaja poljoprivrede na onečišćenja površinskih i podzemnih voda u Republici Hrvatskoj* Agronomskog fakulteta u Zagrebu (**ROMIĆ et al., 2014**), na području istraživanja nalazi se preko 100 farmi s više od 0 do 5 uvjetnih grla, preko 40 farmi s više od 5 do

20 i 20 do 50 uvjetnih grla, preko 20 farmi s 50 do 200 uvjetnih grla i 12 farmi s preko 200 uvjetnih grla. U području istraživanja u FBiH postoji veći broj manjih industrijskih farmi, a mogu se izdvojiti *Zlatna dolina d.o.o.* u Vojskovu, industrijska farma za uzgoj stoke i usjeva, u Odžaku *Kalimero*, farma za uzgoj peradi, *Mirela*- farma za uzgoj muznih krava i u Gornjem Svilaju, *Mago* farma za uzgoj bivola i ostalih goveda te *Plus* farma koka nesilica.

3.2. Poljoprivreda

3.2.3. Skladište umjetnog gnojiva i pesticida (H=40)

Utjecaj skladišta umjetnih gnojiva i pesticida na podzemne vode na promatranom prostoru treba promatrati u smislu mogućeg onečišćenja ili zagađenja podzemne vode nastalog zbog neadekvatnog skladištenja sredstava. Osim toga, prilikom oštećenja ambalaže može doći do procjeđivanja umjetnih gnojiva i agrotehničkih sredstava što dovodi do onečišćenja tla i podzemnih voda. U svim naseljima na širem području regionalnog crpilišta nalazi se minimalno po jedna poljoprivredna ljekarna, najčešće zastupljene su *Ruris* (**slika 9.6**), *Napredak* i *Prvča*.



Slika 9.6. *Ruris Županja*

3.2.4. Područje intenzivne poljoprivrede (H=30)

Intenzivno korištenje poljoprivrednih tala dovodi do onečišćenja, tla, te može uzrokovati degradaciju kakvoće površinskih i podzemnih voda. Analizom udjela obradivog poljoprivrednog zemljišta po županijama u RH utvrđeno je da Vukovarsko-srijemska županija ima oko 150.000 ha obradivih površina zasijanih određenim kulturama, dok Brodsko-posavska (**slika 9.7**), nešto manje oko 107.000 ha (**ROMIĆ et al., 2014**). Na istraživanom području FBiH, poljoprivredna proizvodnja predstavlja najznačajniju privrednu djelatnost: preko 70 % područja otpada na obradive površine. Najčešće poljoprivredne kulture u 2012. godini su bile žitarice. Navodnjavanje je vrlo malo zastupljeno na širem području istraživanja. U Vukovarsko-srijemskoj županiji se od 115.000 ha navodnjava svega 2000 ha, dok u Brodsko–posavskoj županiji su ishođene građevne dozvole za navodnjavanje područja Orubica i Jelasa. S obzirom na navedeno, smanjeno je ispiranje tla i opasnost od onečišćenja podzemnih voda.



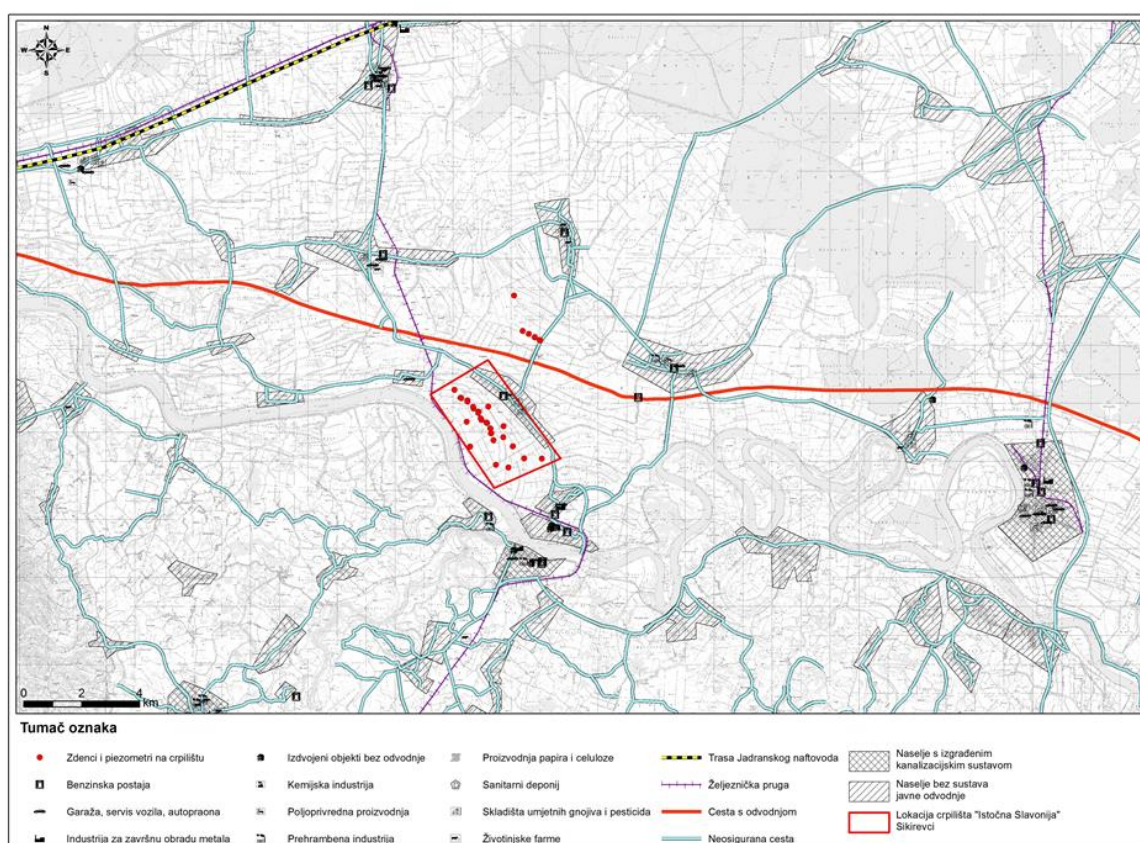
Slika 9.7. *Intenzivna poljoprivreda – Sikirevci*

3.2.5. Vrtovi i okućnice (H=15)

Na području istraživanja u svim naseljima lokalno stanovništvo obrađuje vrtove za vlastite potrebe. To može uzrokovati degradaciju kakvoće podzemnih voda zbog prekomjernog korištenja sredstava za zaštitu bilja.

9.2. Izrada karata neklasificirane i klasificirane opasnosti

Ranije spomenuti onečišćivači pripremljeni su za kartografski prikaz i razvrstani u tri kategorije: točkasti, linijski i poligonski. Prostornim smještanjem onečišćivača na širem području regionalnog crpilišta Istočna Slavonija, dobivena je karta neklasificirane opasnosti (**slika 9.8**). U **tablici 9.2** prikazan je postupak klasificiranja opasnosti. Karta klasificiranih opasnosti je konačni rezultat analize opasnosti (**slika 9.9**).



Slika 9.8. Karta neklasificirane opasnosti na širem području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci

Tablica 9.2. Prikaz rangiranja pojedinih onečišćivača u klasificirane opasnosti

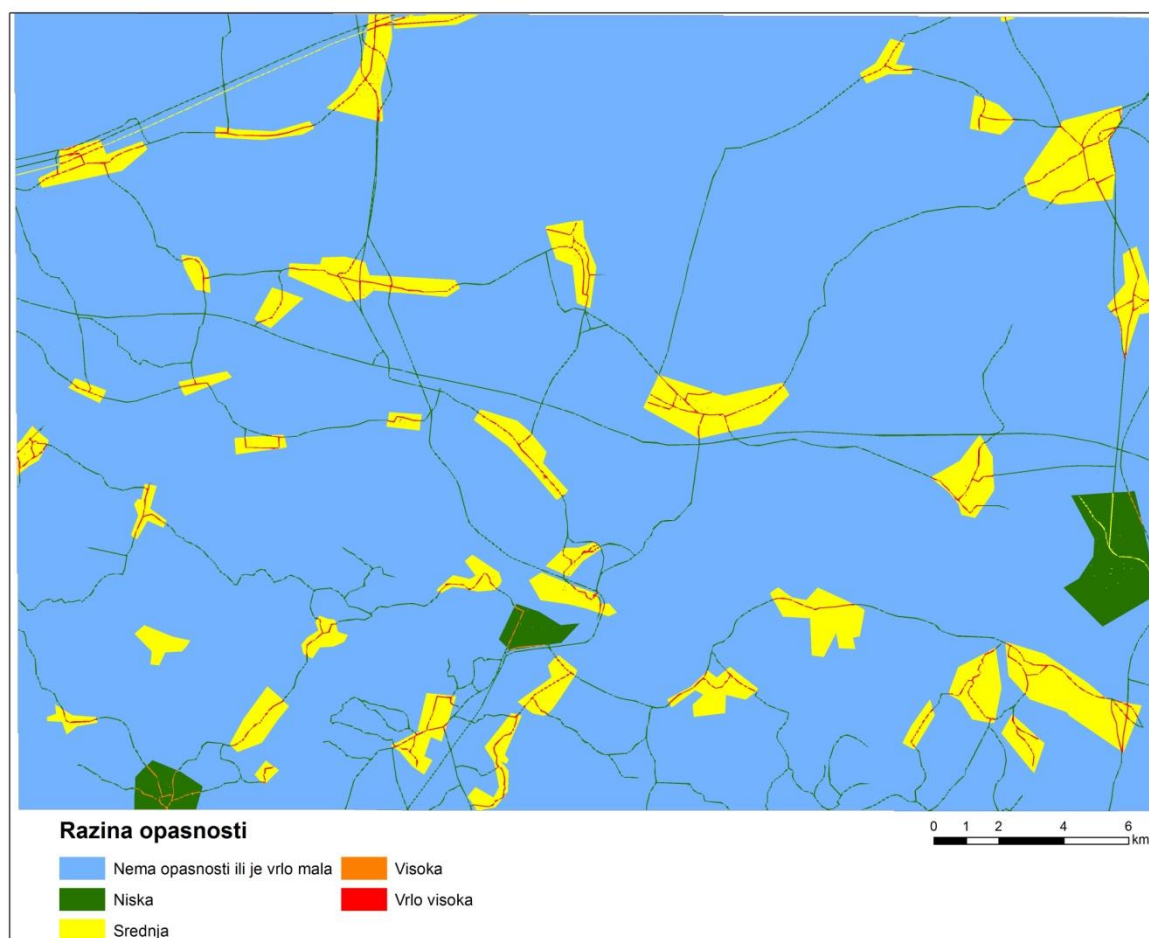
KATEGORIJA OPASNOSTI	ONEČIŠĆIVAČI	TEŽINSKA VRIJEDNOST	FAKTOR RANGIRANJA	FAKTOR REDUKCIJE	INDEKS OPASNOSTI
TOČKASTI ONEČIŠĆIVAČI					
Benzinska crpka	INA trgovina Babin Greda	60	1,2	1	72
	Osijek Petrol	60	0,8	0,9	43,2
	"Vidović" d.o.o.	60	1	1	60
	Osijek Petrol trgovina Županja	60	0,8	0,5	24
	INA trgovina Braće Radića	60	1	1	60
	INA trgovina Motel Jelen	60	1	1	60
	Tifon trgovina	60	1	1	60
	Osijek Petrol	60	1	1	60
	Slavonija Benz	60	1	1	60
	Petrol	60	1	1	60
	Benzinska postaja "Jurišić"	60	1	1	60
	INA trgovina Sikirevci	60	1	1	60
	Petrol	60	1	1	60
	Benzinska pumpa Ada Ceribašić	60	1	1	60
	Benzinska pumpa SN Petrol	60	1	1	60
	Gazprom	60	1	1	60
	Zeko-promet -Prud	60	1	1	60
	"Zeko-promet" -Odžak	60	1	1	60
Prehrambena industrija	Družba d.o.o.	45	1	1	45
	Sladorana d.d.	45	1	1	45
	Slavonija Nova d.d.	45	1	0,9	40,5
	Novi domil d.d.	45	1	1	45
	Emić d.o.o.	45	1	1	45
	Pam&S d.o.o.-Prud	45	1	1	45
	AD" Hranaprodukt"	45	1	1	45
Industrija za završnu obradu metala	VAK d.o.o.	50	1	1	50
	Deutz fahr	50	1	0,9	45
	Strolit d.o.o.	50	1	0,9	45
	Metalac d.o.o.	50	1	1	50
	AD "Meboš"	50	1	1	50
	Grabovina d.o.o.	50	1	1	50
Izdvojeni objekti bez odvodnje	MIA STIL d.o.o.	45	1	1	45
	Nova Forma d.o.o.	45	1	1	45
	"Šiška" d.d.	45	1	1	45
	Šišarka d.o.o.	45	1	1	45
	TDA - tiskara d.o.o.	45	1	1	45
	Hrast d.o.o	45	1	1	45
	DOO" Nova forma"	45	1	1	45
	Rog d.o.o	45	1	1	45
	AD " Budućnost"	45	1	1	45

DOKTORSKI RAD

Proizvodnja papira i celuloze	PAN d.o.o.	40	0,8	1	32
Sanitarni deponij	Stara ciglana Županja	50	1	1	50
	Tuk Odžak	50	1,2	1	60
Nekontrolirana odlagališta otpada	15 naselja	40	1,2	1	48
Garaža, servis vozila, autopraonice	Obrt Euro Auto	35	1	1	35
	Omega-Kruševica	35	1	1	35
	Šalom d.o.o.	35	1	1	35
	Elektra Vinkovci, pogon Županja	35	1	1	35
	Elektra Vinkovci, pogon Županja	35	1	1	35
	Auto Praonica Poliš	35	1	1	35
	HPT -pošta	35	1	1	35
	Hrvatske šume -Šumarija	35	1	1	35
	Autopraonica Plodine	35	1	1	35
	Autopraonica Sjaj	35	1	1	35
	Prvča- poljoprivredna zadruga	35	1	1	35
	Kristal	35	1	1	35
	autopraonica Knežević	35	1	1	35
	F.a.I. d.o.o.	35	1	1	35
	Bakula Zvonko	35	1	1	35
	Automehanika Jaruge	35	1	1	35
	Bosch	35	1	1	35
	Lamela-Pak	35	1	1	35
	Autoservis Orion	35	1	1	35
	D&B Vulkanizer i autopraonica	35	1	1	35
	"A&A Mulić" d.o.o.	35	1	1	35
	Autopraonica „Aqva"	35	1	1	35
	Koturić-Toni autopraonica d.o.o.	35	1	1	35
	Autopraonica Posavina	35	1	1	35
	Fortis d.o.o.	35	1	1	35
Životinjske farme	Farma Živković	30	1	1	30
	Agrovrpolje d.o.o.	30	1	1	30
	Emerik d.o.o.	30	1	1	30
	Farma Jasinje	30	1	1	30
	Farma "Baća"	30	1	1	30
	Farma "Kadić"	30	1	1	30
	Peradarska farma PILE	30	1	1	30
	M.I. Agro d.o.o.	30	1	1	30
	Kalimero	30	1	1	30
	Mirela d.o.o.	30	1	1	30
	Plus d.o.o.	30	1	1	30
	Mago d.o.o.-gornji svilaj	30	1	1	30
	Farma Čošković	30	1	1	30

Skladišta umjetnih gnojiva i pesticida	Ruris d.o.o. Babina Greda	40	0,9	0,9	32,4
	Napredak Babina Greda	40	0,9	0,9	32,4
	Ruris d.o.o. Štitar	40	0,9	0,9	32,4
	Napredak Štitar	40	0,9	0,9	32,4
	Ruris d.o.o. Županja	40	0,9	0,9	32,4
	Napredak Županja	40	0,8	0,9	28,8
	Vita-kop d.o.o.	40	1	1	40
	MIFd.o.o.	40	1	1	40
	Prvča- poljoprivredna zadruga Gundinci	40	1	1	40
	Ruris d.o.o.	40	0,9	1	36
	Prvča- poljoprivredna zadruga	40	1	1	40
	Osatina grupa d.o.o -poljoprivredna zadruga	40	1	1	40
	Prvča- poljoprivredna zadruga Velika Kopanica	40	1	1	40
LINIJSKI ONEČIŠĆIVAČI					
Cesta sa odvodnjom	Autocesta i brza cesta	25	1	0,7	17,5
Nesigurna cesta	Državna cesta	40	1,1	1	44
	Regionalna cesta	40	1	1	40
	Županijska cesta	40	0,9	1	36
	Magistralna cesta	40	0,9	1	36
	Lokalna cesta	40	0,8	1	32
Željeznički promet	Željeznička pruga	30	1,1	1	33
Cjevovodi opasnih tekućina	JANAF	60	1,2	1	72
POLIGONSKI ONEČIŠĆIVAČI					
Naselja sa kanalizacijskim sustavom	Županja, Odžak, Bosanski Šamac	35	1	1	35
Naselja bez sustava odvodnje	G. Svilaj, Novi Grad, Zorice, Prud, Domaljevac, Kostrč, Bazik, Grebnice, Tolisa, Novo Selo, Donji i gornji Hasići, Tišina, Gomja i Donja Crkvina, Vojskovo, Donja Dubica, Ada Štitar, Babina Greda, Gradište, Cerna, Šiškovci, Rokovci, Andrijaševci, Gundinci, Beravci, Velika Kopanica, Sikirevci, Jaruge, Kruševica, D, Andrijevi, Posavska Mala, Vrpolje, Čajkovci, Strizivojna, Novi Grad	70	1	1	70
Intenzivna poljoprivreda	Agro farma Plejić	30	1	1	30
	LUG d.o.o.	30	1	1	30
	OPG Kulaš	30	1	1	30
	"Zlatna dolina" d.o.o.- Vojskovo	30	1	1	30
	Ostale poljoprivredne površine u navedenim naseljima	30	1	1	30

Najveći dio širega područja regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ je izvan opasnosti od onečišćenja. Iz karte klasificirane opasnosti (**slika 9.9**) je vidljivo da najveću opasnost za podzemne vode predstavljaju naselja bez izgrađenog sustava javne odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda, te prometnice.



Slika 9.9. Karta klasificiranih izvora opasnosti (hazarda) na području sliva

Budući je u posljednje vrijeme zabilježen trend izgradnje poslovnih zona, proširenja naselja, navodnjavanja poljoprivrednih površina te povećanja primjene agrotehničkih sredstava u poljoprivredi, bitno je poduzeti mjere koje će smanjiti onečišćenje podzemnih voda od navedenih aktivnosti. Prvenstveno se misli na izgradnju komunalnih vodnih građevina za javnu odvodnju i uređaja za pročišćavanje otpadnih voda te izgradnju prometnica s kontroliranim sustavom odvodnje. U poljoprivredi je potrebno uvesti praćenje primjene agrotehničkih sredstava u skladu s Europskom praksom. Navedenim aktivnostima bi se smanjila opasnost za onečišćenje podzemnih voda, bez ograničenja razvoja.

10. OCJENA SPECIFIČNE RANJIVOSTI VODONOSNIKA NA ŠIREM PODRUČJU REGIONALNOG CRPILIŠTA „ISTOČNA SLAVONIJA“

Ranjivost vodonosnika nije svojstvo koje se može izmjeriti izravno na lokaciji ili u laboratoriju, ali s obzirom da pokazuje vjerojatnost hoće li do onečišćenja doći, potrebno ju je odrediti na temelju podataka koje je moguće mjeriti. Koncept ranjivosti vodonosnika temelji se na pretpostavci da okoliš u određenoj mjeri štiti podzemnu vodu od prirodnih i antropogenih utjecaja (**VRBA & ZAPOROZEC, 1994**). U slučaju onečišćenja vodonosnika potrebo je voditi računa o efektu mjerila i o mogućnosti trajne mobilizacije ili razgradnje onečišćivala. Onečišćenja podzemne vode se ne moraju dogoditi ako se radi o dugotrajnom kretanju onečišćivala od mjesta unosa do nekog prijamnika. Nitrati kao perzistentna tvar u određenim hidrokemijskim uvjetima, mogu se desetljećima kretati kroz nesaturiranu zonu (**PRATT et al., 1972**).

Kako je ranije opisano, prirodna ranjivost, prema zaključcima projekta **COST 620 (2004)** uključuje geološke, hidrološke i hidrogeološke uvjete razmatranog područja i pri tom ne razmatra prirodu samog onečišćivala i scenarij onečišćenja. Za ocjenu specifične ranjivosti, s obzirom na određeno onečišćivalo ili grupu onečišćivala, pored značajki sustava koje se koriste za ocjenu prirodne ranjivosti, potrebno je uzeti u obzir i obilježja onečišćivala te kako ona utječu na njegov prijenos, hidrogeološki sustav, te scenarij onečišćenja.

„Europski pristup“ procjene specifične ranjivosti, prema protokolu koji je predložen u sklopu projekta **COST Action 620 (2004)**, sastoji se u određivanju indeksa specifičnog zadržavanja pojedinog onečišćenja, koji se kombinira s ostalim faktorima već procijenjene prirodne ranjivosti. „Europski pristup“ predlaže tri faktora za procjenu prirodne ranjivosti: zaštitnu ulogu krovinskih naslaga (O), utjecaj koncentracije toka (C) i režim oborina (P). Za ocjenu specifične ranjivosti „Europski pristup“ koristi specifični faktor (S). S obzirom na navedeno, COP metoda, je sukladno „Europskom pristupu“, najbolja metoda za procjenu specifične ranjivosti.

Analiza specifične ranjivosti kompleksnija je i zahtjevnija od analize prirodne ranjivosti obzirom da zahtijeva veću količinu podataka o prirodi potencijalnog onečišćivala ili grupe onečišćivala. Provodi se u okolnostima gdje već postoji dominantan izvor onečišćenja i kada uvjeti na terenu opravdavaju troškove prikupljanja i obrade dodatne količine podataka. Najčešće se pretpostavlja da se onečišćenja događaju na površini terena, iako se određene vrste onečišćenja događaju i ispod površine terena. Monitoring podzemnih voda često pokazuje veliku prostornu i vremensku varijabilnost koncentracije onečišćivala koja je prisutna u plitkim vodonosnicima **(BJERG & CHRISTENSEN, 1992; BROERS & VAN DER GRIFT, 2004; HACKTEN BROEKE et al., 1996)**.

Specifična ranjivost je uvijek manja ili jednaka prirodnoj ranjivosti i određuje se u sljedećim koracima:

1. Definiranje pojedinih onečišćivača i određivanje potencijalnih procesa koji utječu na zadržavanje onečišćivala u nesaturiranoj ili saturiranoj zoni;
2. Određivanje indeksa onečišćenja prema značajkama koje se vrednuju za svaki pojedini onečišćivač;
3. Određivanje indeksa slojeva uzimajući u obzir određene značajke pokrovnih naslaga vodonosnika;
4. Utvrđivanje sumarnoga indeksa procesa za određeni sloj i određeni onečišćivač, kombinacijom indeksa onečišćenja i indeksa slojeva za svaki pojedini proces;
5. Određivanje debljina slojeva i hidrauličkih značajki vodonosnika (postotak difuznog toka);
6. Prikazivanje konačnoga rezultata kao numeričke vrijednosti indeksa specifičnog zadržavanja, koja se na karti prikazuje različitim klasama specifičnog zadržavanja;

Rezultati specifične ranjivosti prikazuju se na kartama, čija se mjerila nalaze u širokim rasponima. Karta mjerila 1:100.000 prikazuje rezultate specifične ranjivosti na razini države ili više država, dok se u mjerilu 1:50.000 i 1:25.000 prikazuju rezultati regionalnih istraživanja ili istraživanja hidrogeoloških cjelina, ovisno o raspoloživosti podataka i veličini područja. Rezultati ocjene ranjivosti na području zaštitnih zona

crpilišta podzemne vode prikazuju se na kartama mjerila 1:10.000. Kartama specifične ranjivosti nastoje se izdvojiti dijelovi vodonosnog sustava u kojima se smanjuje prirodna ranjivost od onečišćenja podzemnih voda, zbog zadržavanja onečišćenja (procesima usporavanja transporta onečišćivala i njihove razgradnje) u pokrovnim naslagama vodnosnika.

Europski parlament i Vijeće su 1991. godine usvojili *Direktivu Europske unije br. 91/676/EEZ o zaštiti voda od onečišćenja koja uzrokuju nitrati poljoprivrednog podrijetla*, poznatiju kao Nitratnu direktivu (**91/676/EEC**), kako bi spriječili onečišćenje tla i vode nitratima iz mineralnih gnojiva.

Odlukom o utvrđivanju ranjivih područja u Republici Hrvatskoj (NN 130/12) utvrđena su ranjiva područja na nitrate, te je na istim potrebno provesti pojačane mjere zaštite voda od onečišćenja nitratima iz poljoprivrede. Također, danom pristupanja RH Europskoj uniji donesen je *Akcijski program zaštite voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima poljoprivrednog porijekla (NN 15/13)*. Prema navedenoj Odluci, oko 10 % kopnenog teritorija RH označeno je kao ranjivo na nitrate.

Nitratna direktiva nalaže utvrđivanje doprinosa poljoprivrede na opterećenje voda hranjivim tvarima, prvenstveno nitratima i fosfatima, no monitoring koji se danas provodi ne odražava stvarno stanje utjecaja onečišćenja iz poljoprivrede.

Kodeksima dobre poljoprivredne prakse pokušava se umanjiti rizik od difuznog onečišćenja nitratima i fosfatima iz intenzivne poljoprivrede.

U nastavku teksta slijedi opis nitrata i pesticida (lindan) kao onečišćivala, za koja je određena specifična ranjivost u istraživanom području.

10.1. Pojave dušika u okolišu

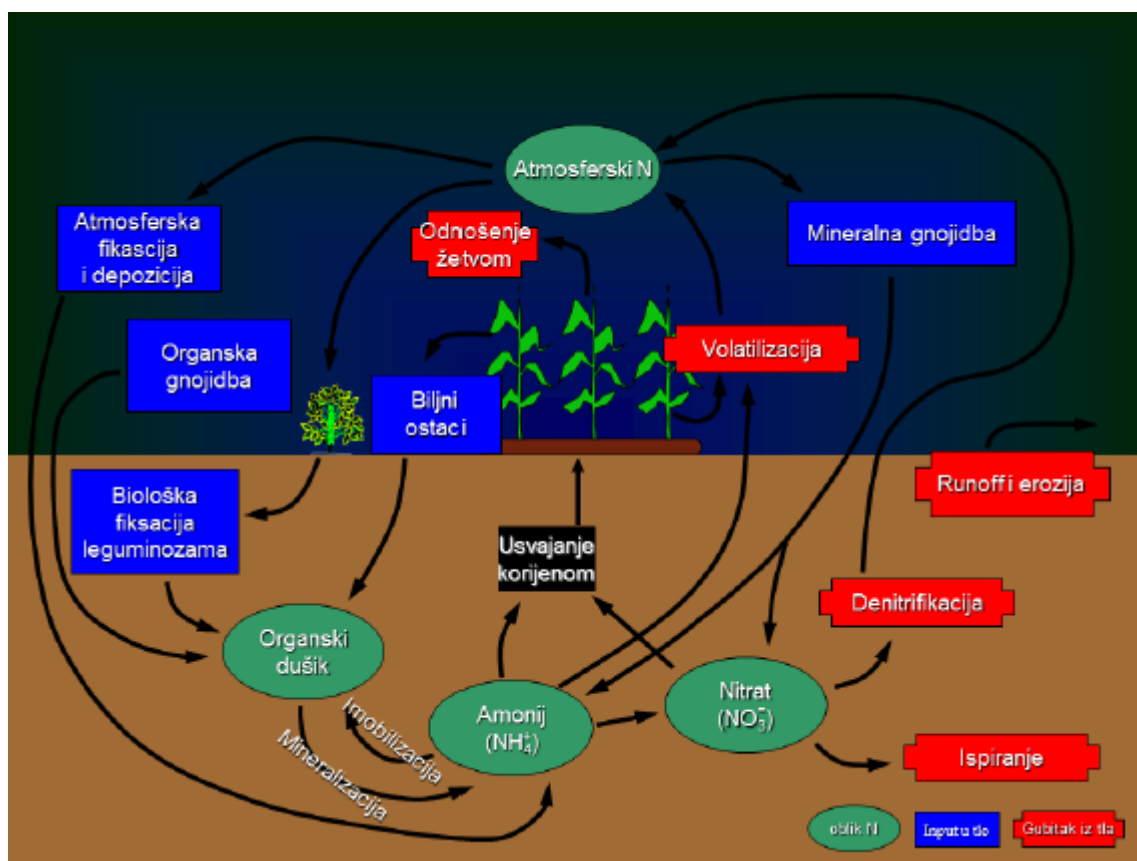
Maksimalna dopuštena koncentracija nitrata u vodi prema smjernicama Svjetske zdravstvene organizacije iznosi 50 mg/l NO_3^- , što je prihvaćeno i *Zakonom o vodi za ljudsku potrošnju (NN, 56/13; 64/15)*.

Na temu ispiranja dušika i njegovog utjecaja na podzemne vode provedena su mnoga istraživanja. **MESIĆ et al. (2003)** proveli su istraživanja utjecaja primjene različitih doza dušičnih gnojiva, u rasponu od 0 kg N/ha do 300 kg N/ha, na raspodjelu koncentracija nitrata u drenažnoj vodi, koje su varirale od 2,5 mg/l do 27,5 mg/l. Nešto kasnije **MESIĆ et al. (2009)** su prikazali gubitke dušika ispranog u drenažnoj vodi. Povišene koncentracije nitrata značajan su čimbenik u procesu eutrofikacije u obalnim područjima gdje su dušični spojevi ograničavajući faktor koji je odgovoran za onečišćenje voda (**HOWARTH & MARINO, 2006**). Prema **FOSTER (2000)** i **LEDOUX et al. (2007)**, raspršeni izvori onečišćenja, uzrokovani poljoprivrednom proizvodnjom, od polovice 20. stoljeća smatraju se glavnim uzrokom onečišćenja podzemnih voda. **NAKIĆ et al. (2001)** navode kako su najčešći antropogeni izvori onečišćenja u područjima vodocrpilišta Strmec upravo nitrati koji su dospjeli u podzemne vode poljoprivrednim aktivnostima. Poljoprivredna proizvodnja nije jedini izvor onečišćenja nitratima. Istjecanje iz septičkih jama i neodgovarajuće izgrađeni kanalizacijski sustavi, atmosferska depozicija i primjena organskih gnojiva (gnojnica, gnojevka i kruto stajsko gnojivo) također doprinose onečišćenju nitratima, kao i problemima povezanim s tim onečišćenjima (**WAKIDA & LERNER, 2005**).

Visoke koncentracije NO_3^- u površinskim i podzemnim vodama, koje prelaze granične vrijednosti definirane zakonskom regulativom, obično se povezuju s poljoprivrednom proizvodnjom. Osim poljoprivrede u RH postoje i brojni drugi izvori dušika kojim se onečišćuju vode. Jedni od mnogih su otpadne vode iz domaćinstva u mjestima gdje nisu izgrađeni sustavi odvodnje otpadnih voda i industrijske otpadne vode.

Poznato je da se gnojidba kultura vrlo često vrši bez prethodno obavljene analize tla i preporuke gnojidbe od strane struke. Najčešće se bazira na dosadašnjem iskustvu proizvođača, na okvirnim preporukama gnojidbe te navikama i smjernicama Svjetske zdravstvene organizacije (**UNDP/GEF Danube Regional project, 2004**).

U ciklusu dušika najznačajniji procesi koji utječu na koncentraciju nitrata u tlu i vodi su **adsorpcija, redukcija (denitrifikacija), precipitacija i razgradnja (slika 10.1)**.



Slika 10.1. Kruženje dušika u prirodi (prema **OBLAČIĆ, 2014**)

Na ispiranje dušika iz tla značajno utječu: raspored i intenzitet oborina, fizikalna, kemijska i biološka svojstva tla, te faza razvitka usjeva i evapotranspiracija. O količini vode koja se procjeđuje kroz tlo i koncentracijama NO_3^- u procjednoj vodi u tlu ovisi ispiranje NO_3^- iz tla.

Proces biološke oksidacije amonijevih iona, koja se odvija u dva stupnja (nitriti, nitrati), naziva se **nitrifikacija**. Mikro i makroorganizmi tla obavljaju transformaciju dušika. Kao nitratni NO_3^- ili amonijev ion NH_4^+ biljke usvajaju dušik u mineralnom obliku, zatim ga u organsku tvar ugrađuju izravno (amonijski) ili nakon denitrifikacije (nitratni oblik).

Proces redukcije nitrata u plinovite oblike (N_2O i N_2) naziva se **denitrifikacija**. Redukcija se odvija u uvjetima bez prisutnosti kisika. Pritom heterotrofne bakterije koriste kisik iz nitrata i nitrita. Prema **CANTER (1997)**, zbog visoke koncentracije kisika u atmosferi, denitrifikacija se odvija u anaerobnim okolišnim uvjetima gdje

potrošnja kisika premašuje zalihe i gdje su na raspolaganju dovoljne zalihe nitrata. **BEAUCHAMP et al. (1989)** i **KOROM (1992)** ističu da takvi uvjeti mogu nastati u vlažnim i slabopropusnim tlima ili tzv. reduktivnim mikrozonama u tlima, podzemnoj vodi, močvarnim područjima te morskim i riječnim sedimentima.

Organski vezan dušik vraća se u tlo unošenjem ostataka biljnih organizama, što predstavlja, uz organski ugljik osnovu za novi proces mineralizacije. Produkti denitrifikacije, N_2O i N_2 , otplinjavaju ili volatiliziraju pri čemu tlo gubi dio dušika.

Biološka imobilizacija mikroorganizmima, fiksacija u međulamelarnim prostorima sekundarnih minerala gline, usvajanje biljkama, oksidacija do nitrata i nitrita preko mikrobiološkog procesa nitrifikacije, gubitak u plinovitom obliku volatilizacijom u atmosferu su sve procesi gdje je dušik u tijeku kruženja podložan različitim transformacijama. U nitratnom obliku u oraničnom sloju tla, u dubljim horizontima te općenito u ekosustavima dušik je izrazito mobilan i peizistentan, te može predstavljati značajno opterećenje za okoliš.

Čovjek na navedene procese može znatno utjecati agrotehničkim mjerama. Prema **LONČARIĆ et al. (2014)** navedenu ulogu čovjek može ostvariti kroz slijedeće mjere:

- optimalnu gnojidbu dušikom;
- unošenje organske tvari u tlo (organska gnojidba);
- održivo gospodarenje žetvenim ostacima;
- održavanje optimalne vlažnosti tla;
- održavanje optimalnog pH tla u rasponu od slabo kisele do neutralne reakcije;
- osiguravanje optimalnih uvjeta za razvoj korijena usjeva;
- uzgoj leguminoza;
- kontrolu mineralizacije organske tvari primjerenim sustavom obrade tla;
- sprečavanje erozije;

10.1.1 Analiza potrošnje dušika mineralnih i organskih gnojiva

Mineralna gnojiva koja se koriste u najvećim količinama u RH su: amonijev nitrat (NH_4NO_3), kalcij amonijev nitrat (KAN), urea i urea amonijev nitrat (UAN) **(UNDP/GEF)DANUBE REGIONAL PROJECT, 2010).**

Detaljni izračun potrošnje N iz mineralnih i organskih gnojiva izrađen je za 2000. godinu i prikazan je u studiji *„Procjena stanja, uzroka i veličine pritiska poljoprivrede na vodne resurse i more na području RH“* **(MESIĆ et al., 2002).**

Potrošnja gnojiva prema Statističkom ljetopisu ne omogućava detaljan uvid u prostorni raspored potrošnje gnojiva, kao ni potrošnju mineralnih gnojiva prema kulturama tako da su za rad korišteni podaci iz studije: *„Utjecaj poljoprivrede na onečišćenje površinskih i podzemnih voda u RH“* **(ROMIĆ et al., 2014).**

Temeljem prikazanih podataka na istraživanom prostoru za razdoblje od 2000. do 2012. godine utvrđeno je da se na području Vukovarsko-srijemske županije potrošnja mineralnih gnojiva smanjila s 16.347 t/god na 14.530 t/god, a povećala se potrošnja organskih gnojiva sa 2.639 t/god na 4.031 t/god. Na području Brodsko-posavske županije potrošnja mineralnih gnojiva se povećala sa 7.695 t/god na 10.733 t/god a potrošnja organskih gnojiva se smanjila s 2.613 t/god na 2.372 t/god. Ukupna količina N u 2012. godini veća je od one primijenjene u 2000. godini za 2.371 t/god, dok se u Vukovarsko-srijemskoj županiji smanjila za 425 t/god u Brodsko-posavskoj županiji se povećala za 2.796 t/god. Najveća količina N na istraživanom prostoru se primjenjuje za prihranjivanje kukuruza oko 9.235 t/god, za šećernu repu, suncokret i soju za otprilike oko 1.700 t/god, a nešto manje za voćnjake, krmno i povrtno bilje.

Na širem promatranom području regionalnog crpilišta, koje se nalazi na području Federacije Bosne i Hercegovine primarna proizvodnja prije rata od 1992. do 1995. godine bila je usmjerena na proizvodnju ratarskih kultura: kukuruza, silažnog kukuruza, merkatilne pšenice, šećerne repe, soje, uljane repice i graha, zatim na tovnj uzgoj junadi, teladi, svinja i pilića te na proizvodnju mlijeka. Struktura današnje poljoprivredne proizvodnje slična je onoj predratnoj, ali je opseg proizvodnje prepolovljen. Prema procjeni stručnjaka za poljoprivredu, na promatranom prostoru

ne postoji kontrola i statistička evidencija primjene mineralnih gnojiva, kao i stajnjaka (čvrstog ili tekućeg) koji se koriste u poljoprivrednoj praksi, bez obzira što ono ima izravan utjecaj na stanje životne sredine kao i na kakvoću podzemnih i površinskih voda.

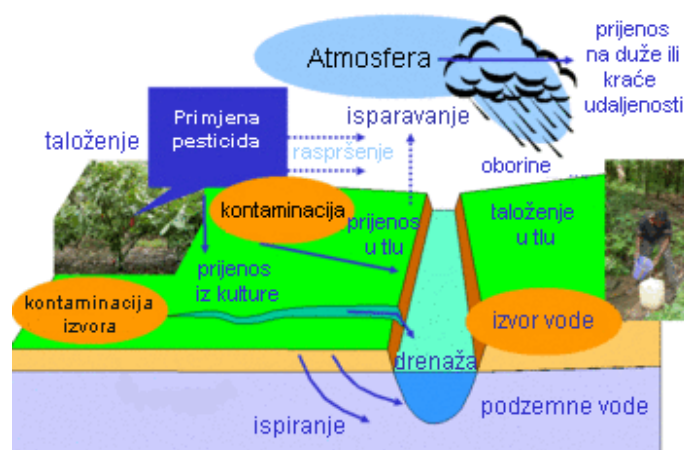
10.2. Pojave pesticida u okolišu

Pesticidi su kemijska i mikrobiološka sredstva koja se upotrebljavaju širom svijeta već više od 60 godina za suzbijanje, uništavanje uzročnika biljnih bolesti, korova, ili za reguliranje rasta biljaka. Dolaze u različitim oblicima kao što su tekućine, prašak, granule, impregnirane kuglice, tablete, trake i koncentрати. Pesticidi nalaze svoju primjenu ponajprije u poljoprivredi, kućanstvima i ribnjacima.

Prema kemijskom sastavu pesticidi se dijele na **(AŠPERGER et al, 2013)**:

- Neorganske tvari, koje potječu iz biljaka, bakterija i gljiva;
- Organske sintetske tvari:
 - Organoklorirani pesticidi,
 - Organofosforni pesticidi,
 - Triazini,
 - Derivati fenolsi-ugljične kiseline,
 - Piretroidi i dr.

Ovisno o načinu primjene pesticidi, mogu završiti u biljkama, u tlu i vodi, ili u atmosferi te se pri tom prenositi na manje ili veće udaljenosti. Isparavanje pesticida je moguće nakon njihove primjene. Ispiranje pesticida, odnosno intenzitet ispiranja, ovisi o kemijskim značajkama pesticida te vlažnosti (tla, biljaka, atmosfere), topljivosti pesticida u vodi, tlaku i temperaturi zraka i vjetru prilikom i nakon primjene pesticida.



Slika 10.2. Kruženje pesticida u okolišu (prema **IVIĆ & GALOVIĆ, 2013**)

Dugogodišnjom primjenom pesticida smanjuje se kvaliteta tla, narušava se bioraznolikost, a zbog dužeg zadržavanja u tlu dolazi do smanjenja razgradnje pesticida (**IVIĆ & GALOVIĆ, 2013**). Nekontrolirana upotreba pesticida može rezultirati prisutnošću rezidualnih koncentracija pesticida u okolišu.

Prema **KUBIAK et al. (2008)**, pesticidi u vodu mogu dospjeti:

- širenjem izvan područja na kojem se nalaze,
- otjecanjem procjednih voda u rijeke, jezera ili podzemne vode,
- ispiranjem tla i otjecanjem u podzemne vode te,
- slučajnim ili namjernim izlivanjem ili ispuštanjem u vodu.

ĐUROVIĆ (2011) ističe da na sudbinu pesticida u životnoj sredini utječu procesi koji se mogu grupirati u tri cjeline: **adsorpciju** - vezivanje pesticida za mineralnu i organsku tvar zemljišta, **degradaciju** - razgradnju molekula do koje dolazi uslijed kemijskih, fotokemijskih i mikrobioloških transformacija i **transport** - kretanje pesticida u životnoj sredini.

Bioakumulacija pesticida u okolišu raste s njihovom postojanošću. Zbog isparavanja i mogućnosti prijenosa atmosferom, koncentracije pesticida u okolišu mogu poprimiti vrijednosti koje su i do 70.000 puta veće od početnih koncentracija (**IVIĆ & GALOVIĆ, 2013**). Prema *Direktivi o pitkoj vodi (98/83/EC)*, granična vrijednost za pojedinačni pesticid u pitkoj vodi iznosi 0,1 µg/l, dok ukupna dozvoljena koncentracija pesticida u pitkoj vodi iznosi 0,5 µg/l. U prirodi može doći do pojave prirodne biorazgradnje pesticida u biljkama i životinjama, u vodi i tlu, zbog djelovanja

mikroorganizama te zbog utjecaja UV-zračenja (**VARGAS, 1975**). Primarna razgradnja, ekološki prihvatljiva razgradnja i potpuna razgradnja su tri tipa biorazgradnje pesticida. Primarni oblik biorazgradnje javlja se kada pesticidi gube svoja specifična svojstva, dok kod ekološki prihvatljivog oblika razgradnje pesticidi gube svojstva koja štetno utječu na okoliš. Po načinu ispuštanja pesticida u okoliš ekološki prihvatljiva razgradnja razlikuje se od primarnog oblika razgradnje. Prema **PORTO et al. (2011)** prilikom potpune razgradnje pesticida dolazi do nastajanja jednostavnih molekula, kao što su ugljikov dioksid, metan, voda i dr.

U nastavku rada opisano je ponašanje lindana kao jednog od pesticida koji ima vrlo čestu primjenu na istraživanom području.

Lindan ili γ -heksaklorocikloheksan (γ -HCH), organsko sintetski bezbojni (bijeli) kristalni prah, spada u kategoriju organoklornih insekticida. Koristi se u poljoprivredi, ali i kao sredstvo protiv ušiju i svraba u obliku losiona, krema i šampona. Lindan je vrlo isparljiv, s obzirom da ima visok tlak para. Prilikom upotrebe, oko 20 - 30 % lindana ispari u atmosferu eolskom erozijom onečišćenog tla, volatilizacijom s tretiranih površina te s lišća tretiranog bilja.

U površinske vode najčešće dopijeva površinskim otjecanjem s poljoprivrednih površina, kišom, snijegom ili odlaganjem suhih čestica iz zraka. Relativno je dobro topiv u vodi, te se u vodi biorazgrađuje. Vrijeme poluživota u rijekama i jezerima se kreće u rasponu od 3 do 300 dana, a na sedimentu oko 90 dana. Nakon što lindan dospije u tlo može se adsorbirati na čestice tla, ispariti u atmosferu, adsorbirati u biljke ili izlužiti u podzemnu vodu. Vrijeme poluživota lindana ovisi o temperaturi, tako da mu je vrijeme zadržavanja u tlu u toplijim pojasevima znatno kraće. Prosječno vrijeme poluživota lindana je 120 dana. U atmosferi se lindan u prosjeku zadržava 119 dana (**ATKINS & EGGLETON, 1971**). Lindan se uglavnom zadržava u gornjim slojevima tla.

Registriran je kao insekticid 1940. godine. Budući da spada u skupinu spojeva koji su vrlo postojani u prirodi i predstavlja značajnu prijetnju ljudskom zdravlju i okolišu Stockholmskom konvencijom iz 2009. godine zabranjen je u 52 zemlje. Upotreba mu je ograničena ili strogo ograničena u 33 zemlje, a registriran je u 17 zemalja.

10.2.1. Analiza potrošnje pesticida

U ovom poglavlju korišteni su podaci objavljeni u studiji „*Utjecaja poljoprivrede na onečišćenja površinskih i podzemnih voda*“ (ROMIĆ et al., 2014.).

U RH je trenutno službeno registrirano 211 aktivnih tvari pesticida na osnovi kojih je registrirano 704 pripravaka. U 2012. godini ukupno je utrošeno 2.205.186 kg aktivne tvari pesticida. Pesticidi za kontrolu korova (herbicidi) u ukupnoj potrošnji sudjelovali su sa 46,8 %, pesticidi za kontrolu gljivičnih oboljenja (fungicidi) sudjelovali su sa 50,2 %, pesticidi za kontrolu infestacije insektima u poljoprivredi (zoocidi) sa 3 %. Ukupno obrađeno zemljište u RH iznosi 1.116.326 ha. Ukupna potrošnja aktivne tvari pesticida po hektaru u RH iznosi 2 kg. Važan utjecaj na ukupnu potrošnju pesticida ima udio pojedine kulture u strukturi poljoprivredne proizvodnje i udio potrošnje po kulturi. Kukuruz i sitne žitarice su dominantne kulture u poljoprivrednoj proizvodnji RH i zauzimaju oko 65 % obradivog zemljišta. Najveći udio s gledišta potrošnje pesticida imaju vinogradi 30,1 %, voćnjaci 18,3 %, i kukuruz 17,4 %. Na ove kulture otpada oko 66 % ukupne potrošnje pesticida. U odnosu na prosječnu potrošnju pesticida od 2 kg aktivne tvari po ha, relativno visoku potrošnju ima duhan (4,76 kg/ha), šećerna repa (3,79 kg/ha) i krumpir (3,92 kg/ha) dok potrošnja pesticida po hektaru kukuruza iznosi 0,92 kg.

Potrošnja pesticida u županijama u kojima se nalazi istraživano područje izračunata je temeljem osnovnih udjela pojedine kulture u strukturi poljoprivredne proizvodnje županije i udjela ukupne potrošnje pesticida u pojedinoj kulturi. Ukupna potrošnja pesticida Vukovarsko-srijemske županije iznosi 203.661 kg, odnosno 10,26 % od ukupne potrošnje pesticida u RH, zbog površinski najveće poljoprivredne proizvodnje, dok je u Brodsko-posavskoj županiji nešto niža potrošnja koja iznosi 110.039 kg, odnosno 5,54 % od ukupne potrošnje pesticida u RH. Prema procjeni stručnjaka za poljoprivredu u FBiH, s obzirom da ne postoji kontrola i statistička evidencija, ukupan utrošak pesticida, koji se najviše koriste za kukuruz, pšenicu, povrće i industrijsko bilje, godišnje jest: herbicida oko 5.000 litara, insekticida oko 2.000 litara i fungicida oko 2.000 litara (ĆERIĆ et al., 2008).

10.3. Ocjena specifične ranjivosti COP metodom

Za ocjenu specifične ranjivosti šireg područja crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci na nitrate i pesticide izabrana je COP metoda. Razlog tome je što je COP metoda, koja je najmlađa od svih metoda ocjene ranjivosti primijenjenih u ovom radu, razvijena u Španjolskoj u razdoblju od 2001. do 2002. godine na Sveučilištu u Malagi, u sklopu projekta COST 620 i potpuno je konceptom i terminologijom usklađena s „Europskim pristupom“ procjene ranjivosti. Za ocjenu specifične ranjivosti, osim navedenih, potrebno je odrediti i dodatni faktor, specifični faktor S. Značenje i detaljne upute za njegovu procjenu prikazane su u poglavlju 10.3.2. (VIAS et al., 2002, 2006).

10.3.1. Procjena prirodne ranjivosti COP metodom

Procjena prirodne ranjivosti COP metodom zasniva se na vrednovanju tri faktora koji opisuju prirodnu ranjivost vodonosnika: faktoru krovinskih naslaga (O), faktoru koncentracije toka (C) i faktoru oborina (P). Definicija svakog od navedenih faktora detaljno je objašnjena u nastavku.

Faktor krovinskih naslaga (O) kvalitativno opisuje utjecaj razrjeđenja i zadržavanja onečišćivala kroz nesaturiranu zonu vodonosnika. Kombinacijom značajki tla (O_s) i litološke građe nesaturirane zone (O_L) procjenjuje se faktor krovinskih naslaga (O). Navedeni postupak odvija se u šest koraka prikazanih u tablicama u nastavku rada.

Tablica 10.1. Prikaz određivanja O_s faktora (prema VIAS et al., 2006) **O_s - UTJECAJ TLA****I KORAK**

GLINENO TLO	> 30% GLINE
PRAŠKASTO TLO	>70% PRAHA
PJESKOVITO TLO	PIJESAK >70%
	GLINA ≤ 15%
ILOVAČA	OSTALO

II KORAK

→ DEBLJINA	TEKSTURA			
	GLINENO	PRAŠKASTO	ILOVAČA	PJESKOVITO
>1.0 m	5	4	3	2
0,5-1 m	4	3	2	1
<0,5 m	3	2	1	0

Tablica 10.2. Stupanj litologije i razlomljenosti L_Y (prema VIAS et al., 2006) **O_L UTJECAJ LITOLOGIJE****III KORAK**

LITOLOGIJA I RAZLOMLJENOST	L_Y
Gline	1500
Prahovi	1200
Lapori, kompaktni metapoliti i magmatske stijene	1000
Laporoviti vapneneci	500
Raspucani metapeliti i magmatske stijene	400
Kompaktno ili čvrsto vezani konglomerati breče	100
Pješčenjaci	60
Raspucani ili slabo vezni	40
Pjesci i šljunci	10
Propusni bazalti	5
Raspucane karbonatne stijene	3
Okršene stijene	1

Tablica 10.3. Vrijednost indeksa sloja (prema VIAS et al., 2006)

IV KORAK

INDEKS SLOJA	VRIJEDNOST
0-250	1
250-1000	2
1000 - 2 500	3
2500-10000	4
> 10 000	5

Tablica 10.4. Stupanj zatvorenosti vodonosnika c_n (prema VIAS et al., 2006)

V KORAK

STUPANJ ZATVORENOSTI VODONOSNIKA	c_n
Zatvoreni	2
Poluzatvoreni	1,5
Otvoreni	1

Tablica 10.5. Prikaz određivanja O faktora (prema VIAS et al., 2006)

VI KORAK

FAKTOR O	STUPANJ ZAŠTITE
1	vrlo niska
2	niska
2-4	srednja
4-8	visoka
8-15	vrlo visoka

Naslage u kojima se mogu očekivati procesi zadržavanja onečišćenja i smanjenja ranjivosti podzemnih voda opisuje **podfaktor utjecaja tla (O_s)**. Značajke tla koje se pri tome uzimaju u obzir su sastav, tekstura i debljina tla (**koraci I i II, tablica 10.1**). Vrijednost $O_s=0$ dodjeljuje se područjima u kojima nema prisutnog tla.

Podfaktor utjecaja litologije (O_L) definira svojstva zadržavanja onečišćenja za svaki sloj stijena unutar nesaturirane zone. Kriterij za određivanje podfaktora utjecaja litologije su: vrsta stijene, stupanj razlomljenosti i debljina svakog pojedinog sloja (**L_y**

– **korak III, tablica 10.2).** Indeks sloja po dubini nesaturirane zone za svaku točku istraživnog prostora definira se sumiranjem umnoška navedenih parametara (formula 10.1.).

$$\text{Indeks sloja} = \Sigma(L_y \times m) \quad (10.1.)$$

gdje su:

L_y - vrsta stijene i stupanj razlomljenosti

m – debljina svakog pojedinog sloja

Postupak sumiranja slojeva sličan je onom u AVI metodi (**VAN STEMPOORT et al., 1993**).

U jednu od pet klasa se razvrstava dobiveni indeks sloja i očitava se vrijednost u rasponu od 1-5 (**korak IV, tablica 10.3**), koji se zatim množi s parametrom stupnja zatvorenosti vodonosnika (**cn - korak V, tablica 10.4**). Dobiveni rezultat je podfaktor O_L (formula 10.2.).

$$O_L = \text{vrijednost Indeksa sloja} \times \text{cn} \quad (10.2.)$$

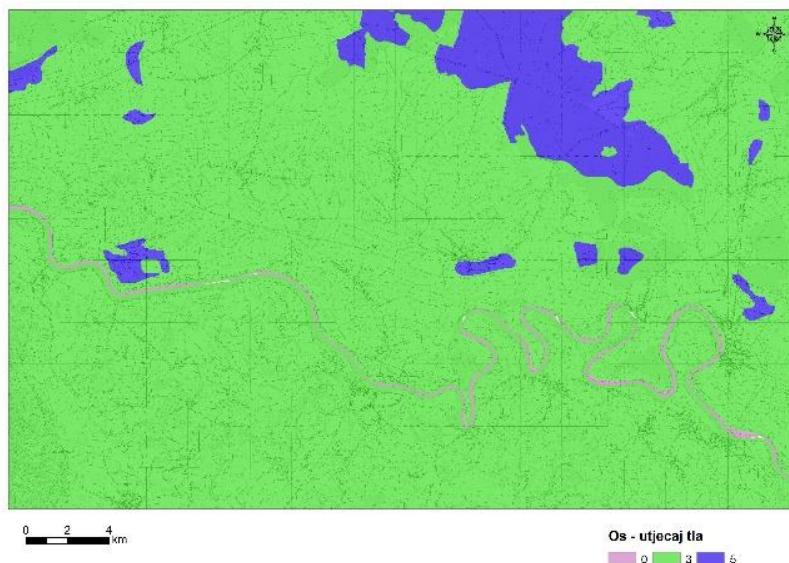
gdje je:

cn =parametar stupnja zatvorenosti vodonosnika

Zbrajanjem podfaktora O_s i O_L dobiva se vrijednost faktora O , koja se opisuje jednom od pet kategorija (**korak VI, tablica 10.5**).

Kod procjene faktora O na području istraživanja poštivane su sve upute ranije opisane metodologije te je podfaktor utjecaja tla definiran sukladno koracima I i II. Područjima na kojima je dominantna ilovača dodijeljena je vrijednost 3, a područjima

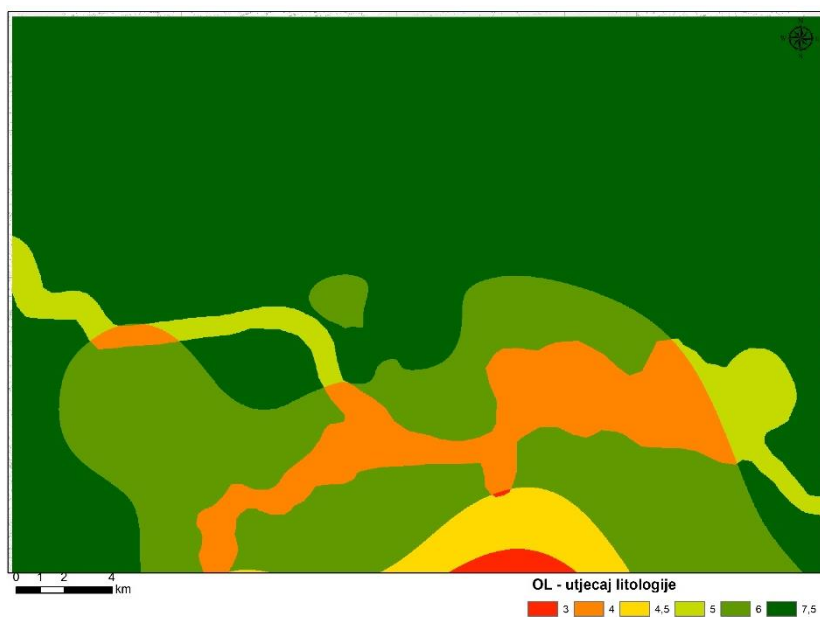
na kojima je pretežito glinovita tekstura vrijednost 5. Dio kojim teče rijeka Sava dobio je vrijednost 0 (**slika 10.3**).



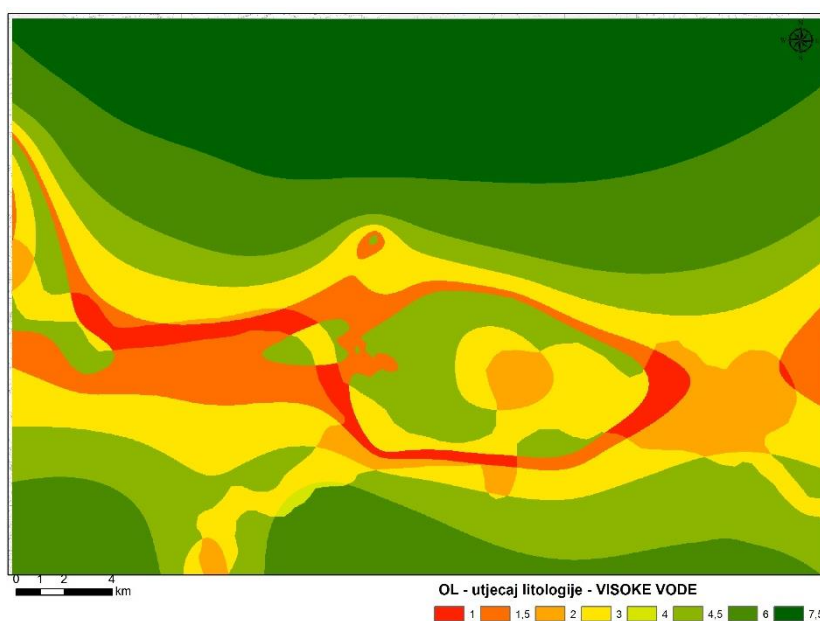
Slika 10.3. Podfaktor utjecaja tla

O_L - podfaktor utjecaja litološke građe i uvjeta, koji je dobiven množenjem vrijednosti pojedinog litološkog člana (za slabopropusne naslage - mješavinu glina i prahova iznosi 1.300, a za dobropropusne naslage - pijeske i šljunke iznosi 10) s debljinom svakog pojedinog sloja. U nastavku su prikazani rezultati usporedne analize utjecaja uvjeta visokih i niskih podzemnih voda na prirodnu ranjivost (**slika 10.4 A i B**).

A)



B)



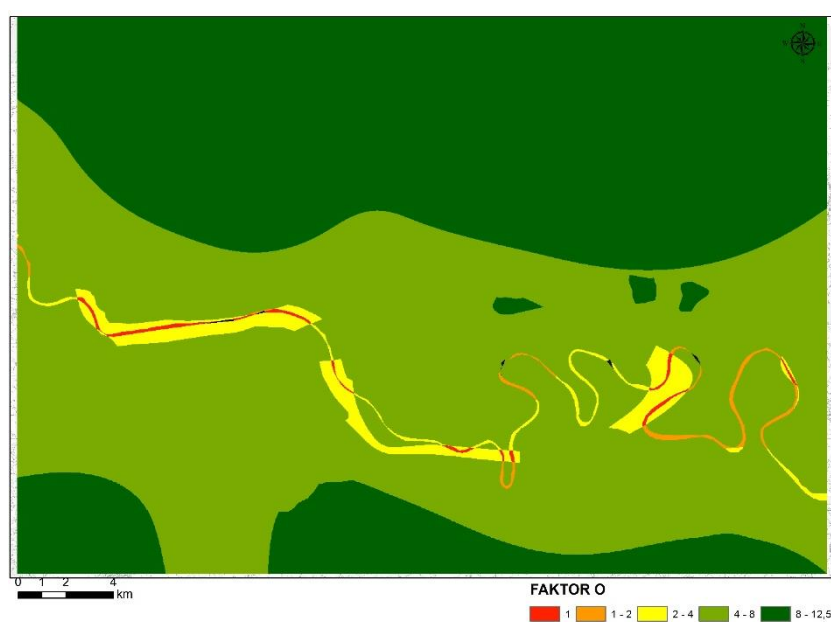
Slika 10.4. Podfaktor utjecaja litologije u vrijeme A) niskih voda i B) visokih voda

Postupkom kombiniranja podataka dobiven je faktor krovinskih naslaga COP metode, primijenjene na području istočne Slavonije, u vrijeme niskih i visokih razina podzemnih voda (**slika 10.5 A i B**).

A)



B)



Slika 10.5. Faktor pokrovnih naslaga O u slučaju A) niskih voda i B) visokih voda

Površinske uvjete koji kontroliraju površinsko otjecanje opisuje **faktor koncentracije toka (C)**. Faktor koncentracije toka predstavlja koncentraciju površinskog otjecanja koja omogućuje izravnu infiltraciju oborina, izbjegavajući pri tome naslage

nesaturirane zone i njihovu zaštitnu funkciju. Scenariji za procjenu faktora C su (**VIAS et al., 2006**):

- a) *scenarij 1* - zona koncentriranog prihranjivanja vodonosnika kroz ponore – ovisi o udaljenosti od ponora, udaljenosti od površinskog toka koji ponire i kombinacije nagiba terena i vegetacije. Umnožak ta tri podfaktora daje faktor C. Navedeni scenarij nije primjenjiv na području istraživanja
- b) *scenarij 2* - područja s plošnim prihranjivanjem (**tablica 10.6**) – opisuje istraživano područje s plošnim prihranjivanjem. Ovdje, faktor koncentracije toka (C) predstavlja umnožak podfaktora:
 - površinskih značajki u prihranjivanju vodonosnika (sf) i
 - utjecaja nagiba i vegetacije (sv)

$$C = (sf) \times (sv) \quad (10.3.)$$

Površinske značajke u prihranjivanju vodonosnika (sf) procjenjuju se kombinacijom uloge prisutnosti površinskih naslaga i prisutnosti krških obilježaja (**korak VII, tablica 10.6**). Podfaktor (sv) je kombinacija utjecaja nagiba terena i vegetacije (**korak VIII, tablica 10.7**).

Tablica 10.6. Prikaz određivanja značajki prihranjivanja u vodonosniku sf (prema VIAS et al., 2006)

VII KORAK	POVRŠINSKE NASLAGE		
OBILJEŽJA KRŠA	NEMA	PROPUSNE	NEPROPUSNE
Razvijen krš	0,25	0,25	0,75
Slabo razvijeni ili disolucijski krš	0,5	0,75	1
Pukotinski krš	0,75	0,75	1
Nema krša	1	1	1

Tablica 10.7. Prikaz utjecaja nagiba terena i vegetacije sv (prema VIAS et al., 2006)

VIII KORAK		
NAGIB	VEGETACIJA	sv
≤ 8 %	nem	0,75
8-31 %	mnogo	0,8
	malo	0,85
31-76 %	mnogo	0,9
	malo	0,95
> 76 %	nema	1

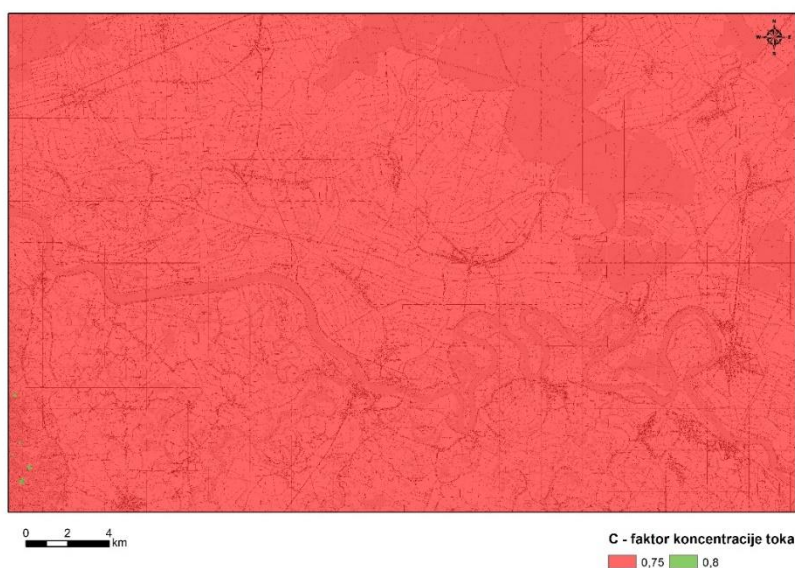
Konačna karta C faktora dobiva se procjenom vrijednosti faktora koncentracije toka C u jednu od pet klasa od vrlo visoke do vrlo niske redukcije zaštitne uloge pokrovnih naslaga (**korak IX, tablica 10.8**).

Tablica 10.8. Prikaz klasifikacije C faktora (prema VIAS et al., 2006)

IX KORAK	
FAKTOR C	STUPANJ SMANJENJA ZAŠTITE
0-0,2	vrlo visoki
0,2-0,4	visoki
0,4-0,6	srednji
0,6-0,8	niski
0,8-1	vrlo niski

→ C KARTA

Kod procjene faktora C za istraživano područje, u potpunosti je korišten scenarij 2. Na području istraživanja nema mjesta koncentriranog uviranja vode s površine terena u podzemlje, niti okršanih dijelova slivnog područja. Stoga je za izradu karte faktora koncentracije toka C, isključivo korišten podfaktor (sv) kombinacija nagiba terena i prisutne vegetacije. Budući da je topografija pretežito ravničarska, cijelo područje spada u kategoriju nagiba manjeg od 8 % . Konačni prikaz faktora koncentracije toka C prikazan je na **slici 10.6**.



Slika 10.6. Prostorni raspored faktora koncentracije toka *C*

Faktorom oborina (*P*) izražava sposobnost vode da prenese onečišćenje kroz nesaturiranu zonu do vodnog lica. Količina oborina (P_Q) i intenzitet oborina (P_I) su dva obilježja koja određuju količinu infiltracije i služe za procjenu faktora *P*. Vrijednost P_Q se određuje preko prosječne količine oborina u vlažnoj godini i svrstava se u pet klasa (**korak X, tablica 10.9**). P_I podfaktor je vremenska raspodjela oborina kroz godinu, a dobije se tako da se prosječna godišnja količina oborina podjeli s brojem kišnih dana u godini.

$$\text{Intenzitet oborina} = P \text{ (mm/god)} / \text{broj kišnih dana} \quad (10.4.)$$

Rezultat se uvrštava u jednu od tri klase (**korak XI, tablica 10.10**) i očitava se vrijednost intenziteta oborina.

Zbrajanjem podfaktora količina oborina P_Q i intenziteta oborina P_I dobiva se vrijednost ukupnog faktora oborina *P*.

$$P = P_Q + P_I \quad (10.5.)$$

Tablica 10.9. Određivanje faktora P_Q (prema VIAS et al., 2006) **P_Q - količina oborina****X KORAK**

OBORINE* (mm/god)	P_Q
> 1 600	0,4
1 200 - 1 600	0,3
800 - 1 200	0,2
400 - 800	0,3
< 400	0,4

* Prosječno oborina u vlažnoj godini

Vlažna godina $\geq (0,15 \cdot x) + x$

x= prosječne godišnje količine oborina

Tablica 10.10. Određivanje faktora P_I (prema VIAS et al., 2006) **P_I - intenzitet oborina****XI KORAK**

INTENZITET (mm/dan)	P_I
< 10	0,6
(10 - 20)	0,4
> 20	0,2

Tablica 10.11. Određivanje faktora P (prema VIAS et al., 2006)**XII KORAK**

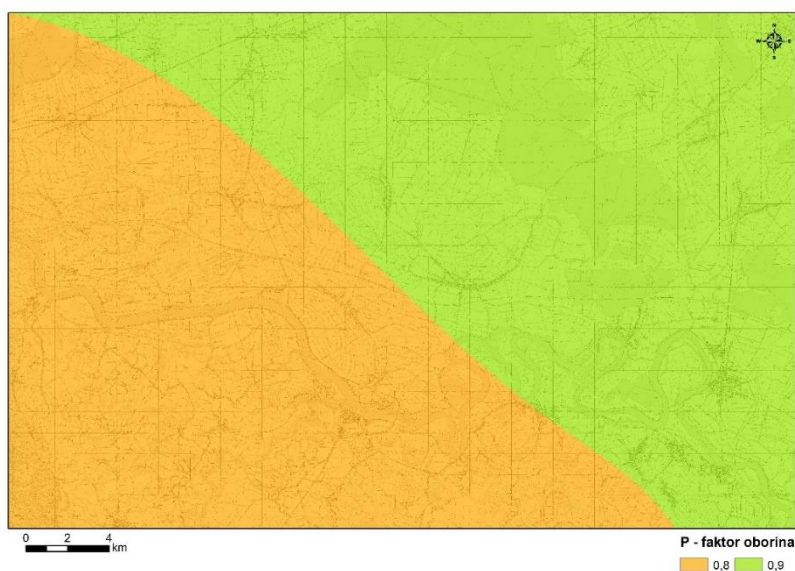
FAKTOR P	STUPANJ SMANJENJA ZAŠTITE
0,4 - 0,5	vrlo visoki
0,6	visoki
0,7	srednji
0,8	niski
0,9 - 1	vrlo niski

→ P karta

Dobiveni konačni faktor P se svrstava u pet klasa, prema koraku XII prikazanom u tablici 10.11.

Za potrebe izračuna P faktora na području Istočne Slavonije, uzeti su podaci o oborinama i broju kišnih dana iz Klimatskog atlasa Republike Hrvatske (**ZANINOVIĆ, et al., 2008**). Prema metodologiji (**korak X, tablica 10.9**), a s obzirom na izdvojene prosječne količine oborina od 686,5 mm/god do 876,5 mm/god, prisutne su dvije klase podfaktora količina, P_Q . Za intenzitet oborina uzeta je vrijednost 100 kišnih dana u godini (**ZANINOVIĆ, et al., 2008**), što čitavo područja stavlja u jednu kategoriju podfaktora P_I , i to za vrijednost 0,6, što odgovara < 10 mm/dan oborine (**korak XI, tablica 10.10**).

Konačna vrijednost faktora P dobivena je zbrajanjem ova dva podfaktora (formula 10.5.). Dobivene vrijednosti od 0,8 tj. 0,9 faktora oborina predstavljaju vrlo nizak stupanj umanjjenja zaštite (**korak XII, tablica 10.11**). **Slika 10.7** prikazuje prostorni raspored faktora oborina na području istraživanja.



Slika 10.7. Prostorni raspored faktora P

Faktor O ima vrijednosti od 0 do 15 (**korak VI, tablica 10.3**), faktor C od 0 do 1 (**korak IX, tablica 10.8**) te faktor P od 0,4 do 1 (**korak XII, tablica 10.11**). Faktor O predstavlja zaštitnu ulogu krovinskih naslaga, dok je faktori C i P uslijed svojih obilježja umanjuju. Množenjem ta tri faktora dobiva se konačni indeks COP (formula 10.5.). Ranjivost vodonosnika COP metodom se prikazuje na karti i razlikuju se pet

različitih klasa ranjivosti, ovisno o rasponima ukupnog COP indeksa, od vrlo niske do vrlo visoke (**korak XIII, tablica 10.12**) .

$$\text{COP indeks} = \text{faktor C} \times \text{faktor O} \times \text{faktor P} \quad (10.5.)$$

Tablica 10.12. Prikaz određivanja COP indeksa i klasa ranjivosti (prema **VIAS et al., 2006**)

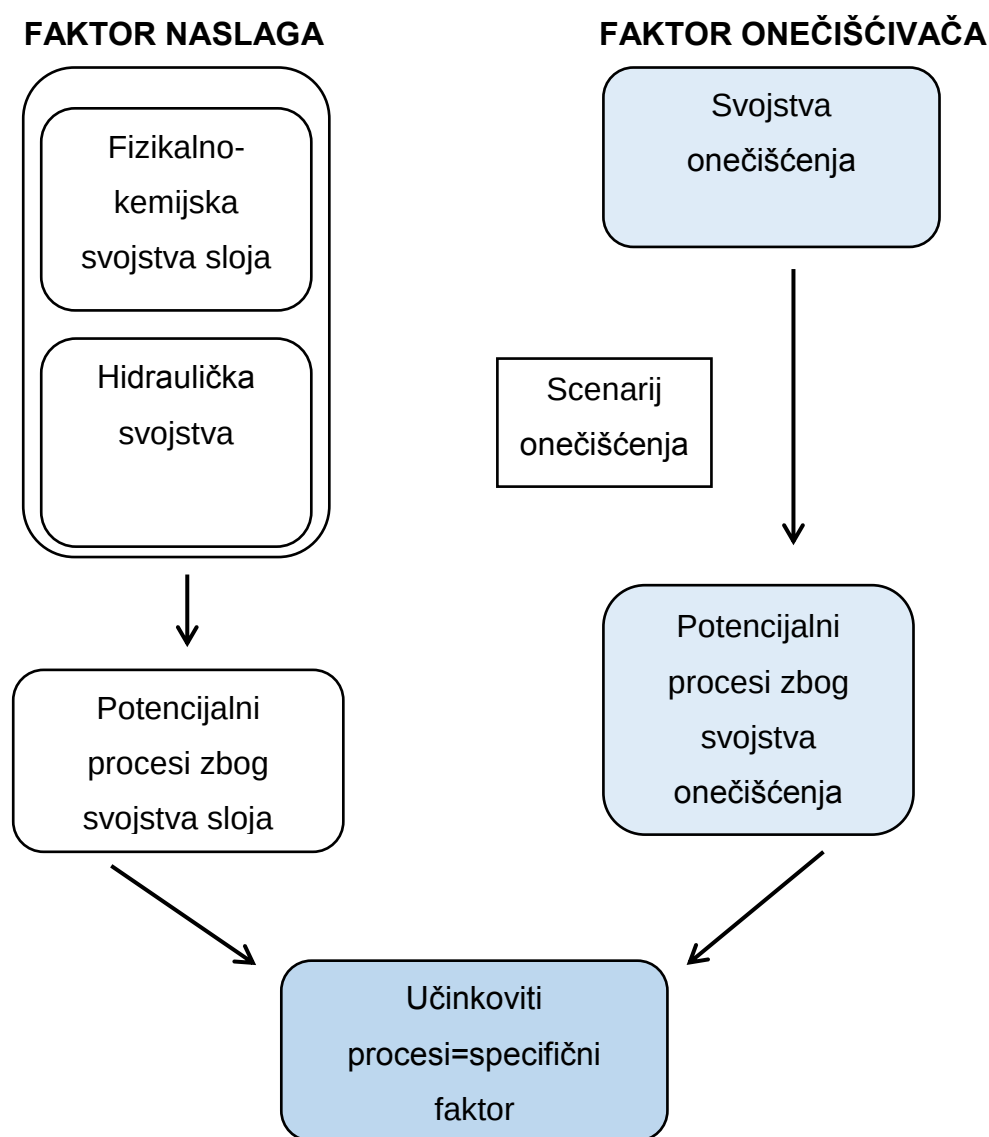
XII KORAK			
COP INDEKS	KLASA RANJIVOSTI		
0 - 0,5	Vrlo visoka		
0,5 - 1	Visoka		
1 - 2	Srednja	→	COP karta
2 - 4	Niska		
4 - 15	Vrlo niska		

Na istraživanom području, prema rezultatima procjene prirodne ranjivosti metodom COP, što je vidljivo na kartama ranjivosti (**prilozi 9 i 10**) zaštitna uloga pokrovnih naslaga je vrlo izražena, što je svakako posljedica velike debljine slabopropusnih slojeva iznad razine podzemne vode. Također, i ostala obilježja, kao što su nagib terena i vegetacija prisutna na istraživanom području ne umanjuju doprinos zaštitne uloge pokrovnih naslaga. Iako u vrijeme visokih voda ranjivost raste u središnjem dijelu područja istraživanja, gdje je smješteno i crpilište „Istočna Slavonija“ Sikirevci, uslijed smanjenja debljine zaštitnih pokrovnih naslaga (iz kategorije vrlo niske ranjivosti u nisku), to ipak nije kritična situacija prema preporukama COP metode. Na temelju rezultata procjene prirodne ranjivosti, koji ukazuju na jako dobru zaštitnu funkciju pokrovnih naslaga, specifična ranjivost u nastavku ovog rada će se odrediti samo za nepovoljniji slučaj onečišćenja, odnosno za manje debljine nezasićene zone tj. za slučaj visokih voda.

10.3.2. Specifični faktor S za onečišćenje od nitrata i lindana

Osnova za procjenu specifične ranjivosti je ocjena prirodne ranjivosti vodonosnog sustava kojoj se dodaje faktor **S – specifični faktor**.

Specifični faktor predstavlja značajke stijene i mogući kapacitet koji će dovesti do sniženja onečišćenja. Specifični faktor se temelji na izračunavanju faktora naslaga i faktora onečišćivača, te je prilikom njegova izračuna potrebno uzeti u obzir i specifične procese nastale zbog svojstva tla i svojstva onečišćenja (**slika 10.8**).



Slika 10.8. Specifični faktor S

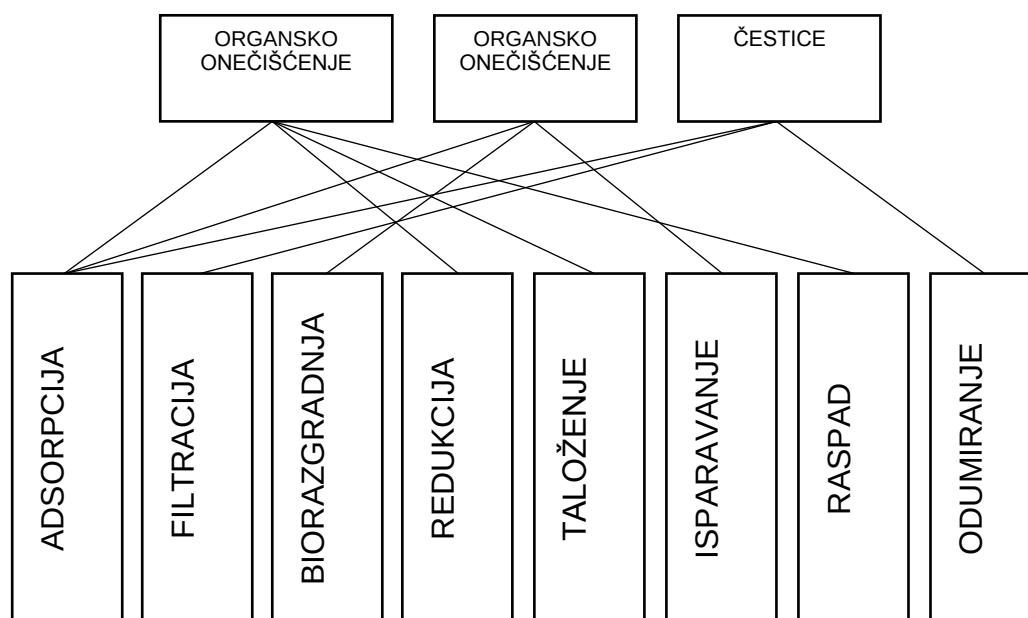
Faktor pokrovnih naslaga se odnosi na opis sastava i debljine pokrovnih naslaga, nesaturirane i saturirane zone vodonosnika. Hidraulička vodljivost stijenske mase je vrlo važan parametar o kojem ovisi vrijeme zadržavanja vode i sniženje onečišćenja u protoku vode kroz naslage. Glavna svojstva tla i nevezanog potpovršinskog sedimenta koja utječu na specifičnu ranjivost su:

- sadržaj prirodne organske tvari (utječe na adsorpciju teških metala, i organskih onečišćivala);
- sadržaj i sastav glina (utječe na adsorpciju metala i ionsku zamjenu);
- kapacitet kationske zamjene CEC;
- sadržaj Fe, Mn i Al-oksida i hidroksida (utječe na smanjenje teških metala u zbog adsorpcije);
- sadržaj karbonata – utječe na vezivanje teških metala i fosfata;
- granulometrijski sastav stijene;
- pH - povećanjem pH povećava se mogućnost adsorpcije;
- redoks potencijal (utječe na mobilnost tvari) i
- temperatura (povećanje temperature pojačava djelovanje procesa).

Faktor onečišćivača podrazumijeva fizička i kemijska svojstva onečišćivača i određuje je li supstanca spremna biti podvrgnuta specifičnim procesima. Svaki onečišćivač ima svoj faktor koji je podijeljen u jedan ili nekoliko mogućih procesa. Faktor onečišćenja pokazuje utječu li naslage na promjene/razgradnju onečišćivala u manje opasne spojeve. Svojstva onečišćenja utječu na mnoge procese:

- koeficijent distribucije (K_d);
- koeficijent distribucije organske tvari (K_d , K_{ow} , K_{oc});
- vrijeme poluraspada uslijed aerobnih procesa (DT_{50});
- vrijeme poluraspada uslijed anaerobnih procesa (DT_{50});
- vrijeme poluraspada radioaktivnih tvari ($T_{1/2}$);
- vrijeme poluraspada bioloških tvari ($T_{1/2}$);
- standardni redukcijski potencijal (E_H^0);
- konstantu karbonatne ravnoteže (K_{eq});
- pritisak para (P^0);
- veličinu čestica ($\emptyset$).

Specifični vezani procesi su relevantni fizikalni, geokemijski i biogeokemijski procesi, nastali zbog svojstva tla i svojstva onečišćenja, koje je potrebno uzeti u obzir za izračun specifičnog faktora.



Slika 10.9. Izbor onečišćenja i relevantnih procesa

Specifična ranjivost se određuje u šest koraka, definiranjem onečišćivača i određivanjem potencijalnih procesa koji utječu na zadržavanje onečišćivala u nesaturiranoj ili saturiranoj zoni. Također treba napomenuti da se ocjena specifične ranjivosti provodi za svako pojedino onečišćivalo.

1. *Korak - Definiranje pojedinih onečišćivača i određivanje potencijalnih procesa koji utječu na zadržavanje onečišćivala u nesaturiranoj ili saturiranoj zoni.* Ministarstvo poljoprivrede, ribarstva i ruralnog razvoja u svom IPARD programu, *Plan za poljoprivredu i ruralni razvoj 2007. – 2013. godine* (2011) iznosi da poljoprivreda ugrožava hrvatske podzemne i površinske vode primjenom dušika u količinama većim od 150 N kg/ha. U istom dokumentu se navodi, da uzorci vode koji su rađeni za navedeni program, sadrže lindana 12% više od dozvoljene koncentracije za pitke vode, dok je prisustvo

organoklornih pesticida bilo unutar dozvoljenih granica. Budući da se šire područje regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci nalazi u izrazito poljoprivrednom području i obzirom na navedeno, ocjena specifične ranjivosti rađena je za anorgansko onečišćenje (nitrata) i organsko onečišćenje (pesticid -lindan).

U svrhu određivanja specifičnog faktora S definirane su fizikalno-kemijske značajke onečišćivala u ovom slučaju nitrata i lindana (poglavlja 10.1. i 10.2.).

Specifični vezani procesi koji su utvrđeni za izračun specifičnog faktora su (**slika 10.9**):

- adsorpcija na gline/okside,
- adsorpcija na organsku tvar
 - vezivanje ionskih otopina, neotopljenih organskih tvari ili nekih čestica za druge čvrste čestice čime se smanjuje onečišćenje u vodi,
- filtracija,
- aerobni proces,
- anaerobni proces
 - mikrobiološki transformacijski proces važan za smanjenje organske komponente u vodi,
- oksidacija i redukcija – kemijska transformacija elemenata – degradacija onečišćenja,
- taloženje – izdvajanje čvrstih čestica iz otopine,
- isparavanje,
- raspad,
- smanjenje mikrobiološkog onečišćenja.

2. *Korak - Određivanje indeksa onečišćenja prema značajkama koje se vrednuju za svako pojedino onečišćivalo* - nakon definiranja onečišćivala, izvršeno je određivanje indeksa onečišćenja obzirom na vrijednosti pojedinog fizikalno -

kemijskog obilježja i značajkama onečišćivala, za svako pojedino onečišćivalo sukladno **tablici 10.13**. Za lindan i nitrate izvršeno je dodjeljivanje koeficijenta s vrijednostima od 0, 0,5 ili 1. Zatim su značajke onečišćivala dovedene u međuodnos s dominantnim procesima

zadržavanja onečišćenja: koeficijentom distribucije (K_d), koeficijentom distribucije organske tvari (K_d , K_{ow} , K_{oc}), vremenom poluraspada uslijed aerobnih procesa (DT_{50}), vremenom poluraspada uslijed anaerobnih procesa (DT_{50}), vremenom poluraspada radioaktivnih tvari ($T_{1/2}$), vremenom poluraspada bioloških tvari ($T_{1/2}$), standardnim redukcijskim potencijalom (E_H^0), konstantom karbonatne ravnoteže (K_{eq}), pritiskom para (P^0) i veličinom čestica ($\emptyset$) (**tablica 10.14**).

Tablica 10.13. *Intervalne vrijednosti onečišćenja i dodjeljivanje koeficijenata (prema COST 620, 2004)*

REZULTANTNI KOEFICIJENT	0	0,5	1
glina/oksidi K_d (log)	<2	2-3	>3
organska materija K_d (log)	<1	1-2	>2
K_{oc} (log)	<2.5	2.5-3.5	>3.5
K_{ow} (log)	<3	3-4	>4
aerobni poluraspad DT_{50} (-)	godine	mjeseci	tjedni
anaerobni poluraspad DT_{50} (-)	godine	mjeseci	tjedni
radioaktivni poluraspad $T_{1/2}$ (-)	mjeseci	tjedni	dani
bidegradacija $T_{1/2}$ (-)	mjeseci	tjedni	dani
Standardni redukcijski potencijal E_H^0 (V)	<0	0-0.5	>0.5
Karbonatna ravnoteža K_{eq} (25 ⁰) (-log)	<7	7-10	>10
tlak para P^0 (25 ⁰) (hPa)	<100	100-5000	>5000
veličina čestice (μm)	<0.1	0.1-10	>10

Tablica 10.14. Matrica veze svojstava onečišćenja i značajnih procesa (prema COST 620, 2004)

Ključna svojstva	Ključni procesi												
	adsorpcija	kationska izmjena	filtracija	sedimentacija	biodegradacija	oksidacija	redukcija	kompleksiranje	precipitacija	hidroliza	volatilizacija	raspad	odumiranje
topljivost	++	++	-	-	+	-	-	+	++	+	-	-	-
koeficijent distribucije organske tvari	++	++	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-
viskoznost	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
degradacija poluraspad	-	-	-	-	++	+	-	-	-	+	-	-	-
radioaktivni poluraspad	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	++	-
biodegradacija	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	++
Standardni redukcijски potencijal	-	-	-	-	+	++	++	+	+	-	-	-	-
konstante ravnoteže	+	-	-	-	-	-	-	+	++	+	-	-	-
tlak para	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	++	-	-
gustoća	-	-	-	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-
veličina čestica	-	-	++	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-

+ povezanost i mala ovisnost obilježja onečišćivala i pripadajućeg procesa zadržavanja onečišćenja

++ jaka povezanost obilježja onečišćivala i pripadajućeg procesa zadržavanja onečišćenja

- značajke onečišćenja nemaju nikakav utjecaj na pripadajući proces zadržavanja onečišćenja

Na temelju tih dviju tablica izračunati su indeksi onečišćenja za nitrate i za lindan te su prikazani u **tablicama 10.15 i 10.16.**

Tablica 10.15. Izračun indeksa onečišćenja za nitrate

NITRATI	REZULTANTNI KOEFICIJENT										
		Adsorpcija na gline/oksidi	Adsorpcija na org. tvar	Filtracija	Aerobna biodegradacija	Anaerobna biodegradacija	Redukcija	Precipitacija	Volatilizacija	Raspad	Die off
Koeficijent odjeljenja gline/oksidi (Kd)	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Koeficijent odjeljenja organska tvar (Kd, Kow, Koc)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Poluvrijeme aerobne degradacije (DT50)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Poluvrijeme anaerobne degradacije (DT50)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Poluvrijeme radioaktivnog raspada (T1/2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Poluvrijeme biološkog raspada (T1/2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Standardni redukcijski potencijal	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Konstanta karbonatne ravnoteže (Keq)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Pritisak para (P°)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Veličina čestica (φ)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
INDEKSI ONEČIŠĆENJA:		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

Tablica 10.16. Izračun indeksa onečišćenja za lindan

LINDAN	REZULTANTNI KOEFICIJENT										
		Adsorpcija na gline/oksidi	Adsorpcija na org. tvar	Filtracija	Aerobna biodegradacija	Anaerobna biodegradacija	Redukcija	Precipitacija	Volatilizacija	Raspad	Die off
Koeficijent odjeljenja gline/oksidi (Kd)	0,5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Koeficijent odjeljenja organska tvar (Kd, Kow, Koc)	0,5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Poluvrijeme aerobne degradacije (DT50)	0,5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Poluvrijeme anaerobne degradacije (DT50)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Poluvrijeme radioaktivnog raspada (T1/2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Poluvrijeme biološkog raspada (T1/2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Standardni redukcijski potencijal	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Konstanta karbonatne ravnoteže (Keq)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Pritisak para (P°)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Veličina čestica (φ)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
INDEKSI ONEČIŠĆENJA:		0,5	0,5	0	0,5	0	0	0	0	0	0

3. Korak – u trećem koraku se vrši *određivanje indeksa slojeva uzimajući u obzir određene značajke pokrovnih naslaga vodonosnika*;

Pokrovne naslage

Na širem razmatranom području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci na temelju dosadašnjih geoloških i hidrogeoloških istraživanja, izdvojene su dvije skupine pokrovnih naslaga. Na temelju fizikalnih i kemijskih značajki pokrovnih naslaga procijenjeni su značajni procesi zadržavanja onečišćenja, te su se vrednovali slijedeći parametri: sadržaj organske tvari, sadržaj glina i oksida, otvori pora matriksa, pH vrijednost, opskrbljenost kisikom i temperatura vode (**tablica 10.17**).

Tablica 10.17. Intervalne vrijednosti naslaga i dodjeljivanje koeficijenata (prema **COST 620, 2004**)

REZULTANTNI KOEFICIJENTI	0	0,5	1
sadržaj organske materije (%)	<3	3-5	>5
sadržaj gline/oksida (%)	<10	10-20	>20
sadržaj karbonata (%)	<10	10-30	>30
otvori pora matriksa (µm)	>10	0.1-10	<0.1
pH vrijednost (-)	<6.5	6.5-7.5	>7.5
opskrbljenost kisikom (mg/l)	<2	2-7	>7
manjak kisika (mg/l)	>7	2-7	<2
temperatura vode (C°)	<9	9-14	>14

S obzirom na dodijeljene vrijednosti rezultatnih koeficijenata, potrebno je spomenuta svojstva naslaga ponovo dovesti u međuodnos s pripadajućim procesima razrjeđenja i zadržavanja (**tablica 10.18**). Specifični vezani procesi izdvojeni u pokrovnim naslagama su: adsorpcija na gline/okside, adsorpcija na organsku tvar, filtracija, aerobna degradacija, anaerobna degradacija, redukcija, precipitacija, volatilizacija, raspad i smanjenje mikrobiološkog onečišćenja. U **tablici 10.18** dva plusa označavaju jaku povezanost pokrovnih naslaga i pripadajućeg procesa zadržavanja onečišćenja, dok jedan plus označava povezanost, ali znatno manju, dok kod minusa značajka pokrovnih naslaga nema nikakav utjecaj na pripadajući proces zadržavanja onečišćenja.

Tablica 10.18. Matrica veze svojstava naslaga i značajnih procesa (prema COST 620, 2004)

Ključna svojstva	Ključni procesi												
	adsorpcija	kationska izmjena	filtracija	sedimentacija	biodegradacija	oksidacija	redukcija	kompleksiranje	precipitacija	hidroliza	volatilizacija	raspad	odumiranje
sadržaj organske tvari	++	+	-	-	++	++	++	++	-	-	-	-	-
sadržaj gline	++	++	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
kapacitet kationske izmjene	++	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
sadržaj oksida Fe, Mn, Al	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
sadržaj karbonata	-	-	-	-	-	-	-	-	++	-	-	-	-
apertura matriksa	-	-	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH vrijednost	+	+	-	-	+	-	-	++	++	++	-	-	-
redoks potencijal	-	-	-	-	++	++	++	+	+	+	-	-	-
temperatura	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+	++	-	-

+ povezanost i mala ovisnost obilježja onečišćivala i pripadajućeg procesa zadržavanja onečišćenja

++ jaka povezanost obilježja onečišćivala i pripadajućeg procesa zadržavanja onečišćenja

- značajke onečišćenja nemaju nikakav utjecaj na pripadajući proces zadržavanja onečišćenja

Izdvojeni tipovi pokrovnih naslaga na širem području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ su :

Dobro propusne naslage – sitno do srednje zrni pijesak, srednje do krupni šljunak.

Slabo propusne naslage - gline, proslojci praha.

Na temelju **tablica 10.17 i 10.18** izračunati su indeksi dobro propusnih i slabopropusnih naslaga, te su prikazani u **tablici 10.19**

**Tablica 10.19. Izračun indeksa
naslaga**

DOBRO PROPUSNE NASLAGE	REZULTANTNI KOEFIČIJENT		Adsorpcija na gline/oksida	Adsorpcija na org. tvar	Filtracija	Aerobna biodegradacija	Anaerobna biodegradacija	Redukcija	Precipitacija	Volatilizacija	Raspad	Die off
Sadržaj organske tvari	0		0	1	0	0,5	0,5	0	0	0	0	0
Sadržaj gline/oksida	0		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sadržaj karbonata	0		0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0
Apertura matriksa	0		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
pH vrijednost	1		0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0
Opskrbljenost kisikom	0		0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0
Manjak kisika	1		0	0	0	0	0,5	1	0	0	0	0
Temperatura vode	1		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
											1	1

SLABO PROPUSNE NASLAGE	REZULTANTNI KOEFIČIJENT		Adsorpcija na gline/oksida	Adsorpcija na org. tvar	Filtracija	Aerobna biodegradacija	Anaerobna biodegradacija	Redukcija	Precipitacija	Volatilizacija	Raspad	Die off
Sadržaj organske tvari	0,5		0	1	0	0,5	0,5	0	0	0	0	0
Sadržaj gline/oksida	1		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sadržaj karbonata	0		0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0
Apertura matriksa	0		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
pH vrijednost	1		0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0
Opskrbljenost kisikom	0		0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0
Manjak kisika	1		0	0	0	0	0,5	1	0	0	0	0
Temperatura vode	1		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
											1	1

UKUPNI INDEKSI PROCESA SLOJEVA:
DOBRO PROPUSNE
SLABO PROPUSNE

0	0	0	0	0,5	1	0,5	1	1	1
1	0,5	0	0,25	0,75	1	0,5	1	1	1

4. Korak – utvrđivanje sumarnoga indeksa procesa za određeni sloj i određeni onečišćivač, kombinacijom indeksa onečišćenja i indeksa slojeva za svaki pojedini proces. Određivanjem indeksa procesa slojeva dobiveni su sljedeći rezultati relevantnih procesa u pojedinim slojevima, koji su razvidni iz **tablice 10.19**:

- U dobro propusnim naslagama zbog dobre opskrbljenosti kisikom i temperature vode mogući su procesi anaerobne biodegradacije, redukcije precipitacije, volatilizacije i raspadanja;
- U slabo propusnim naslagama izraženiji je sadržaj gline i praha, pa je uz procese koji su spomenuti za dobro propusne naslage i nešto izraženija adsorpcija na gline i organsku tvar.

5. i 6. Korak – određivanje debljina slojeva i hidrauličke značajke vodonosnika (postotak difuznog toka) i prikazivanje konačnoga rezultata kao numeričke vrijednosti indeksa specifičnog zadržavanja, koja se na karti prikazuje različitim klasama specifičnog zadržavanja;

Sumarni efektivni indeks procesa prema predloženom postupku procjene specifične ranjivosti (COST 620) predstavlja značajke sloja i ponašanje onečišćenja međusobno usklađene za pojedine procese i sumirane unutar jednog sloja. Za procese za koje ne postoje fizikalno-kemijske značajke ili značajke onečišćivača ili podloge, se gubi utjecaj i ostanu samo oni procesi za koje je utvrđen utjecaj onečišćivala i naslaga. Utjecaji pojedinih procesa se sumiraju (**tablica 10.20**).

Temeljem navedenog, dobiven je scenarij ponašanja lindana koji se u tlu zadržava procesima adsorpcije na česticama gline i organske tvari i aerobne degradacije.

Nitrati u tlu se zadržavaju zbog procesa redukcije u nitrite ili amonij ion. Kako su na navedenom području prisutni reduktivni uvjeti, indeks zadržavanja nitrata je dosta velik.

Tablica 10.20. Konačni rezultati izračuna specifičnog faktora *S* za pojedina onečišćivala po vrstama naslaga

	Lindan	Nitrati
Slabo propusne naslage	0,875	1
Dobro propusne naslage	0	1

Dobiveni sumarni indeks procesa se dalje množi s debljinom sloja za koji je izračunat, s tim da se za veće debljine slojeva može dobiti nerealno velika vrijednost efektivnog indeksa procesa zadržavanja. Da bi se izbjegli nerealni izračuni, kao ograničavajući faktor promatraju se i hidrauličke značajke sustava, odnosno udio difuznog toka (**tablica 10.21**). No, budući da je na istraživanom području difuzni tok „gotovo isključiv“, nema gornje granice vrijednosti indeksa zadržavanja. Također, zbog rezultata procjene prirodne ranjivosti koji ukazuju na jako dobru zaštitnu funkciju pokrovnih naslaga, specifična ranjivost je određena samo za nepovoljniji slučaj onečišćenja, odnosno za manje debljine nesaturirane zone tj. za slučaj visokih voda.

Indeks specifičnog zadržavanja u nekoj točki sliva dobije se zbrajanjem efektivnih indeksa pojedinih slojeva, i mora biti pozitivna vrijednost. Pozitivna vrijednost ukazuje na pružanje zaštite vodonosnika od onečišćenja, tj. međudjelovanje onečišćivala i okoline dovelo je do smanjenja onečišćenja prije nego je ono dospjelo do vodnog lica. Na kraju se zbroje svi indeksi specifičnog zadržavanja za pojedine slojeve po dubini. Krajnji rezultat je indeks specifičnog zadržavanja u svakoj točki promatranog područja i isti predstavlja specifični faktor S u procjeni specifične ranjivosti vodonosnika.

Tablica 10.21. *Raspon udjela difuznog toka s dodijeljenim maksimalnim vrijednostima indeksa specifičnog zadržavanja*

Difuzni tok	Udio difuznog toka (%)	Maksimalna vrijednost indeksa specifičnog zadržavanja
sporedan	< 25	0,25
značajan	25 – 50	1
dominantan	50 – 75	2,5
gotovo isključiv	>75	-

Na kraju se faktor S prikazuje pomoću karte koja predstavlja prostornu raspodjelu indeksa specifičnog zadržavanja za pojedina onečišćenja. Na karti se prikazuje u klasama specifičnog zadržavanja prikazanih u **tablici 10.22**. Treba istaknuti da

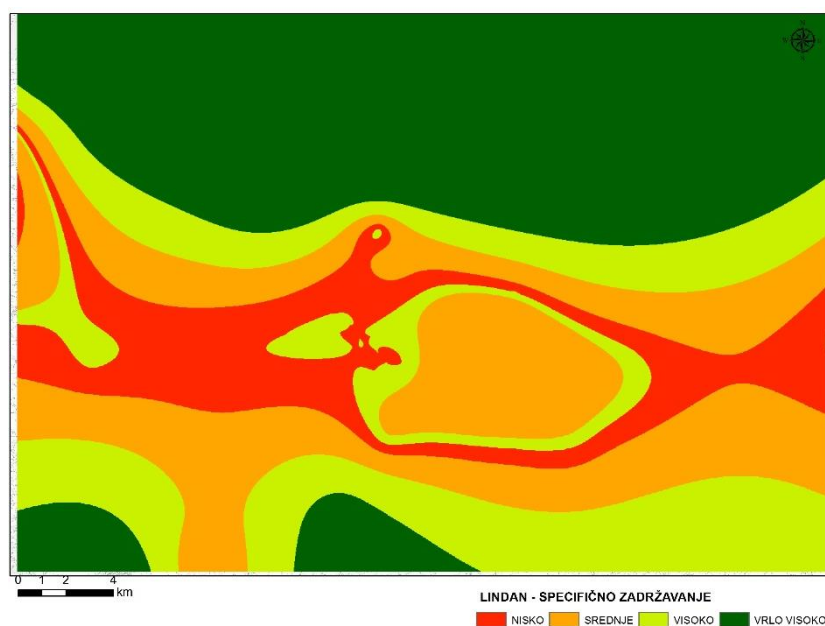
metoda ne procjenjuje kvantitativne vrijednosti vremena pronosa onečišćenja, kao ni količine zadržanog onečišćenja.

Tablica 10.22. *Klasifikacija indeksa specifičnog zadržavanja*

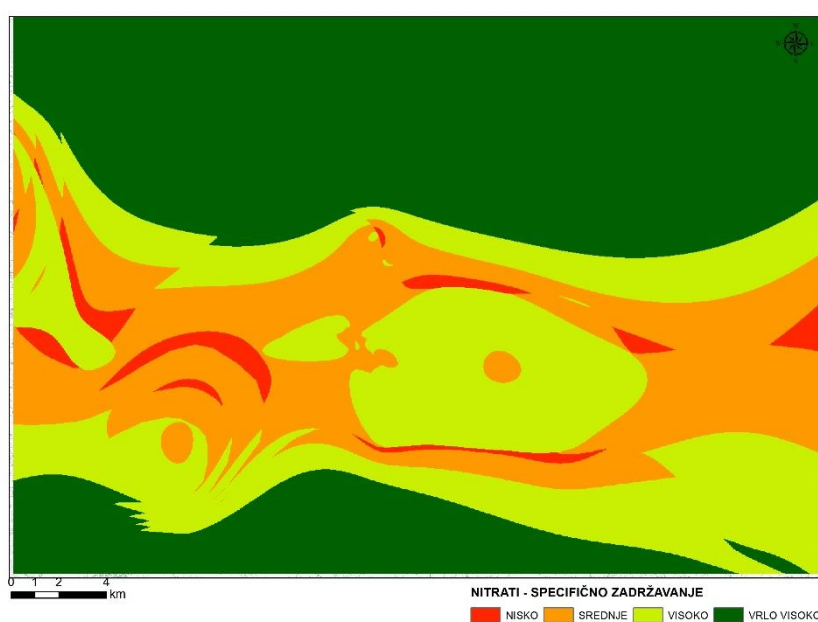
Vrijednosti specifičnog indeksa zadržavanja	Klasa specifičnog zadržavanja
0-0,25	Nisko
>0,25 - 1	Srednje
>1- 2,5	Visoko
>2,5	Vrlo visoko

Za **nisko specifično zadržavanje** zanemariv je utjecaj procesa za zadržavanje onečišćenja, bilo da su uzrok značajke naslaga ili onečišćenja ili pak su uvjeti tečenja neprimjereni. U **srednjem specifičnom zadržavanju** zamjetan je utjecaj procesa zadržavanja onečišćenja, ali bi jako mali udio onečišćenja mogao biti zadržan. Mogući uzroci mogu biti nepovoljne značajke onečišćenja, mala debljina slojeva ili neprimjereni uvjeti tečenja. Značajan utjecaj procesa za zadržavanje onečišćenja, uvjetovan povoljnim značajkama onečišćenja, značajna debljina pokrovnih slojeva i povoljni uvjeti tečenja su odlika **visokog specifičnog zadržavanja**. Za **vrlo visoko specifično zadržavanje** zadovoljeni su svi uvjeti za zadržavanje onečišćenja prije nego što dospije u podzemne vode.

Kartografski prikaz raspodjele indeksa specifičnog zadržavanja pojedinog onečišćenja izračunat za šire područje regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ prikazan je na **slikama 10.10 i 10.11**.



Slika 10.10. Indeks specifičnog zadržavanja lindana



Slika 10.11. Indeks specifičnog zadržavanja nitrata

Iz **slika 10.10 i 10.11** vidljivo je da postoji stanovita razlika u procijenjenom indeksu zadržavanja lindana i nitrata. Naime, do razlike je došlo jer se nitrati podjednako zadržavaju i u dobro propusnim i u slabo propusnim naslagama, dok se lindan u dobro propusnim naslagama ne zadržava, a u slabo propusnim naslagama zadržava

nešto slabije od nitrata (**tablica 10.15**). Stoga je na karti vidljivo da je područje vrlo visokog zadržavanja kod nitrata znatno veće nego kod lindana, dok nisko zadržavanje nitrata zauzima znatno manje područje nego lindan.

10.3.3 Izrada karata specifične ranjivosti vodonosnika

Karta specifičnog zadržavanja onečišćenja (**slike 10.10 i 10.11**), dobivena ranije spomenutim načinom s vrijednostima specifičnog faktora S za svako pojedino onečišćenje, u daljnjem postupku se zbraja s vrijednosti faktora O, izračunatog kod procjene prirodne ranjivosti vodonosnika primjenom COP metode. Na taj način specifični faktor dodatno doprinosi zaštitnoj ulozi pokrovnih naslaga, jer omogućava procese koji zadržavaju onečišćenje prije nego što ono dospije do podzemne vode. Nakon zbrajanja zaštitne funkcije pokrovnih naslaga, u procjenu se uključuju faktori C i P procijenjeni u metodi prirodne ranjivosti, pa izraz za izračun specifične ranjivosti po COP metodi glasi:

$$C * (O + S) * P = COP_{\text{specifično}} \quad (10.6)$$

U slučaju šireg područja regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ prirodna ranjivost procijenjena COP metodom je već izrazito niska, tako da je utjecaj indeksa specifičnog zadržavanja nedovoljno izražen. Karta specifične ranjivosti za onečišćenje nitratima i lindanom prikazane su na **prilozima 11 i 12**.

Prilozi 11 i 12 ukazuju na dosta dobro preklapanje razina specifične ranjivosti vodonosnika na nitrate i lindan, iako su postojale razlike u izračunu faktora specifičnog zadržavanja za jedno i drugo spomenuto onečišćivalo. Naime, zaštitna funkcija pokrovnih naslaga procijenjena u prirodnoj ranjivosti poništila je tu razliku, pa je moguće ta onečišćenja istovjetno promatrati. Manje razlike koje se ipak javljaju u raspodjeli kategorija specifične ranjivosti posljedica su raspodjele dobro propusnih naslaga na području istraživanja. Iz rezultata je vidljivo da je glavnina područja istraživanja procijenjena u kategoriji vrlo niske ranjivosti na onečišćenje lindanom i

nitratima. Područje niske specifične ranjivosti na nitrata i lindan nalaza se na središnjem dijelu područja istraživanja, u prostoru gdje su razine podzemne vode u vrijeme visokih voda najbliže površini, tj. debljina nezasićene zone najmanja. Jedino je područje rijeke Save okarakterizirano kao visoko i srednje ranjivo na onečišćenja nitratima i lindanom, što je i razumljivo, jer se radi o površinskom vodotoku koji prihranjuje okolno područje. Šire područje regionalnog crpilišta „Istočna Slavonije“ nalazi se jednim dijelom u kategoriji vrlo niske ranjivosti, a jednim dijelom u kategoriji niske ranjivosti na onečišćenje na nitrata i lindan prema COP metodi (vidljivo na **prilozima 11 i 12**), što ukazuje da je podzemna voda tog vodocrpilišta prirodno dobro zaštićena od spomenutih onečišćenja.

11. RASPRAVA

Složena i sustavna hidrogeološka istraživanja, koja traju već dugi niz godina na području Istočne Slavonije, rezultirala su izgradnjom lokalnih crpilišta u naseljima/gradovima, kao i izgradnjom regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci. Zbog mogućih onečišćenja podzemne vode, posebna pozornost se poklanja zaštiti izvorišta i raspoloživih količina pitke vode, odnosno očuvanju prirodne kakvoće podzemnih voda. Regionalno crpilište „Istočne Slavonije“, ukupne izdašnosti oko 1.000 l/s, potrebno je zaštititi primjenom relevantnih mjera zaštite izvorišta i podzemnih voda, sukladno najboljoj europskoj praksi.

Šire područje istraživanja uglavnom izgrađuju stijene kvartarne starosti (98,32 %), dok su stijene paleogena odnosno neogena, vrlo malo zastupljene. Na području uz rijeku Savu, te u jezerima i močvarama, u periodu plavljenja, formirane su krupnoklastične naslage. Također uz Savu su taložene šljunkovite naslage. Na sjeveru su formirane naslage pijeska, dok je u sušnom razdoblju došlo do taloženja glinovito-prašiniastih naslaga. Sve navedeno su odlike vodonosnog sloja Velika Kopanica.

Regionalno crpilište „Istočna Slavonija“ formirano je na području prostiranja vodonosnog sloja Velika Kopanica. Sloj Velika Kopanica djelomično je presječen rijekom Savom, i ispod Save proteže se u Federaciju Bosne i Hercegovine. Isklinjavanje vodonosnog sloja Velika Kopanica na području RH potvrđeno je bušotinom u Kutima Trnjanskim, a prostiranje na potezu Županja-Gradište-Cerna znatno je narušeno, najvjerojatnije neotektonskim pokretima. Šljunkovito-pjeskoviti horizont Velika Kopanica prostire se i na istraživanom području Federacije Bosne i Hercegovine. Na istražnim bušotinama u FBiH (**slike 5.1 i 5.2**) debljina vodonosnog sloja Velika Kopanica se ne smanjuje u odnosu na debljinu na prostoru RH (**slika 5.5**) i nije uočeno njegovo isklinjavanje na istražnim bušotinama. Također prema osnovnim geološkim kartama M 1:100.000, listovi Vinkovci (**BRKIĆ et al., 1989**), Slavonski Brod (**ŠPARICA et al., 1986**) te pripadajućim tumačima za osnovnu geološku kartu list Vinkovci (**ŠPARICA et al. 1987**) i listo Slavonski Brod (**GALOVIĆ**

et al. 1989) sedimenti riječnih terasa i starijih barskih sedimenata prostiru se južnije sve do Modriče, kao i vodna tijela Orašje i Odžak **(SRKALOVIĆ, 2010) (slika 4.1).**

Područje istraživanja može se podijeliti na područje s naslagama niske, srednje i visoke transmisivnosti **(slika 5.3).** Šljunkovito-pjeskoviti vodonosni horizont, poluotvorenog do poluzatvorenog tipa ima veliku transmisivnost i hidrauličku vodljivost **(slika 5.3 i tablica 5.1).** Vodonosni horizont navedenih značajki najvećim dijelom se prostire na području Federacije Bosne i Hercegovine. Jedino područje oko Štitara ističe se naslagama velike transmisivnosti. Regionalno crpilište „Istočna Slavonija“ je smješteno na području sa šljunkovito-pjeskovitim kvartarnim naslagama srednje transmisivnosti. Navedene naslage se najvećim dijelom prostiru na području Republike Hrvatske, dok se na teritoriju FBiH ove naslage prostiru na širem području crpilišta Odžak. Pjeskovite naslage, niske transmisivnosti, istaložile su se na području oko Vrpolja, S. Perkovaca i Strizivojne, dok na istraživanom dijelu FBiH nisu uočene **(slika 5.3).**

Na temelju analiza podzemne vode na lokaciji crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci te na lokacijama Bosanski Šamac i Odžak utvrđene su geokemijske značajke podzemne vode. Primjenom softvera STATISTICA i korištenjem R mode klaster analize, određen je geokemijski afinitet/porijeklo parametara kakvoće podzemne vode. Za procjenu sličnosti geokemijskog afiniteta, odnosno porijekla parametara kakvoće podzemne vode, korištena je Wardova metoda, koja se temelji na analizi varijance.

Dostupne analize podzemne vode sa zdenaca u širem području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci pokazale su da koncentracije arsena, amonijaka, mangana, željeza, utroška KMnO_4 i nitrita često prelaze MDK za pitku vodu.

Iz analize dobivenog dendrograma geokemijskog afiniteta pokazatelja kakvoće podzemne vode na području crpilišta Sikirevci može se primijetiti da je kakvoća podzemne vode posljedica otapanja alumosilikata, pretežito minerala glina, kao i organske materije te antropogenoga unosa (iz poljoprivrede) **(slika 6.1).** Na lokaciji crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci izdvajaju se dvije skupine parametara/klastera. Prva izdvojena skupina (aluminij, amonijak, arsen, kalij, željezo, bakar, mangan i olovo) upućuje na porijeklo parametara vezanih za hidrolizu silikatnih minerala i reduktivne uvjete vodonosne sredine. Druga izdvojena skupina sastoji se od tri

podskupine koje predstavljaju složene afinitete parametara različitog porijekla. Navedene podskupine su u manjoj ili većoj mjeri vezani za geokemijske procese koji uključuju nazočnost organske materije i njenu razgradnju (barij, živa, oksidativnost, ortofosfati, natrij). One mogu biti prirodnog i/ili antropogenog porijekla.

Dendrogram geokemijskog afiniteta/porijekla parametara kakvoće vode u uzorcima podzemnih voda na području crpilišta Bosanski Šamac također upućuje na postojanje dvije skupine parametara/klastera (**slika 6.2**). Prva skupina upućuje na litološki sastav vodonosnika pretežito alumosilikatnog i dijelom karbonatnog sastava (Cu, Cl⁻, Mg, SO₄²⁻, K, Na, Cr, Se, Ca, Hg, isparni ostatak i ukupna tvrdoća), povezanog s litologijom šireg područja. Druga skupina je povezana s afinitetom i porijeklom parametara povezanih s prisutnom organskom komponentom u vodonosniku, vjerojatno antropogenog porijekla, zbog uske povezanosti s temperaturom podzemne vode i pH vrijednosti koja zavisi od sezonskih hidroloških prilika. Povišeni sadržaj kalija i korida u podzemnim vodama zdenca u Bosanskom Šamcu upućuju na povezanost s NPK mineralnim gnojivima.

Na području Odžaka varijable dendrograma su vrlo jasno odvojene prema svom geokemijskom afinitetu (**slika 6.3**). Prva skupina parametara/klastera nazvana je organski klaster, jer povezuje varijable čije je porijeklo povezano s razgradnjom organske materije. Druga skupina, koju čine otopljeno željezo, kalcij, magnezij, klorid ion, pH vrijednost, vodljivost i temperatura, uglavnom pripada prirodnom geokemijskom okolišu, koji odražava temperaturu podzemne vode i litološki sastav vodonosnika.

Sadržaj željeza i mangana u podzemnoj vodi na području Odžaka povremeno prelazi MDK za pitku vodu, dok su vrijednosti navedenih parametara u podzemnoj vodi na području Bosanskog Šamca ispod maksimalno dozvoljenih granica (**slika 6.4**). Analize kakvoće vode na crpilištu „Istočna Slavonija“ Sikirevci pokazale su povišene vrijednosti željeza, mangana, prirodnog amonijaka i arsena u podzemnoj vodi. Kakvoća podzemnih voda ukazuje na prirodne reduktivne uvjete u vodonosnoj sredini. S obzirom na evidentnu prisutnost žive i arsena u podzemnoj vodi, značajna je činjenica da je koncentracija ukupnih pesticida mala (manja od 50 µg/l), tako da se sadržaj žive i arsena može uglavnom zanemariti. Značajka ovih elemenata je

sklonost stvaranja organskih kompleksa i uslijed toga relativno slaba pokretljivost u vodonosnoj sredini.

Uvidom u srednje vrijednosti uspoređivanih parametara (**slike 6.4 i 6.5**), kakvoća podzemne vode razvidno je kvalitetnija na području Sikirevaca nego u ostalim razmatranim područjima, (Bosanskom Šamcu i Odžaku), vjerojatno zbog onečišćenja u dijelu koji se nalazi u Federaciji Bosne i Hercegovine. Antropogena onečišćenja vjerojatno su posljedica otpadnih voda iz domaćinstva zbog nepostojanja komunalnih vodnih građevina za javnu odvodnju i uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, kao i nekontrolirane primjene agrotehničkih sredstava u poljoprivredi.

Za određivanje prirodne ranjivosti vodonosnika na širem području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci korištene su parametarske metode SINTACS, AVI, GOD, COP, Irska i Njemačka metoda. Metode su korištene za različite hidrogeološke uvjete, odnosno u normalnim uvjetima te u vrijeme potpune saturacije tla (u vrijeme poplave), a rezultati su prikazani na kartama u mjerilu 1: 50.000 (**prilozi od 1-10**).

Sve metode modelirane su pomoću GIS tehnologije, temeljem podataka prikupljenih prethodnim istraživanjima. Za razliku od navedenih metoda, kojima je definiran indeks ranjivosti vodonosnika, Njemačkom metodom je definirana učinkovitost krovinskih naslaga, odnosno procjena raspona vremena zadržavanja vode u vertikalnom toku kroz nesaturiranu zonu. U primjeni Irske metode kod ocjene nekonsolidiranih vodonosnika prisutna je vrlo jednostavna kategorizacija s obzirom na debljinu nesaturirane zone te su predviđene samo dvije kategorije ranjivosti za nekonsolidirane vodonosnike: ekstremna i visoka. Kategorizacija ranjivosti vodonosnika kod GOD metode nalazi se u pet kategorija od zanemarive do vrlo visoke, dok kod SINTACS metode ranjivost se kategorizira u šest kategorija od vrlo visoke ranjivosti vodonosnika do vrlo niske. U primjeni AVI i COP metoda, kod ocjene ranjivosti vodonosnika prisutno je pet kategorija od vrlo niske do vrlo visoke ranjivosti vodonosnika, kao i kod Njemačke metode koja ukupnu učinkovitost krovinskih naslaga također svrstava u pet navedenih kategorija.

Primjenom parametarskih metoda za ocjenu prirodne ranjivosti vodonosnika na širem području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“, dobiveni su rezultati koji se na prvi pogled znatno razlikuju.

U normalnim uvjetima (prosječna razina podzemne vode), kao i u vrijeme velikih voda, ranjivost vodonosnika za sve metode, osim AVI, nalazi se u rasponu od niske do vrlo visoke. AVI metoda u normalnim uvjetima prikazuje nisku i vrlo nisku ranjivost vodonosnika te nije evidentirano područje sa srednjom i vrlo visokom ranjivosti (**prilog 5**).

SINTACS i GOD metodom su vrlo male površine izdvojene kao područja s vrlo visokom, visokom, odnosno ekstremnom (SINTACS) ranjivosti vodonosnika (**prilozi 1 i 3**). GOD metodom visoka ranjivost zauzima površinu od 6,51 %, a vrlo visoka 1,21 % (**tablica 8.7**), dok SINTACS metodom vrlo visoka ranjivost zauzima površinu od 0,4 %, a ekstremne ranjivosti nema (**tablica 8.6**). Navedene površine nalaze se na području uz rijeke Savu i Bosnu, oko Kruševice, Slavanskog i Bosanskog Šamca. Njemačka metoda isti prostor izdvaja kao područje s umjerenom učinkovitosti krovinskih naslaga (**prilog 7**). Prema Njemačkoj metodi kategorija s vrlo niskom zaštitnom funkcijom krovinskih naslaga obuhvaća južni dio područja istraživanja, dok se u području vrlo visoke učinkovitosti pokrovnih naslaga, nalaze naselja Strizivojna, Vrpolje i Donji Andrijevići. AVI metoda područje oko Kruševice, Slavanskog i Bosanskog Šamca, odnosno područje uz Savu i Bosnu, izdvaja kao područje s niskom ranjivosti (**prilog 5**), što je oko 24,40 % ukupne površine, sve ostalo je u kategoriji vrlo niske ranjivosti vodonosnika (**tablica 8.8**). COP metoda izdvaja područje oko Kruševice odnosno Slavanskog Šamca, kao područje s vrlo niskom ranjivosti (**prilog 9**) što je svakako posljedica velike debljine slabopropusnih naslaga iznad razine podzemne vode, kao i ostalih obilježja kao što su nagib terena i vegetacija prisutna na istraživanom području. Treba istaknuti da primjenom svih metoda područja sa srednjom, odnosno umjerenom ranjivosti vodonosnika, najčešće zauzimaju širi pojas uz rijeke Savu i Bosnu.

Uočeno je da za ocjenu prirodne ranjivosti vodonosnika primjenom AVI, GOD, SINTACS i Njemačkom metodom, za vrijeme i prije poplave, promjena razina podzemnih voda znatno utječe na ranjivost vodonosnika. Ranjivost vodonosnika za vrijeme i prije poplave odnosno za vrijeme velikih voda, znatno se povećava (**prilozi 2, 4, 6, 8**). Promjenom parametra „dubina do podzemne vode“ mijenja se utjecaj nesaturirane zone, odnosno znatno se smanjuje učinkovitost krovinskih naslaga, što rezultira većom ranjivosti vodonosnika. Rezultati SINTACS i GOD metoda pokazuju

da se u vrijeme velikih voda ranjivost vodonosnika znatno povećava (**tablice 8.6 i 8.7**) i prostorno zauzima široki pojas oko rijeka Save i Bosne (**prilozi 2 i 4**). AVI metoda za vrijeme velikih voda izdvaja četiri kategorije ranjivosti vodonosnika. Kategorije srednje i visoke ranjivosti vodonosnika zauzimaju određena područja oko rijeka Save i Bosne, s naseljima Babina Greda, Štitar, Svilaj, Kruševica, Slavonski i Bosanski Šamac (**prilog 6**). U tom dijelu nalazi se i regionalno crpilište „Istočna Slavonija“, no ovdje nije jasno definirana kategorija ranjivosti, već ranjivost izrazito varira od vrlo niske do visoke.

Za vrijeme velikih voda učinkovitost krovinskih naslaga, primjenom Njemačke metode, je u kategoriji od vrlo visoke do vrlo niske i znatno se razlikuje od one za vrijeme niskih voda (**prilozi 7 i 8**). Sjeverni dio istraživanog prostora Strizivojna i Vrpolje je i dalje u kategoriji vrlo niske ranjivosti, dok su područja oko rijeka Save i Bosne u kategoriji vrlo visoke ranjivosti, odnosno vrlo niske učinkovitosti krovinskih naslaga, a u ovu kategoriju pripadaju i naselja, Bosanski i Slavonski Šamac, Svilaj, Kruševica i Štitar (**prilog 8**).

Parametarske metode za ocjenu prirodne ranjivosti nekonsolidiranih vodonosnika na širem području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci daju dosta realan uvid u ranjiva područja na širem području crpilišta i svaka od navedenih metoda izdvaja najčešće isto područje kao najranjivije. Najranjivija područja izdvojena svim metodama su oko rijeka Save i Bosne i često su to naselja Babina Greda, Kruševica, Bosanski i Slavonski Šamac. To su područja koja su hidrogeološkim istraživanjima izdvojena kao ona s najmanjom debljinom slabopropusnih naslaga, a čija se debljina kreće od 4,5 do 7 metara (**tablica 8.1 i slika 8.3 A i B**).

Ocjena ranjivosti, s malim brojem podataka može se provesti primjenom AVI ili GOD metode, no ove se metode ne mogu smatrati u potpunosti pouzdanim budući ne uzimaju u obzir svojstva tla, oborine i efektivnu infiltraciju. Prema GOD metodi razina podzemnih voda, tj. debljina nesaturirane zone ima znatan utjecaj na procjenu prirodne ranjivosti. Niti AVI metoda nije se pokazala najboljom u slučaju procjene ranjivosti na ovom području, jer u slučaju niskih voda precjenjuje zaštitnu ulogu nesaturirane zone, a u slučaju visokih voda, kad nesaturirane zone gotovo ni ne dolazi do prevelikog rasipanja resultantnog indeksa ranjivosti zbog razlike vrijednosti koeficijenta hidrauličke vodljivosti na malom prostoru.

Za provedbu detaljnih analiza, koje uključuju poznavanje hidrogeoloških uvjeta, potrebno je koristiti SINTACS ili Njemačku metodu, koje pripadaju u kategoriju pouzdanijih metoda za primjenu na istraživanom području. SINTACS metoda pruža mogućnost u smislu vrednovanja različitih vrsta korištenja prostora, obzirom da je za svaku vrstu definiran odgovarajući set težinskih faktora. Na poljoprivrednim područjima, kao što je šire područje regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“, ocjena specifične ranjivosti vodonosnika s obzirom na lindan i nitrate može se provesti COP metodom. Primjena Irske metode na istraživanom prostoru je nepouzdana, jer uzima u obzir samo debljinu nesaturirane zone, koja je na području istraživanom području najčešće veća od 3 metra, stoga je cijelo područje u kategoriji visoke ranjivosti.

Na širem području crpilišta rađena je analiza stvarnih i potencijalnih izvora opasnosti (**tablica 9.2**). Najveći dio šireg područja regionalnog crpilišta Istočna Slavonija je izvan opasnosti od onečišćenja. Iz karte klasificirane opasnosti (**slika 9.11**) je vidljivo da najveću opasnost za podzemne vode predstavljaju naselja bez izgrađenog sustava javne odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda i prometnice.

S obzirom da se regionalno crpilište „Istočna Slavonija“ nalazi u izrazito poljoprivrednom području, napravljen je izračun specifične ranjivosti COP metodom na pesticid lindan i nitrate. Na temelju rezultata procjene prirodne ranjivosti COP metodom koja ukazuje na jako dobru zaštitnu funkciju pokrovnih naslaga (**prilozi 9 i 10**), specifična ranjivost je napravljena samo za nepovoljniji slučaj onečišćenja, za manje debljine nesaturirane zone tj. za slučaj velikih voda. Rezultati ukazuju na dosta dobro preklapanje razina specifične ranjivosti vodonosnika na nitrate i lindan, iako su utvrđene razlike u izračunu faktora specifičnog zadržavanja za jedno i drugo spomenuto onečišćivalo (**slike 10.13 i 10.14**). Područja niske i vrlo niske ranjivosti zauzimaju vrlo veliko istraživano područje, dok su područja Kruševica, Bosanskog i Slavanskog Šamca, Štitara, Svilaja i Zorica ocijenjena kao područja sa srednjom ranjivosti na lindan (**prilog 12**) i nitrate (**prilog 11**). Šire područje regionalnog crpilišta „Istočne Slavonije“ Sikirevci nalazi se jednim dijelom prema COP metodi u kategoriji vrlo niske ranjivosti, a jednim dijelom u kategoriji niske ranjivosti na onečišćenja na lindan i nitrate.

U svrhu definiranja prostiranja vodonosnog sloja Velika Kopanica bilo bi dobro provesti vodoistražne radove na području Federacije Bosne i Hercegovine. Navedeni

radovi bi obuhvatili izvedbu većeg broja istražnih bušotina različitih dubina, kako bi se dobili pouzdani podaci o litologiji, geološkim i hidrogeološkim odnosima u podzemlju odnosno prostiranju vodonosnika Velika Kopanica. Nakon utvrđivanja stvarnog prostiranja vodonosnika Velika Kopanica, odnosno definiranja točne lokacije prostiranja odnosno prirodnih granica biti će moguće izraditi matematički model.

12. ZAKLJUČAK

Jedan od osnovnih preduvjeta za dugoročno i održivo korištenje vodnih resursa je zaštita podzemnih voda odnosno zaštita izvorišta.

Iako su prvi rezultati istraživanja na promatranom području pokazali da su podzemne vode u vodonosnim slojevima, iz kojih se crpi voda za potrebe vodoopskrbe, dobre kakvoće, vrijednosti pojedinih pokazatelja, primjerice arsena, mangana i željeza pokazuju postupnu promjenu u vremenu. Uz navedeno, rezultati kemijskih i bakterioloških analiza pokazali su da u plitkim procjednim slojevima postoji onečišćenje podzemnih voda s nekim organskim spojevima. S obzirom na ove pokazatelje, proizašla je temeljna hipoteza ovog rada da na širem području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ postoji značajan rizik od onečišćenja podzemnih voda, koji je uzrokovan poljoprivrednom aktivnošću.

Vodonosnici šireg područja regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci, pripadaju aluvijalnim naslagama rijeke Bosne. To su šljunkovito-pjeskoviti vodonosni slojevi s ograničenim prostiranjem na šire područje uz Savu, i s najpovoljnijim hidrogeološkim značajkama u području između Kopanice, Gundinaca i Kruševica na području Republike Hrvatske. Vodonosnik je djelomično presječen rijekom Savom i ispod Save se prostire u Federaciju Bosne i Hercegovine. U Federaciji Bosne i Hercegovine vodonosnik se prostire od Donjeg Svilaja na zapadu i Domaljevca na istoku. Južna granica vodonosnog sloja Velika Kopanica nije definirana ovim radom, budući je njegovo prostiranje šire od područja istraživanja. Stvarno priljevno područje regionalnog crpilišta može se definirati pomoću geometrije vodonosnika kao ulaznog podatka za matematički model, a u radu je provedeno istraživanje unutar šireg područja prostiranja vodonosnog sustava.

Krovina vodonosnika na području FBiH izgrađena je od vodonepropusne gline, prašinate i pjeskovite gline debljine od 5 do 15 m. Zdenci zahvaćaju podzemne vode na znatno većim dubinama od zdenaca na području RH. Izdvojeni vodonosni slojevi nalaze se na dubini od 5 do 194 m. Debljina vodonosnog sloja na području uz Savu iznosi preko 100 m (Domaljevac), te se smanjuje prema jugu (Odžak). Vodonosni slojevi izgrađeni su od pijeska i srednjeznog do krupnog šljunka između kojih se nalaze slojevi gline različite debljine. Obzirom na navedeno, evidentno je da

se priljevno područje regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci prostire na području Republike Hrvatske i Federacije Bosne i Hercegovine.

Šire područje regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ može se podijeliti na kvartarne naslage s velikom, srednjom i malom transmisivnosti. Područje s velikom transmisivnosti prostire se najvećim djelom uz Savu i na prostoru Federacije Bosne i Hercegovine, gdje se prostiru šljunkovito–pjeskoviti vodonosni slojevi, poluotvorenog do poluzatvorenog tipa s velikom transmisivnosti i hidrauličkom vodljivosti. Regionalno crpilište „Istočna Slavonija“ Sikirevci nalazi se na području gdje su nabušene kvartarne naslage srednje transmisivnosti. Ovdje se radi o šljunkovito-pjeskovitom vodonosnom sloju, poluzatvorenog do otvorenog tipa, čija debljina u pojedinim dijelovima doseže vrijednosti preko 90 m. Sjeverno od kvartarnih naslaga srednje transmisivnosti nalaze se naslage niske transmisivnosti, pretežito pijesci, čija je debljina neujednačena i manja od naslaga srednje i visoke transmisivnosti. Naslage niske transmisivnosti zauzimaju sjeverni dio istraživanog područja (Stari Perkovci, Vrpolje, Strizivojna). Naslage su izgrađene od pijeska, čija je debljina neujednačena i manja u odnosu na debljinu šljunkovito-pjeskovitog vodonosnog sloja.

Dostupne kemijske analize podzemne vode sa zdenaca u širem području regionalnog crpilišta „Istočne Slavonije“ Sikirevci pokazale su da koncentracije arsena, amonijaka, mangana, željeza, utroška KMnO_4 i nitrita često prelaze MDK za pitku vodu. Sadržaj željeza i mangana u podzemnoj vodi na području Sikirevaca i Odžaka povremeno prelazi MDK za pitku vodu, dok su vrijednosti navedenih parametara u podzemnoj vodi na području Bosanskog Šamca ispod maksimalno dozvoljenih. Na područjima Bosanskog Šamca i Odžaka, oksidativnost podzemne vode, izračunata na osnovu utroška KMnO_4 ponekad prelazi maksimalno dopuštene vrijednosti koncentracija, dok je na području Sikirevaca uglavnom ispod maksimalno dopuštene koncentracije.

Analiza dobivenog dendrograma geokemijskog afiniteta geokemijskih pokazatelja u uzorcima podzemnih voda na području crpilišta Sikirevci upućuje da je kakvoća podzemne vode posljedica otapanja alumosilikata, pretežito minerala glina, kao i organske materije te antropogenoga unosa (iz poljoprivrede). Dendrogram geokemijskog afiniteta/porijekla parametara kakvoće vode u uzorcima podzemnih

voda na području crpilišta Bosanski Šamac upućuje na litološki sastav vodonosnika pretežito alumosilikatnog i dijelom karbonatnog sastava, povezanog s litologijom šireg priljevnog područja. Druga skupina je povezana s afinitetom i porijeklom parametara povezanih s nazočnom organskom komponentom u vodonosniku, vjerojatno antropogenog porijekla. Na područja Odžaka varijable dendrograma su vrlo jasno odvojene prema svom geokemijskom afinitetu. Porijeklo kakvoće podzemne vode na području Odžaka povezano je s razgradnjom organske materije i prirodnom-geokemijom okoliša koja odražava temperaturu podzemne vode i litološki sastav vodonosnika. Uspoređujući rezultate dobivenih dendrograma geokemijskih afiniteta pokazatelja u uzorcima podzemne vode na sve tri lokacije, može se zaključiti da je kakvoća podzemne vode posljedica litološkog sastav vodonosnika i posljedica antropogenog unosa.

Srednje vrijednosti uspoređivanih parametara, razvidno ukazuju na kvalitetniju podzemnu vodu na području Sikirevaca nego u ostalim razmatranim područjima (Bosanskom Šamcu i Odžaku).

Primjenom SINTACS metode područje istraživanja podijeljeno je na područje s vrlo velikom, velikom i srednjom ranjivosti vodonosnika, područja s ekstremnom kao ni s vrlo niskom i niskom ranjivosti nisu izdvojena. Područja vrlo velike ranjivosti vodonosnika prema SINTACS metodi nalaze se uz rijeku Savu, u okolici Slavanskog i Bosanskog Šamca te Kruševica. Prema SINTACS metodi područje regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci se nalazi na prostoru gdje je podjednako zastupljena srednja i visoka ranjivost. Temeljem Njemačke metode istraživano područje raspodijeljeno je u četiri kategorije, područje vrlo visoke ranjivosti nije evidentirano. Područja s visokom prirodnom ranjivosti i vrlo niskom učinkovitosti krovinskih naslaga Njemačka metoda izdvaja u južnom dijelu istraživanog prostora oko Pruda i Odžaka. Regionalno crpilište „Istočna Slavonija“ primjenom Njemačke metode nalazi se u području niske učinkovitosti krovinskih naslaga zajedno s naseljima Štitar, Županja i Babina Greda, dok se u vrlo niskoj kategoriji ranjivosti nalaze naselja Strizivojna, Vrpolje i Donji Andrijevi. Primjenom AVI metode na području istraživanja izdvojene su dvije klase ranjivosti vodonosnika: niska i vrlo niska ranjivost vodonosnika. Također, na prostoru oko rijeka Save i Bosne odnosno naselja Slavanskog i Bosanskog Šamca, Zorica, Grebnica i Kruševica, izdvojena je

niska ranjivost vodonosnika, gdje je došlo do preklapanja nešto manje dubine do podzemne vode i nešto veće vrijednosti koeficijenta hidrauličke vodljivosti te je područje dobro zaštićeno. Navedeno područje je izdvojeno kao najveći stupanj prirodne ranjivosti na širem području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ primjenom AVI metode. GOD metoda izdvaja četiri kategorije ranjivosti od niske do vrlo visoke ranjivosti vodonosnika. Kao najranjivije područje GOD metoda izdvaja područja oko rijeka Save i Bosne, u kojem se nalaze ponovno naselja Bosanski i Slavonski Šamac, Kruševica i Zorice kao i dio s najmanjim dubinama nezasićene zone. COP metoda cijelo područje istraživanja dijeli u tri kategorije, srednje, niske i vrlo niske ranjivosti vodonosnika. Vrlo malo područje uz rijeku Savu su u kategoriji srednje ranjivosti, malo područje južno od Grebnica je područje niske ranjivosti. Ostalo područje primjenom COP metode svrstano je u kategoriju vrlo niske ranjivosti vodonosnika gdje je izražena zaštitna uloga pokrovnih naslaga. Područja s vrlo niskom i niskom ranjivosti određene AVI, GOD i COP metodom zauzimaju najveći dio istraživanog prostora. Rezultati SINTACS, GOD i AVI metoda ukazuju, da su područja oko rijeka Save i Bosne tj. područja oko Slavanskog i Bosanskog Šamca, Zorica i Kruševica najranjiviji. Navedena područja su, u hidrogeološkom smislu, izdvojena kao područja s najmanjom debljinom slabopropusnih naslaga i najmanjom dubinom do podzemne vode. Usporedbom rezultata SINTACS i Njemačke metode primijećeni su vrlo slični odnosi s razlikom u rasponima odnosno kategorijama, što znači da je u pojedinim dijelovima postignuta nešto viša ranjivost. Područja s najvišim stupnjem ranjivosti, za vrijeme prosječnih razina podzemne vode, evidentirana su GOD i Njemačkom metodom, dok COP i AVI metoda izdvajaju samo nisku i vrlo nisku ranjivost, a COP metoda zanemarivo malo područje srednje ranjivosti.

Primjenom metoda SINTACS, AVI, GOD i Njemačke metode za vrijeme i prije poplave ukazano je na znatno veću prirodnu ranjivost vodonosnika na širem području regionalnog crpilišta. Treba istaknuti da su najviši stupnjevi ranjivosti u vrijeme velikih voda dobiveni također primjenom GOD i Njemačke metode.

COP metoda izdvaja samo tri kategorije prirodne i četiri kategorije specifične ranjivosti vodonosnika na širem području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonije“ Sikirevci. Vrlo malo područje oko rijeke Save se nalazi u kategoriji srednje ranjivosti vodonosnika. Područje južno od Grebnica (FBiH) nalazi se u kategoriji niske

ranjivosti dok je ostalo područje istraživanja u kategoriji vrlo niske ranjivosti. Rezultati primjene COP metode pri određivanju specifične ranjivosti pokazuju da se najveći dio područja nalazi u kategoriji vrlo niske ranjivosti na onečišćenja nitratima i lindanom. Područje niske specifične ranjivosti na nitrate i lindan nalazi se na središnjem dijelu područja istraživanja, u prostoru gdje su razine podzemne vode u vrijeme visokih voda najbliže površini, tj. debljina nezasićene zone najmanja. Jedino je područje rijeke Save okarakterizirano kao visoko i srednje ranjivo na onečišćenja nitratima i lindanom, obzirom da se radi o površinskom vodotoku koji prihranjuje okolno područje. Šire područje regionalnog crpilišta „Istočna Slavonije“ nalazi se jednim dijelom u kategoriji vrlo niske ranjivosti, a jednim dijelom u kategoriji niske ranjivosti na onečišćenje nitratima i lindanom prema COP metodi, te postoji vrlo mala vjerojatnost zagađenja podzemnih voda nitratima i lindanom u dijelu vodonosnog sustava u kojem je izvedeno regionalno crpilište „Istočna Slavonije“ Sikirevci. Krovina izgrađena od slabopropusnih glina predstavlja dobru zaštitu podzemnih voda na lokaciji crpilišta.

Zaključno, za potrebe upravljanja kakvoćom podzemnih voda na širem razmatranom području crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci nužno je usuglasiti zajednički program motrenja količina i kakvoće podzemne vode. Nužno je postaviti kontrolne piezometre na širem području regionalnog crpilišta radi praćenja antropogenih utjecaja na kakvoću podzemnih voda. To se prije svega odnosi na praćenje kakvoće podzemne vode, u procjednom horizontu, barem dva puta godišnje. Od parametara kakvoće, naročito je potrebno pratiti:

- a. organoleptička i fizikalno-kemijska svojstva: boju, miris, okus, mutnoću, sadržaj organske tvari mjerenjem utroška kalij permanganata, pH, električnu vodljivost, otopljeni kisik, agresivni ugljik dioksid, sumporovodik;
- b. kemijske tvari: makrokemijski sastav podzemne vode, tj. glavne katione i anione, fosfate, otopljeni organski ugljik, amonij ione, nitrate i nitrite, željezo, mangan, nikal, sadržaj humusnih tvari, fenole, ukupna i mineralna ulja;
- c. toksične tvari: pesticide (naročito lindan), kadmij, arsen i živu;
- d. mikrobiološka svojstva: aerobne mezofilne bakterije, koliformne bakterije, *Escherichia coli*, sulfitoreducirajuće klostridije i enterokoke.

Navedenim aktivnostima trebaju prethoditi detaljna hidrogeološka, hidrokemijska i hidrološka istraživanja. Potrebno je u što većem obimu odrediti parametre krovinskih naslaga, prije svega hidrauličku vodljivost krovinskih naslaga, kao i efektivnu poroznost te parametre transporta onečišćujućih tvari, prije svega procese sorpcije i razgradnje. Dobiveni rezultati mogli bi doprinijeti puno točnijoj validaciji prirodne i specifične ranjivosti prekograničnih vodnih cjelina, odnosno zaliha podzemnih voda. Zaštita vodonosnika, odnosno izvorišta, kroz ocjenu ranjivosti nije još uvijek prepoznata kao važan dio zaštite podzemnih voda u Republici Hrvatskoj, ali zauzima sve važniju ulogu u zaštiti podzemnih voda. Stoga je, po uzoru na druge europske zemlje, nužno da koncept određivanja prirodne i specifične ranjivosti bude sastavni dio buduće zakonske regulative, u dijelu koji se odnosi na zaštitu podzemnih voda.

13. POPIS LITERATURE

OBJAVLJENI RADOVI

AG Bodekunde (1982): Bodenkundliche Kartieranleitung. Verlag Schweizerbart, 331 S, Hannover.

Ašperger, D., Babić, S., Bolanča, T., Darbra, R. M., Ferina, S., Ginebreda, A., Horvat, A., Kaštelan-Macan, M., Klobučar, G., Macan, J., Mutavdžić Pavlović, D., Petrović, M., Sauerborn Klobučar, R., Štambuk A., Tomašić, V., Ukić, Š. (2013): Analitika okoliša. 435 str. Sveučilište u Zagrebu.

Albinet, M., & Margat, J. (1971): Cartographie de la vulnérabilité a la pollution des nappes d'eau souterraine. Proc of Moscow Symp of IAHS on Groundwater Pollution. IAHS publN No.3, 58 str.

Aller, L.T., Bennett, T., Lehr, J.H., Petty, R.J., Hackett, G. (1987): DRASTIC. A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. U.S. Environmental Protection Agency / 600/2-87/035, 455 str., Washington.

Atkins, D.H.F. & Eggleton, A.E.J. (1971): Studies of atmospheric wash-out and deposition of γ -BHC, dieldrin and p-p DDT using radio-labelled pesticides. International Atomic Energy Agency, Vienna (Austria); Proceedings series; IAEA; Symposium on use of nuclear techniques in the measurement and control of environmental pollution; Salzburg, Austria, p. 521-533.

Bačani, A. (1988): Utjecaj poljoprivrede na kvalitetu podzemnih voda s osvrtom na stanje u istočnoj Slavoniji. Zbornik radova savjetovanja „Rijeka Sava – zaštita i korištenje voda“ Jugos. akad. znan. umjet., 114-120, Zagreb.

Bačani, A. (1997): Značajke hidrauličkih granica vodonosnih slojeva na vododjelnici savskog i dravskog porječja u istočnoj Slavoniji. Disertacija. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilišta u Zagrebu.

Barišić, M. (1986): O strukturnim odnosima miocenskih naslaga i temeljnih stijena u Slavonsko-srijemskoj potolini. Nafta 37/12, 603-614, Zagreb.

- Barišić, D. (1988): Radionuklidi u umjetnim gnojivima i njihovoj utjecaj na podzemne vode, Magistarski rad, PMF, Zagreb.
- Barišić, D., Lulić, S., Miletić, P. (1990): Radionuklidi u umjetnim gnojivima i njihov utjecaj na podzemne vode. Zbornik radova jugosl. društva za zaštitu voda „Konferencija zaštite voda 90“, 442-450, Bar.
- Barišić, D., Lulić, S., Miletić, P. (1992): Radium and uranium in phosphate fertilizers and their impact on the radioactivity of waters. Wat. Res., 26, 5, 607 -611.
- Beauchamp, E.G., Trevors, J.T., Paul, J.W. (1989): Carbon sources for bacterial denitrification. Adv. Soil Sci. 10, 113-142.
- Biondić, B., Prestor, J., Biondić, R., Lapanje, A., Kapelj, S., Janža, M., Rikanović, R., Urbanc, J., Singer, D. (2002): Obmejni vodonosnici med Slovenijo in Hrvaško-Območje med Kvarnerskim in Tržaškim zalivom. Geologija, 45/2, Ljubljana, 311-318.
- Biondić, R. (2005): Zaštita voda gornjeg dijela sliva Kupe. Doktorska disertacija. RGNF. Sveučilište u Zagrebu.
- Biondić, R., Biondić, R., Rubinić, J., Meaški, H., Sanja, K., Tepeš, P. (2009): Procjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda na krškom području u Republici Hrvatskoj. 389 str., Geotehnički fakultet Varaždin
- Biondić, R., Meški, H., Biondić, B., Loborec, J. (2014): Vulnerability mapping of Novaljanska Žrnovnica spring catchment area; UNESCO-IHP projekt
- Biondić, R., Meški, H., Biondić, B., Loborec, J. (2016a): Definiranje trendova i ocjena stanja podzemnih voda na području krša u Hrvatskoj.
- Biondić, R., Meški, H., Biondić, B., Loborec, J. (2016b): Karst Aquifers Vulnerability Assessment (KAVA) method applied to the Bakar Bay catchment area in Croatia; UNESCO-IHP projekt
- Bjerg, P.J. & Christensen, T.H. (1992): Spatial and temporal small-scale variation in groundwater quality of a shallow sandy aquifer. Journal of Hydrology 131: 133-149.
- Bognar, A. (1975): Morfogeneza Banskog Brda i južne Baranje. Lesne Zaravni. Geograf. glasnik, 36-37, 17-42, Zagreb.

- Bognar, A. (1980): Tipovi reljefa kontinenetalnog dijela Hrvatske. Spomen-zbornik 30. obljetnice Geog.društva Hrvatske, 39-60, Zagreb.
- Bognar, A. (1990): Geomorfologija Baranje. Posebno izdanje Saveza geogr. društva Hrvatske, 7, 1-312, Zagreb.
- Briški, M., Brkić, Ž., Urumović, K. (2013): Konceptualni model vodonosnog sustava na širem području Sikirevaca, Zbornik radova, V savjetovanje geologa Bosne i Hercegovine, 77-78, Pale.
- Brkić, M., Galović, I., Buzaljko, R., Prtoljan, B., Jagačić, T., Kovačić, M., Magaš, N., Šparica, M., Hećimović, I., Oštrić, N., Pavelić, D., Vrhovčić, J. (1989): Osnovna geološka karta, list Vinkovci, 1:100.000. Geološki zavod, Zagreb i Geoinžinjeri OOUR Institut za geologiju, Sarajevo.
- Broers, H.P. & Van der Grift, B. (2004): Regional monitoring of temporal in groundwater quality. Journal of Hydrology 296: (1-4), 192 -220.
- Brown, C.E. (1998): Applied Multivariate Statistics in Geohydrology and related Sciences. Springer –Verlag.
- Canter, L.W. (1997): Nitrates in groundwater. Norman, Oklahoma, Lewis publishers, Boca Raton, Nw York, Tokyo.
- Capar, A. (1992): Poznavanje i istraženost hidrogeologije savskog sliva istočne Slavonije. RGN zbornik, 4, 23-35, Zagreb.
- Civita, M., & De Maio, M. (1997): SINTACS – Un sistema parametrico per la valutazione e la cartografia della vulnerabilità, degli acquiferi all'inquinamento. Metodologia & automatizzazione. Pitagora Editrice, 190 str., Bologna.
- Civita, M. (1988): Difesa Degli Acauiferi dell Alta Pianura Veneta, Stato di Inquinamento e Vulnerabilita delle Acque Sotterranee del Bacino del Branta. CNR Pubblicazione n. 20721 str., Venezia.
- Civita, M. & De Maio. (2000): SINTACS R5, a new parametric system for the assessment and automating mapping of groundwater vulnerability to contamination – Pitagora Editor (Bologna), 226 str.

- Civita, M. (2010): The Combined Approach When Assessing and Mapping Groundwater Vulnerability to Contamination. J. water Resource and Protection, 14-28.
- Crnković, B. & Bušić, M. (1970): Mineraloško-petrografski sastav nanosa rijeke Save. Zbornik radova RGN fakultet. Sveučilište u Zagrebu, 2, 133-140, Zagreb
- COST 65 (1995): Final report. „Hydrogeological aspects of groundwater protection in karstic areas“. European Commission, Report EUR 16547 EN, Directorate – General Science, Research and Development, 446 str., Brussels.
- COST 620 (2004): Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers. Final report (COST action 620), European Commission, 297 str. Brussels.
- Corniello, A., Ducci, D. & Monti, G.M. (2004): Aquifer pollution vulnerability in the Sorrento Peninsula, Southern Italy, evaluated by SINTACS method. Geofis. Int. 43/4, 575-58.
- Cvijanović, D. (1969): Seizmičnost Slavonije. Vjesnik Zavoda za geol. i geofiz. Istraž., 10/11, 71-102, Beograd.
- Devčić, K., Tonković Pražić, I., Župan, Ž. (2012): Klaster analiza: primjena u marketinškim istraživanjima, Zbornik radova Međimurskog veleučilišta u Čakovcu, Vol.3 No 1, str.15-22
- DoELG/EPA/GSI (1999): Groundwater protection schemes. Department of Environment and Local Government, Environmental Protection Agency and Geological Survey of Ireland, 24 str, Dublin.
- Đurović, R. (2011): Proces i koji određuju sudbinu pesticida u zemljištu. Institut za pesticide i zaštitu životne sredine. Pestic. Fitomed., 26(1),211, 9-22, Beograd.
- ESRI (2012): ArcGIS Desktop: Release 10.1. ArcGIS® and ArcMap™ are the intellectual property of Esri and are used herein under license. Copyright © Esri. All rights reserved.
- Filipović, V. (2012): Primjena numeričkog modeliranja u procjeni kretanja vode i koncentracije nitrata u uvjetima hidromorfnih tala. Disertacija. Agronomski fakultet, 175 str. Sveučilište u Zagrebu.

- Foster, S.S.D. (1987): Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection atrategy of Soil and Groundwater Pollutants. Ured. W. van Duijvenbooden & H.G. von Waegeningh. TNO Committee on Hydrological Research Proceedings and Information 38, 69-86, The Hague.
- Foster, S.S.D. (2000): Assessing and controlling the impacts of agriculture on groundwater – from barley barons to beef bans. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology 33: (4), 263-280.
- Freeze, R. A. & Cherry, J. A. (1979): Groundwater. Pretince- Hall Inc. Engle-wood Cliffs, NJ.
- Gogu, R.C. & Dassargues, A. (2000): Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and indeks methods. Environmental Geology 39 (6), 549 -559.
- Galović, I., Brkić, M., Buzaljko, R. (1989): Tumač za list Vinkovci, L 34-98, Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Institut geoloških istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, str.49, Beograd.
- Gorjanović-Kramberger, D. (1913): Fosilni rinocerotidi Hrvatske i Slavonije s osobitim osvrtom na Rinoceros Mercki iz Krapine. Djela Jugosl. akad. znan. umjet., 22, 1-70, Zagreb.
- Gorjanović-Kramberger, D. (1922): Morfolojijske i hidrografijske prilike prapornih predjela u Srijemu te pograničnih česti županije virovitičke. Glasnik Hrv. prir. društva, 34/2, 111-164, Zagreb.
- Grgić, S., Horvatinčić, N., Miletić, P. (1992): Radiocarbon and tritium measurement of groundwaters in Eastern Slavonia, Geološki vjesnik, 44, 309-312, Zagreb.
- Grimmer, J. (1899): Fossile Säugethierreste aus der Save. Wiss. Mitt. Bosn.-Herz., 6, 842-850, Wien.
- Haček, M. & Oluić, M. (1969): Prikaz rezultata fotogeološke interpretacije srednje i istočne Slavonije. Nafta, 20/7, 333-336, Zagreb.
- Hackten Broeke, M.J.D., De Groot, W.J.M., Dijkstra, J.P. (1996): Impact of excreted nitrogen by grazing cattle on nitrate leaching. Soil Use and Management 12: (4), 190-198.

- Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R.E. (2010): *Multivariate Data Analysis-A Global Perspective*, Upper Saddle River NJ, Pearson Education, 816 str.
- Hernitz, Z. (1970): About the structural and tectonic relations in the area of Eastern Slavonia (Pannonian Basin). *Bull sci.Cons. Acad. Yougosl.*, (A), 15/9-10, 311-312, Zagreb.
- Hernitz, Z. (1983): Dubinski strukturno-tektonski odnosi u području istočne Slavonije. Disertacija. Jugosl. komitet svjet. Kogr. Za naftu, „Nafta“, 1.221, Zagreb.
- Howarth, R.W. & Marino, R. (2006): Nitrogen as the limiting nutrient for eutrofication in coastal marine ecosystems: evolving views over three decades. *Limnology and Oceanography* 51: 364 -376
- Hölting, B., Haertle, T., Hohberger, K.H., Nachtigall, K.H., Villinger, F., Weinzierl, W. Wrobel, J.P. (1995): Konzept zur Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. *Geol. Jb.*, C63, 5-24, Hannover.
- Ivić, I. & Galović, J. (2013): Heterogena fotokatalitička razgradnja terbutilazina u otpadnim vodama. Fakultet kemijskog inženjerstva u Zagrebu. 60 str.Zagrebu – rad za rektorovu nagradu
- Janeković, Đ. (1970): Pedološke karakteristike Slavonije i Baranje. *Zbornik radova I. znan. sabora Slavonije i Baranje*, 155-176, Osijek.
- Janeković, Đ. & Pichler-Sajler, A. (1976): Pedološka slika Đakovštine. „Zbornik Đakovštine“ I. Centar za znan. rad Vinkovci. Posebno izdanje, 3, Jugosl. akad. znan. umjet., 21-54, Zagreb.
- Janža, M. & Prestor, J. (2002): Ocena naravne ranjivosti vodonosnika v zaledju izvira Rižane po metodi SINTACS. *Geologija, Ljubljana*, 45/2, 401-406.
- Kapelj, S., Kapelj, J., Biondić, R., Singer, D. Picer, M. (2005): The approach of the groundwater vulnerability assessment in the area of the Zadar town with regard to PCB and other contaminants. *Knjiga sažetaka 3. Hrvatskog geološkog kongresa Opatija, HGI, Zagreb*, 197-198.
- Kapelj, S., Kapelj, J., Singer, D., Obelić, B., Horvatinčić, N., Babinka, S., Suckow, A., Brianso, H.L. (2007): Risk assessment of groundwater in the area of

- transboundary karst aquifers between the Plitvice Lakes und Una River catchment, Second International Conference on Water in protected Areas, Nakić, Z. (ur.). Zagreb:Kopriva-graf, 86-90.
- Kapelj, S., Loborec, J., Kapelj, J. (2013): Assessment of aquifer intrinsic vulnerability by the SINTACS method. // *Geologia Croatica*, 66 (2).
- Kavouri, K., Plagnes, V., Tremoulet, J., Dörfliker, N., Rejiba, F. Marchet, P. (2011): PaPRIKa: a method for estimating karst resource and source vulnerability – application to the Ouyse karst system (southwest France). *Hydrogeology Journal* 19, 339-353.
- Korom, S.F. (1992): Natural Denitrification in the Saturated Zone: A Review. *Water Resources Research* 28 (6): 1657-1668.
- Kovačević, P., Kalinić, M., Pavlić V. (1976): Detaljna klasifikacija tala i izrada pedološke karte posavine, mjerila 1:50.000. Zemljište i biljke br., 13. Beograd.
- Kovačić, D., Bačani, A., Miletić, P., Mayer, D. (1986): Utjecaj geomehaničkih značajki slabopropusnih naslaga na prihranjivanje vodonosnih slojeva. Zbornik radova 2. Jugosl.kongres o vodama, 430-438, Ljubljana.
- Kranjec, V. & Prelogović, E. (1974): O paleogeografskim i neotektonskim odnosima u tercijaru i kvartaru na teritoriju SR Hrvatske. *Geol. Vjesnik*, 27, 95-112, Zagreb.
- Kubiak, R., Cousins, I., Hourdak, A. (2008): Pesticides in air: Considerations for exposure assesment, Focus, EU, SANCO/10553/2006, 2008.
- Larva, O. (2008): Ranjivost vodonosnika na priljevnom po području Varaždinskih crpilišta. Disertacija. RGNF, 198 str. Sveučilište u Zagrebu.
- Ledoux, E., Gomez, E., Monget, J.M. Viavattene, C., Viennot, P., Ducharne, A., Benoit, M., Mignolet, C., Schott, C., Mary, B (2007): Agriculture and groundwater nitrate contamination in the Seine basin. The STICS-MODCOU modelling chain. *Science of the Total Environment* 375: (1-3): 33-47.
- Lexov, C., Carrica, J., Bonorino, A. G. (1994): Vulnerabilidad a la contaminación del sistema acuífero freático de la cuenca superior del arroyo Napostá Grande,

- provincia de Buenos Aires, Argentina. Utilización de los métodos DRASTIC y DIOS. Proc. 2^{ndo} congreso latinoamericano de hidrologia subterránea, 67-74.
- Loborec, J. (2013): Procjena rizika od onečišćenja podzemnih voda u kršu na području sliva izvora Jadra i Žrnovnice. Disertacija. RGNF.191 str. Sveučilište u Zagreb.
- Loborec, J., Kapelj, S., Dogančić, D., Ptiček, Siročić, A. (2014): Assessment of groundwater vulnerability in Croatian karstic aquifer in Jadro and Žrnovnica springs catchment area // Hydrogeological and Environmental Investigation in Karst System / Andrei, Bartolome; Carrasco, Francisco; Duran, Juan Jose; Jimenez, Pablo; LaMoreaux, James W. (ur.). Madrid: Springer Verlag, 2014, str. 397-407.
- Lobo-Ferreira, J.P. & Oliveira, M.M. (2004): Groundwater vulnerability assessment in Portugal. Geofisica Internacional, 43, 4, 541 -550, Institute of Geophysics of the National Autonomus University of Mexico, Mexico.
- Lončarić, Z., Rastija, D., Baličević, R., Karalić, K., Popović, B., Ivezić, V. (2014): Plodnost i opterećenost tala u pograničnom području. Poljoprivredni fakultet Osijek, 74 str. Osijek.
- Mahlknecht, J., Medina-Mejia, M.G., Garfias-Solis, J., Cano-Aguilera, I. (2006): Intrinsic aquifer vulnerability assessment: validation by environmental tracers in San Miguel de Allende, Mexico. Environmental Geology, 51, 3, 477-491, Springer, Berlin/Heidelberg.
- Mali, N. & Janža, M. (2005): Ocena ranjivosti vodonosnika s SINTACS modelom v GIS okolju. Geologija, 48/1, Ljubljana, 127 -140.
- Margot, J. (1968): Vulnérabilité des nappes d'eau souterraine á la pollution (Groundwater vulnerability to contamination). Basas de la cartographie, BRGM, 68 SGL 198 HYD, Orléans.
- Marisico, A., Giuliano, G., Pannetta, L., Vurro, M. (2004): Intrinsic vulnerability assessment of the south.eastern Murge (Apulia, southern Italy). Natural Hazards and Earth System Sciences, 4, 769-774, Copernicus, Germany.

- Mesić, M., Bašić, F., Kisić, I., Butorac, A., Gašpar, I. (2003): Utjecaj gnojidbe mineralnim dušikom na sadržaj nitrata u tlu i na koncentraciju NO₃-N u vodi drenskih cijevi. Zbornik radova. 3. Hrvatska konferencija o vodama (359-367).
- Mesić, M., Zgorelec, Ž., Kisić, I., Butorac, A., Gašpar, I. (2009): Losses of NO₃-n in drainpipe at different nitrogen fertilization levels. Zbornik radova- Water policy 2009 – Water as a vulnerable and Exhaustible Resource, 234-237, Prag.
- Meški, H. (2011): Model zaštite krških vodnih resursa na primjeru Nacionalnog parka „Plitvička jezera“. Doktorska disertacija. RGNF. 210 str. Sveučilište u Zagrebu.
- Miletić, P. (1969): Hidrogeloške karakteristike sjeverne Hrvatske. Geol. Vjesnik 22, 511-524, Zagreb.
- Miletić, P., Nowinski, A., Urumović, K. (1975): O drugoj hidrogeološkoj zoni sjeverne Hrvatske. Zbornik radova. RGN fakulteta, 97-100, Zagreb.
- Miletić, P., Urumović, K., Blašković, V. (1975a): Regionalna hidrogeološka istraživanja i hidrogeološka rajonizacija sjeverne Hrvatske, Zbornik radova RGN fakulteta, 93-95, Zagreb.
- Miletić, P. & Urumović, K. (1975): O geološkom okviru hidrogeoloških značajki savske doline u Hrvatskoj. Zbornik radova RGN fakulteta, 101-105, Zagreb.
- Miletić, P., Biondić, B., Urumović, K., Mayer, D. (1976): Opće hidrogeološke značajke SR Hrvatske. Planerski atlas SR Hrvatske.
- Miletić, P., Bačani, A., Mayer, D., Capar, A. (1986c): Prilog poznavanju hidrogeoloških značajki prve hidrogeološke zone na području istočne Slavonije. Geološki vjesnik, 39, 137-150, Zagreb.
- Miletić, P., Heinrich-Miletić, M., Bačani, A. (1993): Konceptualni hidrogeološki model za hidrogeološki sustav istočne Slavonije. RGN zbornik, 5, 65-73, Zagreb.
- Ministarstvo poljoprivrede, ribarstva i ruralnog razvoja (2011): Plan za poljoprivredu i ruralni razvoj 2007. – 2013. godinu. IPARD program, Zagreb.
- Mutić, R. (1988): Korelacija kvartara istočne Slavonije na osnovi podataka mineraloško-petrografskih analiza (Istočna Hrvatska, Jugoslavija). Dio I:

- Dravska potolina. Acta geologica, 19/1, Prir. istraž. 59, Jugosl. akad. znan. umjet. 1-60, Zagreb.
- Mutić, R. (1990): Korelacija kvartara istočne Slavonije na osnovi podataka mineraloško-petrografskih analiza (Istočna Hrvatska, Jugoslavija). Dio II: Lesni ravnjak. Acta geologica, 20/2, Prir. istraž. 60, Jugosl. akad. znan. umjet. 29-80, Zagreb.
- Mutić, R. (1993): Korelacija kvartara istočne Slavonije na osnovi podataka mineraloško-petrografskih analiza (Istočna Hrvatska). Dio III: Slavonsko-srijemska potolina. Acta geologica, 23/1, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti. 1-37, Zagreb.
- Nakić, Z., Bačani, A., Vlahović, T. (2001): Antropogeni utjecaj na podzemne vode crpilišta Strmec (Zagreb, Hrvatska). Rudarsko-geološko-naftni zbornik 13: 25-38.
- National Research Council (NRC) (1993): Groundwater Vulnerability Assessment. Predicting Relative Contamination Potential Conditions of Uncertainty. National Academy Press, 204 str., Washington, D.C.
- Oblačić, J. (2014): Koncentracija nitratnog i amonijačnog oblika dušika u podzemnim vodama. Diplomski rad. 41 str. Poljoprivredni fakultet u Osijeku
- Oreščanin, V. (2013): Arsen u vodama - porijeklo, toksični učinak i metode uklanjanja. Hrvatske vode, 7-16, Zagreb.
- Pekaš, Ž. & Brkić, Ž. (2007): Crpilište Regionalnog vodovoda istočne Slavonije – rezultati tridesetogodišnjeg istraživanja. 4. Hrvatska konferencija o vodama. 16-19 svibnja 2007, Opatija, 779-786.
- Pochon, A., Tripet, J.-P., Kozel, R., Meylan, B., Sinreich, M., Zwahlen, F. (2008): Groundwater protection in fractured media: a vulnerability – based approach for delineating protection zones in Switzerland. Hydrogeology Journal, vol. 16, 1267-1281.
- Polemio, M., Casarano, D., Limoni, P.P. (2009): Karstic aquifer vulnerability assessment methods and results at a test site (Apulia, Southern Italy). Nat. Hazard. Earth. Sys. 9, 1461 – 1470.

- Porto, A. L., Melgar. G. Z., Kasemdel, M. C., Nitschke, M. (2011): Biodegradation of pesticides. Publisher In Tech, Brazil, ISBN: 978-953-307-459-7.
- Pratt, P.F., Jones, W.W., Hunsaker, V.E. (1972): Nitrate in deep soil profiles in relation to fertilizer rates and leaching volume. Journal of Environmental Quality, (1), 97-102, ASA, CSSA, SSSA, Madison
- Prelogović, E. (1975): Neotektonska karta SR Hrvatske. Geol. Vjesnik, 28, 97-108, Zagreb.
- Prelogović, E., Cvijanović, D. (1976): Kvartarne tektonske deformacije i seizmogene zone Hrvatske. 8. Jug. Geol. Kongres, 3, 175-185, Ljubljana.
- Roglić, J. (1975): Istočna Hrvatska-prirodna obilježja. Iz „Geografija SR Hrvatske“, knj. 3, 1-256, „Šk.knjiga“, Zagreb.
- Rowland, H.A.L., Omeregic, E.O., Millot, R., Jimenez, C., Mertens, J., Baci, C., Hug, S.J., Berg, M. (2011): Geochemistry and arsenic behaviour in groundwater resources of the Pannonian Basin (Hungary and Romania). Applied Geochemistry, 26(1), 1-17.
- Sokač, A. (1976): Pleistocenska fauna ostrakoda iz nekih bušotina u istočnoj Slavoniji (sjeverna Hrvatska). Geol. Vjesnik 29, 159-172, Zagreb.
- Srkalović, D. (2010): Ranjivost vodnih tijela podzemnih voda područja sjeveroistočne Bosne. Magistarski rad. RGGF. Univerzitet u Tuzli.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th edition,(1995), American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- STATISTICA 8 (2006), Statsoft Corporation, Tulsa, USA.
- Struckmeier, F.W &Margat, J. (1995): Hydrogeological maps, a guide and a standard legend, IAH, Volume 17, 177 p.
- Šimon, J. (1973): O litostratigrafskom stupu tercijarnih naslaga u području istočne Slavonije. Nafta, 24/3, 119-127, Zagreb.

- Škorić, A. (1985): Priručnik za pedološka istraživanja. Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb.
- Šparica, M., Marinčić, S., Sikirica, V., Galović, I., Marković, S., Mamužić, P., Oštrić, N., Avanić, R., Buzaljka, R., Mojičević, M., Laušević, M. (1986): Osnovna geološka karta, list Slavonski Brod, 1:100 000. Geološki zavod, Zagreb i Geoinžinjeri OOUR Institut za geologiju, Sarajevo.
- Šparica, M., Buzaljković, R., Pavelić, D. (1987): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, Tumač za list Slavonski Brod, L 34-97., Sav. geol. zavod, 1-56, Beograd.
- Uhan, J., Pezdič, J., Civita, M. (2008): Assessing groundwater vulnerability by SINTACS method in the Lower Savinja Valley, Slovenia. RMZ – Materials and Geoenvironment, 55/3, 363-376.
- Ujević, M., Duic, Ž., Casiot, C., Šipoš, L., Santo, V., Dadić, Ž., Halamić, J. (2010): Occurrence and geochemistry of arsenic in the groundwater of Eastern Croatia, Applied Geochemistry, 25, 1017-1029.
- Uricchio, V.F., Giordano, R., Lopez, N. (2004): A fuzzy knowledge-based decision support system for groundwater pollution risk evaluation. Journal of Environmental Management, 73, 3, 189 -197, Elsevier, Amsterdam.
- UNDP/GEF Danube Regional Project (2004): Policies for the control of Agricultural Point and non-point Sources of Pollution & Pilot Projects on Agricultural Pollution Reduction (Project outputs 1.2 and 1.3) Inventory of mineral Fertiliser in the Danube river Basin Countries with Reference to Manure and Land Management Practices.
- UNDP/GEF Danube Regional Project (2010): Policies for the control of Agricultural Point and non-point Sources of Pollution & Pilot Projects on Agricultural Pollution Reduction (Project outputs 1.2 and 1.3) Inventory of mineral Fertiliser in the Danube river Basin Countries with Reference to Manure and Land Management Practices.
- Urumović, K. & Sokač A. (1974): O kvartarnim naslagama Županje (istočna Slavonija, SR Hrvatska). Geol. Vjesnik 27, 319-330, Zagreb.

- Urumović, K., Hernitz, Z., Šimon, J. (1978): O kvartarnim naslagama istočne Posavine (SR Hrvatska). *Geološki vjesnik*, 30/1, 297-308, Zagreb.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (1993): A review of Methods for Assessing Aquifer Sensitivity and Ground Water Vulnerability to Pesticide Contamination. Draft. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- Van Stempvoort, D., Ewert, D., Wassenaar, L. (1992): AVI: A method for groundwater protection mapping in the prairie provinces of Canada. *Prairie Provinces Water Board Report* 114, Regina, SK.
- Van Stempvoort, D., Ewert, D., Wassenaar, L. (1993): Aquifer vulnerability indeks. A GIS- compatible method for groundwater vulnerability mapping. *Canadian Water Resources Journal*, Vol. 18, no.1, 25-37.
- Vargas, M.J.jr. (1975): Pesticide degradation, *Journal of Arboriculture*, East Lansing, Vol. 1, No. 12, 1975.
- Vias, J. M., Andreo, B., Perles, M.J., Carrasco, F., Vadillo, I., Jiménez, P. (2002): Preliminary proposal of a method for vulnerability mapping in carbonate aquifers. In: *Karst and Environment* (F. Carrasco, J.J. Duran and B. Andreo, Eds.), 75-83.
- Vias, J. M., Andreo, B., Perles, M.J., Carrasco, F., Vadillo, I., Jiménez, P. (2006): Proposed method for groundwater vulnerability mapping in carbonate (karstic) aquifers: the COP method. *Hydrogeology Journal*, 14, 912-925.
- Vidaček, Ž., Bogunović, M., Husnjak, S., Sraka, M., Bensa, A., Petošić, D. (2003): Hidropedološka karta Republike Hrvatske s tumačem, M 1:300000. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Vrba, J. & Zaporozec, A.(eds) (1994): *Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability*. International Association of Hydrogeologists. Verlag Heinz Heise, 131 str.,Hannover.
- Vujnović, T. (2010): Hidrogeološke značajke parka prirode „Žumberak – Samoborsko gorje“. Disertacija. RGNF, Sveučilište u Zagrebu.

Wakida, F.T. & Lerner, D.N. (2005): Non-agricultural sources of groundwater nitrate: a review and case study. *Water Research* 39: (1), 3-16.

Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec-Tadić, M., Vučetić, M., Milković, J., Bajić, A., Cindrić, K., Cvitan, L., Katušin, Z., Kaučić, D., Likso, T., Lončar, Ž., Mihajlović, D., Pandžić, K., Patarčić, M., Srnec, L., Vučetić, V. (2008): *Klimatski atlas Hrvatske 1961-1990, 1990. – 2000.* Državni hidrometeorološki zavod. Zagreb.

Zeljko, B. (1972): Istraživanje baze sedimenata primjenom duboke refrakcije. *Nafta*, 23, 8-36, Zagreb.

TEHNIČKA IZVJEŠĆA I NEOBJAVLJENI RADOVI

Adam, M., Karavidović, P., Petrić, M., Konstatinović, B., Ćurić, M., Kričkić, D., Vihovanec, M., Šaponja, Z. (1987): Crpilište Kanovci, utjecaj tekućih djelatnosti na kvalitetu podzemne vode i određivanje zona sanitarne zaštite za crpilište te utjecaj crpilišta na okoliš. Pedološko klimatske karakteristike i poljoprivredna aktivnost. Prethodna studija utjecaja na okolinu. BTZNC-OOOR Poljoprivredni fakultet Osijek, Zavod za pedologiju, Osijek.

Bačani, A., Miletić, P., Miletić, M. (1989): Zalihe podzemnih voda crpilišta Vinkovci. Studija RGN fakultet, Zagreb. 22 str., 8 priloga.

Bagarić, I., Matić, Z., Marušić, R., Sedlar, Z., Sruk, S. (1995): Izvješće o rezultatima istraživanja utjecaja kanala Dunav-Sava na kvalitetu podzemne vode u području crpilišta budućeg regionalnog vodovoda Istočne Slavonije. IGH Zagreb, Zagreb.

Bahovec, V. (2011): Multivarijatna analiza, Predavanje iz skripte Ekonomskog fakulteta u Zagrebu, Sveučilište u Zagrebu, 11 str.

Brkić, Ž., Bagarić, I., Larva, O., Bačani, A., Dolić, M. (2005): Hidrogeološka istraživanja u cilju definiranja eksploatacijskih zaliha podzemne vode na potencijalnom regionalnom crpilištu „Gundinci-Sikirevci“. Hrvatski geološki institut Zagreb, Zagreb.

Brkić, Ž., Bagarić, I., Dolić, S., Kolarić, J. (2008): Definiranje eksploatacijskog režima crpljenja na crpilištu vodovoda istočne Slavonije u Sikirevcima. Hrvatski geološki institut Zagreb, Zagreb.

- Ćerić, A., Honić, E., Balta, V., Zerem, N., Dedić, H., Šaravanja, J., Čustović, H., Stefanjuk, J. (2008): Projekt zaštite izvorišta vodovoda u Odžaku. Institut za hidrotehniku građevinskog fakulteta u Sarajevu
- Fundurulja, D., Domanovac, T., Mrkoci, S., Burazin, J., Franolić, V., Novak Mujanović, S., Mužinić, M., Pašalić, G., Plantić, K. (2014): Elaborat zaštite okoliša. Gradsko odlagalište Županja. Ocjena o potrebi procjene. IPZ Uniprojekt MCF, Zagreb.
- ITD d.o.o. Osijek (2014): Operativni program zaštite okoliša 2007 – 2013. Poboljšanje vodnokomunalne strukture-aglomeracije Županja. Osijek
- Klanjac, D. & Ratkaj, I. (1993): Izvješće o izradi strukturno-pijezometarskih bušotina CrN-1 i CrN-2 i zdenaca CrNB-1 i CrNB-2 na crpilištu „Cerna“-Vinkovci. Zagreb.
- Klanjac, D. & Ratkaj, I. (1996): Izvješće o izradi zdenaca CrNB-4 i CrNB-5 na crpilištu „Cerna“ Cerna. Zagreb.
- Mayer, D., Miletić, P., Plančić, A. (1981): Istraživanje i studija rezervi podzemnih voda na regionalnom vodovodu Istočna Slavonija II; Kvaliteta i zaštita podzemnih voda slavonske Posavine. RGN fakultet. Zagreb.
- Mesić, M., Bašić, F., Grgić, Z., Igrc-Barčić, J., Kisić, I., Petošić, D., Posavi, M., Romić, D., Šimunić, I. (2002): Procjena stanja, uzorka i veličine pritiska poljoprivrede na vodne resurse i mora na području Republike Hrvatske. Studija.
- Miletić, P., Mayer, D., Capar, A. (1978): Studija rezervi podzemnih voda istočne Slavonije, II. Faza. RGN fakultet, Zagreb. 72 str., 6 priloga.
- Miletić, P., Heinrich-Miletić, M., Župarić, A., Mayer, D. (1980): Đakovo-Trslana: Eksploatacijske rezerve podzemnih voda. RGN fakultet, Zagreb. 24 str., 9 priloga.
- Miletić, P., Župarić, A., Mayer, D., Minčir, Ž., Blašković, V. (1980a) Studija mogućnosti formiranja novih crpilišta za vodovod Sl. Brod. U „Opskrba vodom Brodskog Posavlja“, 123-131, Vodovod Slavonski Brod.

- Miletić, P., Mayer, D., Bačani, A., Heinrich-Miletić, M. (1981): Vinkovci-ocjena mogućnosti povećanja eksploatacije podzemnih voda-Studija. RGN fakultet, Zagreb 39 str., 11 priloga.
- Miletić, P., Capar, A., Mayer, D., Turić, G., Plančić, A., Župarić, A. (1981b): Studija rezerve podzemne vode istočne Slavonije. III faza. RGN fakultet. Zagreb. 72 strana., 14 priloga.
- Miletić, P., Mayer, D., Heinrich-Miletić, M., Plančić, A., Capar, A. (1981a): Istraživanje i studija rezervi podzemnih voda u prvom vodonosnom sloju za crpilište regionalnog vodovoda. RGN fakultet. Zagreb. 48 str., 8 priloga.
- Miletić, P., Mayer, D., Bačani, A., Miletić, M., Bošković, D., Hrženjak, G., Grgas, T., Penović, I. (1985): Hidrogeološka studija s prijedlogom programa dopunskih istražno-eksploatacijskih objekata na crpilištu te prijedlogom zaštitnih mjera na užem području crpilišta. RGN fakultet, Zagreb. 37 str.
- Miletić, P., Mayer, D., Bošković, D., Heinrich-Miletić, M., Plančić, A., Capar, A. (1985a): Regionalno crpilište istočne Slavonije. Studija rezervi podzemnih voda. II faza. RGN fakultet, Zagreb. 63. str.
- Miletić, P., Bošković, D., Gjetvaj, G., Mayer, D., Heinrich-Miletić, M., Klanjec, D. (1986): Hidrogeološka istraživanja istočne Slavonije. I dio. Regionalno crpilište istočne Slavonije I vodonosni sloj: Matematički model. RGN fakultet. Zagreb.
- Miletić, P., Bačani, A., Kovačić, D., Bošković, D., Klanjac, D. (1986a): Hidrogeološka istraživanja istočne Slavonije. II dio. Crpilište Vinkovci-Rezerve. RGN fakultet, Zagreb. 67 str., 11 priloga.
- Miletić, P. & Bačani, A. (1986b): Regionalno crpilište istočne Slavonije. Namjena i zaštita prostora. Zagreb.
- Miletić, P., Heinrich-Miletić, M., Bačani, A. Bačani, Z., Grgić, S. (1989): Matematički model II. vodonosnog sloja na području istočne Slavonije. Studija. RGN fakultet, Zagreb. 65. str.
- Miletić, P., Capar, A., Bačani, A. (1989a): Interpretacija dosadašnjih hidrogeoloških podataka za podlogu novelacije studije hidrotehničkog rješenja regionalnog vodovoda istočne Slavonije. RGN fakultet, Zagreb. 27. str., 5 priloga

- Miletić, P. & Grgić, S.(1989): Kanal Sava-Dunav - Regionalno crpilište istočne Slavonije (međusobni utjecaj-procjena). Zagreb.
- Miletić, P., Capar, A., Gjetvaj, G., Heinrich-Miletić, M. (1991): Prethodna studija zaliha podzemnih voda crpilišta Vinkovci-Cerna. RGN fakultet, Zagreb, 68 str.
- Nakić, Z. & Mayer, D. (2003): Elaborat prve faze istraživanja s prijedlogom zaštitnih zona crpilišta Vrpolje. RGN fakultet Zagreb, Zagreb.
- Nakić, Z., Mayer, D., Žugaj, R. (2004): Elaborat prve faze istraživanja s prijedlogom zaštitnih zona ležišta vode uz rijeku Savu na lokaciji Lužani. RGN fakultet Zagreb, Zagreb.
- Nakić, Z. & Žugaj, R. (2007): Elaborat zaštitnih zona izvorišta Županja. RGN fakultet Zagreb, Zagreb.
- Nakić, Z. & Žugaj, R. (2008): Elaborat zaštitnih zona izvorišta „Berava“-Babina Greda, „Topolik“ - Privlaka i „Sojara“ - Vrbanja. RGN fakultet Zagreb, Zagreb.
- Petošić, D. (2002): Vodni režim i stanje tala na području donjeg toka kanala Dunav-Sava s monitoringom. Studija. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za melioraciju.
- Rimac, I., Capar, A., Brkan, T. (1977): Vodoistražni i vodozahvatni radovi Vinkovci 1977. Pokusno –eksplotacioni bunar BV-12 Velika Kopanica. Zagreb.
- Rimac, I., Capar, A., Brkan, T. (1977a): Vodoistražni i vodozahvatni radovi Vinkovci 1977. Strukturno-pijezometarska bušotina V-13 Slavonski Šamac. Zagreb.
- Rimac, I., Capar, A., Brkan, T. (1977b): Vodoistražni i vodozahvatni radovi Vinkovci 1977. Strukturno-pijezometarska bušotina V-16 Babina Greda. Zagreb.
- Rimac, I., Foretić, J., Brkan, T. (1977c): Vodoistražni i vodozahvatni radovi Vinkovci 1980. Pokusno –eksplotacioni bunar BV-51 Sikervci. Zagreb.
- Rimac, I., Capar, A., Brkan, T. (1980): Vodoistražni i vodozahvatni radovi Vinkovci 1978/80. Istražno-pijezometarske bušotine V-49, V-50, V-51- Sikervci. Zagreb.

- Rimac, I., Capar, A., Brkan, T., Foretić, J. (1981): Vodoistražni i vodozahvatni radovi Vinkovci 1978/80//81. Istražno pijezometarske bušotine V-32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,45,46,47. Zagreb
- Rimac, I., Capar, A., Brkan, T., Foretić, J. (1984): Vodoistražni radovi na regionalnom crpilištu Istočne Slavonije. Vinkovci 1984. Strukturno-pijezometarske bušotine SB-1,2,3,4,5 i P-1,2,2A,3,4,5 i 6. Zagreb
- Rimac, I., Capar, A., Brkan, T., Foretić, J. (1985): Vodozahvatni radovi na regionalnom crpilištu istočne Slavonije. Vinkovci 1984/85. Bunari B-1 i B-2 (Babina Greda). Zagreb.
- Romić, D., Brkić, Ž., Špoljar, S., Husnjak, S., Mesić, M., Salajpal, S., Barić, B., Poljak, M., Romić, M., Konjačić, M., Vnućec, I., Bakić, H., Bubalo, M., Zovko, M., Matijević, L., Lončarić, Z., Kušan, V., Larva, O. (2014): Utjecaj poljoprivrede na onečišćenja površinskih i podzemnih voda u Republici Hrvatskoj. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Sipos, L., Ribčić, N., Štembal, T., Novak, I., Markić, M., Zokić, N. (1999): Izvještaj o rezultatima pripreme vode za piće za potrebe novog vodocrpilišta „Babina Greda“. Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije. Sveučilište u Zagrebu. Zagreb.
- Svetina, B., Filipović, B., Stojanović, N. (2005): Izvještaj o izvođenju vodoistražnih radova na regionalnom crpilištu Babina Greda-Gundinci. Izrada istražno-eksploatacijskih zdenaca. Zagreb.
- Svetina, B., Filipović, B., Stojanović, N. (2007): Izvještaj o izvođenju vodoistražnih radova na crpilištu regionalnog vodovoda Istočne Slavonije. Izrada Istražno-eksploatacijskih zdenaca. II faza. Zagreb.
- Tusić, V., Vrhovac, G., Tomljanović, N. (2006): Vodoistražni radovi na crpilištu regionalnog vodovoda istočne Slavonije. Izrada istražno-pijezometarskih bušotina. Osijek.
- Urumović, K., Miletić, P., Turić, G., Blašković, V. (1973): Vodoopskrba Vinkovaca. Hidrogeološke značajke i program izrade zahvata podzemnih voda. RGN fakultet, Zagreb. 18 strana, 2 priloga.

Urumović, K. (1974): Vodoopskrba istočne Slavonije. Hidrogeološki uvjeti i zalihe podzemnih voda na regionalnom crpilištu Štitar i Županja. RGN fakultet. Zagreb. 55 str., 23 priloga.

Urumović, K., Hernitz, Z., Šimun, J., Tišljar, J., Sokač, A., Velić, J.(1976): Studija određivanja zaliha podzemnih voda u istočnoj Slavoniji. RGN fakultet. Zagreb. 118 str., 20 priloga.

ZAKONSKA REGULATIVA:

Akcijski program zaštite voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima poljoprivrednog porijekla (Narodne novine 15/13)

Direktiva za pitku vodu Europske unije (98/83/EC)

Nitratna direktiva Europske unije (91/676/EEC)

Odluka o utvrđivanju ranjivih područja u Republici Hrvatskoj (Narodne novine 130/12)

Strategija upravljanja vodama (Narodne novine 91/2008)

Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (Narodne novine 125/13; 141/13)

Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zonama sanitarne zaštite izvorišta (Narodne novine 6/11; 47/13)

Pravilnik o utvrđivanju zona sanitarne zaštite izvorišta (Narodne novine 55/02)

Prostorni plan Vukovarsko–srijemske županije, PPVSŽ (2002): Službeni vjesnik Vukovarsko srijemske županije, 7/02, 3/11

Prostorni plan Brodsko-posavske županije, PPBPŽ (2001): Službeni vjesnik Brodsko-posavske županije, 12/01, 6/05, 17/6

Prostorni plan Osječko-baranjske županije, PPOBŽ (2002): Službeni glasnik Osječko-baranjske županije, 1/02, 4/10

Zakon o vodama (Narodne novine 153/09; 63/11; 130/11; 56/13; 14/14)

Zakon o vodi za ljudsku potrošnju (Narodne novine 56/13; 64/15)

ILUSTRACIJE

POPIS SLIKA:

Slika 3.1. Prostorni položaj područja istraživanja

Slika 3.2. Reljefna karta s prikazom istraživanog područja

Slika 3.3. Srednje godišnje oborine za razdoblje od 2000. - 2014. Godine na hidrometeorološkim postajama Slavonski Brod, Đakovo, Županja i Vinkovci

Slika 3.4. Unutrašnja raspodjela srednjih količina oborina u Slavonskom Brodu, Vinkovcima, Đakovu i Županji za razdoblje od 2000. - 2014. godine

Slika 3.5. Srednje mjesečne temperature u Slavonskom Brodu, Vinkovcima, Đakovu i Županji za razdoblje od 2000. - 2014. godine

Slika 3.6. Unutargodišnja raspodjela srednje mjesečne relativne vlaga zraka u Slavonskom Brodu, Vinkovcima, Đakovu i Županji za razdoblje od 2000. - 2014. godine

Slika 4.1. Karta litostratigrafskih jedinica i tektonika istraživanog prostora (prema BRKIĆ et al. 1989 i ŠPARICA et al. 1986)

Slika 5.1. Litološki profil 1-1': Velika Kopanica - Zorice – Novo Selo

Slika 5.2. Litološki profil 2-2': Domaljevac – Kostrč

Slika 5.3. Hidrogeološka karta šireg područja regionalnog crpilišta Istočna Slavonija

Slika 5.4. Položaj izvedenih strukturo-piezometarskih bušotina i pokusno-eksploatacijskih zdenaca na lokaciji regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“

Slika 5.5. Litološki profil 3-3': na lokaciji crpilišta Sikirevci

Slika 6.1. Dendrogram geokemijskog afiniteta pojedinih pokazatelja u uzorcima podzemnih voda sa područja Sikirevaca

Slika 6.2. Dendrogram geokemijskog afiniteta pojedinih pokazatelja u uzorcima podzemnih voda sa područja Bosanskog Šamca

Slika 6.3. Dendrogram geokemijskog afiniteta pojedinih pokazatelja u uzorcima podzemnih voda sa područja Odžaka

Slika 6.4. Prosječna vrijednost željeza i mangana u podzemnoj vodi na području Sikirevaca, Bosanskog Šamca i Odžaka

Slika 6.5. Prosječna vrijednost kalcija, klorida, magnezija, nitrata i utroška KMnO_4 u podzemnoj vodi na području Sikirevaca, Bosanskog Šamca i Odžaka

- Slika 7.1.** Model „onečišćenje –put – cilj“ (prema ZWAHLEN, 2004)
- Slika 7.2.** GOD–parametarska metoda ocjene ranjivosti vodonosnika (prema FOSTER,1987)
- Slika 7.3.** SINTACS – dubina do podzemne vode – rasponi i vrijednosti bodova (prema CIVITA & DeMAIO, 2000)
- Slika 7.4.** SINTACS - efektivna infiltracija – određivanje koeficijenta X ovisno o vrsti stijena (prema CIVITA & DeMAIO, 2000)
- Slika 7.5.** SINTACS - efektivna infiltracija – određivanje koeficijenta X ovisno o teksturi tla (prema CIVITA & DeMAIO, 2000)
- Slika 7.6.** SINTACS – efektivna infiltracija – rasponi i vrijednosti bodova (prema CIVITA & DeMAIO, 2000)
- Slika 7.7.** SINTACS - Kapacitet razrjeđenja u nesaturiranoj zoni – raspon bodova u nesaturiranoj zoni (prema CIVITA & DeMAIO, 2000)
- Slika 7.8.** SINTACS - Kapacitet razrjeđenja u tlu/pokrovnim naslagama – rasponi bodova (prema CIVITA & DeMAIO, 2000)
- Slika 7.9.** SINTACS - Hidrogeološka obilježja vodonosnika – rasponi bodova (prema CIVITA & DeMAIO, 2000)
- Slika 7.10.** SINTACS – Hidraulička vodljivost vodonosnika – rasponi i vrijednosti pripadajućih bodova (prema CIVITA & DeMAIO, 2000)
- Slika 7.11.** SINTACS – Raspon vrijednosti hidrauličke vodljivosti vodonosnika- prema vrstama vodonosnika (prema CIVITA & DeMAIO, 2000)
- Slika 7.12.** SINTACS – Hidrološka uloga nagiba terena – raspon vrijednosti i pripadajućih bodova (prema CIVITA & DeMAIO, 2000)
- Slika 8.1.** Digitalni model reljefa istraživanog područja
- Slika 8.2.** Karta nagiba terena
- Slika 8.3.** Prostorni raspored izvedenih strukturno-piezometarskih bušotina i pokusno-eksploatacijskih zdenaca na području istraživanja
- Slika 8.4. A)** Karta debljine krovine u slučaju niskih voda
- Slika 8.4. B)** Karta debljine krovine u slučaju visokih voda
- Slika 8.5. A)** Karta dubina do podzemne vode u slučaju niskih voda
- Slika 8.5. B)** Karta dubina do podzemne vode u slučaju visokih voda
- Slika 8.6.** Karta prostorne raspodjele koeficijenta hidrauličke vodljivosti
- Slika 8.7. A)** Karta debljine dobro propusnih naslaga u slučaju niskih voda

- Slika 8.7. B)** Karta debljine dobro propusnih naslaga u slučaju visokih voda
- Slika 8.8.** Karta prostorne raspodjele količine oborina
- Slika 8.9.** Prikaz pojedinih tipova tala izdvojenih na širem području istraživanja (prema VIDAČEK et al., 2003; PETOŠIĆ, 2002; ŠKORIĆ, 1985; KOVAČVIĆ et al., 1976; ĆERIĆ et al., 2008)
- Slika 8.10.** Prostorni raspored parametra S (dubina do podzemne vode)
- Slika 8.11.** Prostorni raspored parametra I
- Slika 8.12.** Prostorni raspored parametra N
- Slika 8.13.** Prostorni raspored parametra T
- Slika 8.14.** Prostorni raspored parametra C
- Slika 8.15.** Prostorni raspored parametra S_n (nagib terena)
- Slika 8.16.** Prostorni raspored parametra G
- Slika 8.17.** Tematski sloj - litološke značajke krovine vodonosnika
- Slika 8.18. A)** Tematski sloj - dubina do podzemne vode u slučaju niskih voda
- Slika 8.18. B)** Tematski sloj - dubina do podzemne vode u slučaju visokih voda
- Slika 8.19.** Prostorna raspodjela prosječne godišnje efektivne infiltracije padalina, izražena kroz parametar W
- Slika 9.1.** Nekontrolirano odlaganje otpada uz rijeku Bosnu
- Slika 9.2.** Sanitarna deponija „Stara ciglana“ Županja
- Slika 9.3.** Strolit d.o.o. Odžak
- Slika 9.4.** Papirna industrija PAN Donji Andrijevi
- Slika 9.5.** Odlagalište stajnjaka na seoskom gospodarstvu Babina Greda
- Slika 9.6.** Ruris Županja
- Slika 9.7.** Intenzivna poljoprivreda – Sikirevci
- Slika 9.8.** Karta neklasificirane opasnosti na širem području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci
- Slika 9.9.** Karta klasificiranih izvora opasnosti (hazarda) na području sliva
- Slika 10.1.** Kruženje dušika u prirodi (prema OBLAČIĆ, 2014)
- Slika 10.2.** Kruženje pesticida u okolišu (prema IVIĆ & GALOVIĆ, 2013)
- Slika 10.3.** Podfaktor utjecaja tla
- Slika 10.4. A)** Podfaktor utjecaja litologije u vrijeme niskih voda
- Slika 10.4. B)** Podfaktor utjecaja litologije u vrijeme visokih voda
- Slika 10.5. A)** Faktor pokrovnih naslaga O u slučaju niskih voda

Slika 10.5. B) Faktor pokrovnih naslaga O u slučaju visokih voda

Slika 10.6. Prostorni raspored faktora koncentracije toka C

Slika 10.7. Prostorni raspored faktora P

Slika 10.8. Specifični faktor S

Slika 10.9. Izbor onečišćenja i relevantnih procesa

Slika 10.10. Indeks specifičnog zadržavanja lindana

Slika 10.11. Indeks specifičnog zadržavanja nitrata

POPIS TABLICA:

Tablica 4.1. Površinska zastupljenost pojedinih litostratigrafskih članova na širem području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci

Tablica 5.1. Hidrogeološki parametri

Tablica 6.1. Osnovni statistički pokazatelji kakvoće sirove vode na lokaciji zdenaca „Istočna Slavonija“ Sikirevci

Tablica 6.2. Osnovni statistički pokazatelji kakvoće podzemne vode na lokaciji crpilišta Bosanski Šamac

Tablica 6.3. Osnovni statistički pokazatelji kakvoće podzemne vode na lokaciji crpilišta Odžak

Tablica 7.1. AVI metoda – odnos indeksa ranjivosti vodonosnika i hidrauličkog otpora

Tablica 7.2. Upute za određivanje ranjivosti (prema DoELG et al., 1999)

Tablica 7.3. Ocjena efektivne infiltracije (prema HÖLTING et al., 1987.)

Tablica 7.4. Ocjena funkcije tla (prema HÖLTING et al. 1995)

Tablica 7.5. Ocjena nesaturirane zone za nekonsolidirane stijene (prema HÖLTING et al., 1995)

Tablica 7.6. Ocjena nesaturirane zone za konsolidirane stijene (prema HÖLTING et al., 1995)

Tablica 7.7. Kategorizacija ukupne zaštitne funkcije pokrovnih naslaga (prema HÖLTING et al., 1995)

Tablica 7.8. SINTACS - grupa težinskih koeficijenata (prema CIVITA & DeMAIO, 2000)

Tablica 7.9. SINTACS –klasa ranjivosti vodonosnika (prema CIVITA & DeMAIO, 2000)

Tablica 7.10. Kategorija opasnosti od mogućeg onečišćenja

Tablica 8.1. Parametri krovinskih naslaga

Tablica 8.2. Raspon dubine do podzemne vode i dodijeljene vrijednost S parametra

Tablica 8.3. Vrijednosti koeficijenta X u odnosu na pedološku vrsta tla i teksturu

Tablica 8.4. Vrijednosti parametra T u odnosu na pedološku vrsta tla i teksturu

Tablica 8.5. Vrijednost parametra S_n

Tablica 8.6. Rezultati procjene prirodne ranjivosti metodom SINTACS

Tablica 8.7. Rezultati procjene prirodne ranjivosti GOD metodom

- Tablica 8.8.** Rezultati procjene prirodne ranjivosti AVI metodom
- Tablica 8.9.** Rezultati procjene prirodne ranjivosti Njemačkom metodom
- Tablica 9.1.** Težinske vrijednosti za pojedine tipove opasnosti (prema ZWAHLEN, 2004).
- Tablica 9.2.** Prikaz rangiranja pojedinih onečišćivača u klasificirane opasnosti
- Tablica 10.1.** Prikaz određivanja O_s faktora (prema VIAS et al., 2006)
- Tablica 10.2.** Stupanj litologije i razlomljenosti L_v (prema VIAS et al., 2006)
- Tablica 10.3.** Vrijednost indeksa sloja (prema VIAS et al., 2006)
- Tablica 10.4.** Stupanj zatvorenosti vodonosnika cn (prema VIAS et al., 2006)
- Tablica 10.5.** Prikaz određivanja O faktora (prema VIAS et al., 2006)
- Tablica 10.6.** Prikaz određivanja značajki prihranjivanja u vodonosniku sf (prema VIAS et al., 2006)
- Tablica 10.7.** Prikaz utjecaja nagiba terena i vegetacije sv (prema VIAS et al., 2006)
- Tablica 10.8.** Prikaz klasifikacije C faktora (prema VIAS et al., 2006)
- Tablica 10.9.** Određivanje faktora P_Q (prema VIAS et al., 2006)
- Tablica 10.10.** Određivanje faktora P_I (prema VIAS et al., 2006)
- Tablica 10.11.** Određivanje faktora P (prema VIAS et al., 2006)
- Tablica 10.12.** Prikaz određivanja COP indeksa i klasa ranjivosti (prema VIAS et al., 2006)
- Tablica 10.13.** Intervalne vrijednosti onečišćenja i dodjeljivanje koeficijenata (prema COST 620)
- Tablica 10.14.** Matrica veze svojstava onečišćenja i značajnih procesa (prema COST 620)
- Tablica 10.15.** Izračun indeksa onečišćenja za nitrate
- Tablica 10.16.** Izračun indeksa onečišćenja za lindan
- Tablica 10.17.** Intervalne vrijednosti naslaga i dodjeljivanje koeficijenata (prema COST 620)
- Tablica 10.18.** Matrica veze svojstava naslaga i značajnih procesa (prema COST 620)
- Tablica 10.19.** Izračun indeksa naslaga
- Tablica 10.20.** Konačni rezultati izračuna specifičnog faktora S za pojedina onečišćivala po vrstama naslaga

Tablica 10.21. Raspon udjela difuznog toka s dodijeljenim maksimalnim vrijednostima indeksa specifičnog zadržavanja

Tablica 10.22. Klasifikacija indeksa specifičnog zadržavanja

POPIS PRILOGA:

Prilog 1: Karta prirodne ranjivosti vodonosnika prema SINTACS metodi

Prilog 2: Karta prirodne ranjivosti vodonosnika prema SINTACS metodi za vrijeme velikih voda

Prilog 3: Karta prirodne ranjivosti vodonosnika prema GOD metodi

Prilog 4: Karta prirodne ranjivosti vodonosnika prema GOD metodi za vrijeme velikih voda

Prilog 5: Karta prirodne ranjivosti vodonosnika prema AVI metodi

Prilog 6: Karta prirodne ranjivosti vodonosnika prema AVI metodi za vrijeme velikih voda

Prilog 7: Karta prirodne ranjivosti vodonosnika prema Njemačkoj metodi

Prilog 8: Karta prirodne ranjivosti vodonosnika prema Njemačkoj metodi za vrijeme velikih voda

Prilog 9: Karta prirodne ranjivosti vodonosnika prema COP metodi za vrijeme niskih voda

Prilog 10: Karta prirodne ranjivosti vodonosnika prema COP metodi za vrijeme velikih voda

Prilog 11: Karta specifične ranjivosti na nitrate

Prilog 12: Karta specifične ranjivosti na lindan

ŽIVOTOPIS

Jasna Kopic, dipl. ing. geologije. rođena je 17.10.1971. godine u Štitaru gdje je i završila Osnovnu školu. Po završetku srednje matematičko – informatičke gimnazije u Županji, upisuje Rudarsko – geološko – naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, gdje je diplomirala 1998.godine na smjeru inženjerska geologija i hidrogeologija. 2006. godine upisala je sveučilišni poslijediplomski doktorski studij geološkog inženjerstva na Rudarsko-geološkom-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Od 1. rujna 1998. godine radi u „Vinkovačkom vodovodu i kanalizaciji“ d.o.o. Vinkovci u poslovnoj jedinici Projektiranje i razvoj, na izradi i noveliranju prostorno – planske dokumentacije, na razini Jedinica lokalne i regionalne samouprave, posebice na planiranju i nadzoru kapitalnih i lokalnih projekata komunalne infrastrukture. U navedenoj poslovnoj jedinici radila je do srpnja 2013. godine, nakon čega je imenovana na mjesto Pomoćnika direktora za javnu vodoopskrbu i javnu odvodnju istog Društva. Članica je Povjerenstva ispred Udruge zajednice županija i Udruge Gradova pri izradi pojedinih podzakonskih akata u vodnom gospodarstvu. 2011. godine imenovana je Predsjednicom strukovne grupe Komunalnih djelatnosti ŽK Vukovar. Sudjelovala je na međunarodnim (Clastherm) županijskim projektima iz područja zaštite voda, javne vodoopskrbe i javne odvodnje.

POPIS OBJAVLJENIH RADOVA:

Kopic, J., Nakić, Z. (2012): Utjecaj poljoprivrednih aktivnosti na kakvoću podzemnih voda vodocrpilišta „Park“ Nuštar. Hrvatska Grupacija vodovoda i kanalizacije. Aktualna problematika u vodoopskrbi i odvodnji, 47-53. Bol.

Kopic, J., Loborec, J., Nakić, Z. (2016): Hydrogeological and hydrochemical characteristics of the wider area of the regional well field Eastern Slavonia-Sikirevci. RGN zbornik, Vol. 31, sv. 1.