



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ANJA MRŠIĆ

PRIMJENA ANALIZE RIZIKA OD ONEČIŠĆENJA
PODZEMNIH VODA U SVRHU UČINKOVITOG
UPRAVLJANJA VODNIM RESURSIMA

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

PRIMJENA ANALIZE RIZIKA OD ONEČIŠĆENJA
PODZEMNIH VODA U SVRHU UČINKOVITOG
UPRAVLJANJA VODNIM RESURSIMA

KANDIDAT:

ANJA MRŠIĆ

MENTOR:

doc. dr. sc. JELENA LOBOREC

VARAŽDIN, 2019.



Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet



ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnica: ANJA MRŠIĆ
Matični broj: 201 - 2017./2018.
Smjer: UPRAVLJANJE VODAMA

NASLOV DIPLOMSKOG RADA:

PRIMJENA ANALIZE RIZIKA OD ONEČIŠĆENJA PODZEMNIH VODA U SVRHU
UČINKOVITOG UPRAVLJANJA VODNIM RESURSIMA

Rad treba sadržati: 1. Uvod
2. Analiza rizika od onečišćenja podzemnih voda – prema COST 620
3. Opis područja istraživanja
4. Procjena rizika u slivu Orljave
5. Zaključak
6. Popis literature

Pristupnica je dužna predati mentoru jedan uvezen primjerak diplomskog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade diplomskog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 18.03.2019.

Rok predaje: 04.07.2019.

Mentor:

Jelena Loborec
Doc.dr.sc. Jelena Loborec

Predsjednik Odbora za nastavu:

Igor Petrović
Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

***Primjena analize rizika od onečišćenja podzemnih voda u svrhu učinkovitog
upravljanja vodnim resursima***

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenom i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **doc. dr. sc. Jelene Loborec**.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 02.07.2019.

ANJA MRŠIĆ

(Ime i prezime)

Anja Mršić

(Vlastoručni potpis)

Zahvala:

Najprije zahvaljujem svojoj mentorici doc. dr. sc. Jeleni Loborec koja je svojim znanstvenim i stručnim savjetima pomogla u izradi ovog diplomskog rada i što je imala strpljenja i volje odgovoriti na moje brojne upite.

Također, veliku zahvalnost dugujem i svom dečku kao i prijateljima koji su uvijek bili uz mene i koji su one teške trenutke pokušavali učiniti ljepšim i zabavnijim.

I na kraju, najveću zaslugu pripisujem svojim roditeljima koji su mi bili najveća potpora u ovih 5 godina.

SAŽETAK

Ime i prezime: Anja Mršić

Naziv rada : Primjena analize rizika od onečišćenja podzemnih voda u svrhu učinkovitog upravljanja vodnim resursima

Učinkovita zaštita podzemnih voda osnovni je cilj dobrog upravljanja vodnim resursima. U ovom radu je na primjeru jednog sliva prikazan način na koji se metode procjene ranjivosti, opasnosti i rizika od onečišćenja podzemnih voda mogu uklopiti u postupak njihove zaštite. Promatrano područje je sliv Orljave koji se geografski prostire na širem području grada Požege. U radu je opisano i predstavljeno promatrano područje te njegove geološke, hidrološke, klimatološke i reljefno – pedološke značajke, tj. karakteristike koje služe kao informacije za definiranje pokazatelja procjene prirodne ranjivosti. Prikazano je i trenutno stanje zaštite vodnih resursa tog sliva. Također, u ovom radu definirani su pojmovi: ranjivost, opasnost i rizik te je opisan projekt COST 620 (2004) čiji je osnovni cilj bio predložiti objektivnu metodologiju i okvirne smjernice za ujednačeni pristup u procjeni ranjivosti i rizika od onečišćenja podzemnih voda. Temeljna pretpostavka koncepta prirodne ranjivosti podzemnih voda polazi od toga da fizikalna, kemijska i biološka svojstva okoliša do određenog stupnja mogu pridonijeti zaštiti podzemnih voda od negativnog utjecaja čovjeka na okoliš (antropogeni utjecaj). Analiza rizika od onečišćenja podzemnih voda služi za izdvajanje onih dijelova sliva koji su zbog svojih prirodnih karakteristika podložniji vanjskim utjecajima (područja koja su ranjivija) i oni dijelovi sliva koji su već ugroženi zbog postojećih izvora onečišćenja. Analiza rizika provodi se u tri faze: izrada karte prirodne ranjivosti, zatim izrada karte opasnosti, te na kraju njihovo spajanje u kartu rizika podzemnih voda.

KLJUČNE RIJEČI:

Sliv Orljave, prirodna ranjivost, opasnost (hazard), analiza rizika, SINTACS metoda

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
2.	ANALIZA RIZIKA OD ONEČIŠĆENJA PODZEMNIH VODA – PREMA COST- u 620.....	3
2.1.	Analiza ranjivost – općeniti dio	3
2.2.	Europski pristup	6
2.3.	Osnove SINTACS metode.....	9
2.4.	Analiza opasnosti – općeniti dio	18
2.5.	Analiza rizika – općeniti dio	24
3.	OPIS PODRUČJA ISTRAŽIVANJA	28
3.1.	Geografske značajke	28
3.2.	Geološke značajke	29
3.3.	Hidrogeološke značajke	30
3.4.	Klimatološke značajke	32
3.5.	Reljefno - pedološke značajke	33
3.6.	Stanje zaštite voda na crpilištima (vodozahvatima)	34
4.	PROCJENA RIZIKA U SLIVU ORLJAVE.....	38
4.1.	Procjena prirodne ranjivosti SINTACS metodom	38
4.2.	Analiza opasnosti u slivu	40
4.3.	Analiza rizika	44
5.	ZAKLJUČAK	47
6.	POPIS LITERATURE	49

1. UVOD

U današnje vrijeme gotovo milijarda ljudi na Zemlji nema pristup pitkoj vodi koja je neophodna za rast i razvoj svih živih bića. Budući da je Republika Hrvatska vodom bogata zemlja, potrebno je uložiti velike napore i sve raspoložive resurse da se to bogatstvo očuva. Iz tog razloga vrlo je važna učinkovita zaštita voda, kako površinskih tako i podzemnih. U Hrvatskoj se zaštita voda ostvaruje definiranjem zona zaštite za vodu koja služi za ljudsku potrošnju, a mjere zaštite koje se propisuju u najvećoj mjeri se odnose na zabranu pojedinih aktivnosti koje mogu predstavljati potencijalnu prijetnju kvaliteti vode. Podaci o količini i kakvoći vode temelj su za uspješno upravljanje vodnim resursima te se na taj način utvrđuje stanje vode i prepoznaju moguće slabe točke zaštite. Metode procjena prirodne ranjivosti, opasnosti i rizika od onečišćenja predstavlja dodatnu mjeru i pomoć u efikasnoj zaštiti vodonosnika. U nekim zemljama te su metode osnovni i obvezni alat u utvrđivanju zona sanitarne zaštite vode za piće, a u Hrvatskoj se sve češće izrađuju karte ranjivosti podzemnih voda koje služe kao jedna od podloga za prostorno i razvojno planiranje, dok karte opasnosti i rizika služe kao pomoć pri upravljanju vodama.

Sve navedeno motivacija je za izradu ovoga rada, u kojem je prikazana spomenuta metodologija te se predstavila njena primjena kroz primjer sliva Orljave na širem području grada Požege. Teorijska osnova analize rizika od onečišćenja podzemnih voda je detaljno opisana u radu kroz tri osnovna segmenta koji obuhvaćaju: procjenu prirodne ranjivosti, procjenu opasnosti koja prijeti podzemnoj vodi od postojećih potencijalnih izvora onečišćenja te na kraju procjenu rizika od onečišćenja podzemnih voda djelovanjem čovjeka. Krajnji rezultat takve analize je karta rizika od onečišćenja dobivena spajanjem karte prirodne ranjivosti i karte opasnosti. Analiza rizika od onečišćenja podzemnih voda služi za izdvajanje onih dijelova sliva koji su zbog svojih prirodnih karakteristika podložniji antropogenom utjecaju (područja koja su ranjivija – izdvojeno na karti ranjivosti). Zatim se mogu izdvojiti dijelovi sliva na kojima je stanje s postojećim izgrađenim objektima takvo da predstavlja visoku razinu opasnosti za podzemnu vodu (na karti opasnosti). Na kraju, izdvajaju se oni dijelovi sliva koji su već ugroženi (u riziku) zbog postojećih izvora onečišćenja i zahtijevaju prioritetne intervencije za poboljšanje stanja (karta rizika).

Područje Požeštine, koje je područje istraživanja u ovome radu, obiluje površinskim vodama kao i podzemnim vodama koje se nalaze u različitim tipovima vodonosnika (međuzrnski vodonosnik u aluvijalnim naslagama i pukotinski vodonosnici na obroncima), a sve zajedno pripada slivu rijeke Orljave. Cilj ovog rada je prikazati prirodnu ranjivost sliva rijeke Orljave, popisati postojeće izvore opasnosti koji su prisutni na slivu te izraditi kartu rizika od onečišćenja podzemnih voda. Rezultati tako provedene analize usporedit će se s postojećim stanjem zaštite podzemnih voda ovoga sliva te će se predložiti mogućnosti poboljšanja.

2. ANALIZA RIZIKA OD ONEČIŠĆENJA PODZEMNIH VODA – PREMA COST- u 620

2.1. Analiza ranjivost – općeniti dio

Pojam ranjivost vodonosnika u hidrogeologiju prvi uvodi francuski hidrogeolog Margat 1968. godine (*Margat, 1968*), suprotstavljajući taj pojam prirodnoj zaštiti od onečišćenja. U svojoj teoriji, Margat polazi od pretpostavke da hidrogeološki sustav u cjelini pruža određeni stupanj zaštite od štetnih djelovanja kako prirodnih tako i antropogenih utjecaja. Postoje različita shvaćanja što zapravo predstavlja pojam „ranjivost vodonosnika“. „Ranjivost vodonosnika može se opisati kao mogućnost onečišćenja vodonosnika od posljedica aktivnosti na površini terena“ (*NRC, 1993*). U završnom izvješću *COST 65 (1995)* projekta prikazane su do tada predložene definicije ranjivosti:

- „Karte ranjivosti vodonosnika pokazuju mogućnost infiltracije i širenja onečišćivača u vodonosniku, na temelju geoloških značajki sedimenta i hidrogeoloških uvjeta“ (*Albinet & Margat, 1971*).
- „Ranjivost vodonosnika obuhvaća sva njegova svojstva koja određuju osjetljivost različitih dijelova vodonosnika prema negativnim utjecajima izazvanim unosom onečišćenja“ (*Foster, 1987*).
- „Stupanj prirodne ranjivosti vodnog tijela predstavlja mogućnost infiltracije i perkolacije tekućine ili vodene otopine nekog onečišćivača kroz nesaturiranu zonu“ (*Civita, 1988*).
- „Ranjivost vodonosnika definiraju geološke značajke fizikalnog sustava“ (*Pettyjohn et al., 1991*).
- „Ranjivost podzemne vode predstavlja relativnu „jednostavnost“ kojom štetna tvar koja se nalazi na površini ili neposredno ispod površine terena migrira prema razmatranom vodonosniku u određenim uvjetima poljoprivredne aktivnosti, značajki pesticida i osjetljivosti hidrogeološkog sustava“ (*USEPA, 1993*).
- „Ranjivost podzemne vode je tendencija ili vjerojatnost da će zagađivalo, nakon što je ušlo u sustav na nekom mjestu iznad vodonosnika, doći do određene pozicije unutar vodonosnog sustava“ (*NRC, 1993*).

- „Ranjivost je unutarnje svojstvo hidrogeološkog sustava koje ovisi o osjetljivosti tog sustava prema antropogenim ili prirodnim utjecajima“ (*Vrba & Zaporozec (eds), 1994*).
- „Rizik zagađenja podzemne vode predstavlja interakciju između prirodne ranjivosti vodonosnika, i izvora onečišćenja koji je prisutan ili će biti prisutan na površini terena kao rezultat ljudske aktivnosti“ (*Foster, 1987*). Iz toga možemo zaključujemo da se rizik može definirati kao rezultat odnosa između zasićenosti onečišćujućim tvarima u podzemlju i ranjivosti vodonosnika na određenoj lokaciji. S obzirom da se karakteristike hidrogeološkog sustava, koje utječu na pronos i smanjenje koncentracije potencijalnog onečišćenja, u većini slučajeva mijenjaju u prostoru vertikalno i lateralno, ta promjenjivost zapravo znači da je na nekim područjima omogućen veći stupanj zaštite nego na drugim područjima (*Pratt et al., 1972*). *Vrba & Zaporozec (1994)* predložili su prvu kompletnu definiciju ranjivosti, prema kojoj je ranjivost relativno, kvalitativno, nemjerljivo i bezdimenzionalno svojstvo nekog prirodnog sustava. Također, predlažu i osnovnu podjelu ranjivosti na:

- **prirodnu ranjivost** – odnosno ranjivost koja je isključivo vezana za hidrogeološke značajke vodonosnika i ne ovisi o vrsti onečišćivača kao ni o načinu kretanja onečišćena
- **specifičnu ranjivost** – ranjivost koja u obzir uzima sve karakteristike onečišćivača i njihovo međudjelovanje s hidrogeološkim sustavom.

Prema osnovnom principu multiparametarskih indeksnih metoda ranjivost je funkcija brojnih parametara određenih temeljem litoloških i strukturnih obilježja vodonosnog sustava, sastava i svojstava tla i pokrovnih naslaga, uvjeta napajanja, procesa dotjecanja i otjecanja, fizičkih i hidrogeokemijskih procesa koji utječu na prirodnu kakvoću vode i slabljenje učinka onečišćenja. Informacije o spomenutim obilježjima prikupljaju se na različite načine, a najčešće od rezultata prethodno provedenih istraživanja. Postoje dvije osnovne vrste multiparametrskih indeksnih metoda (*Loborec, 2017*):

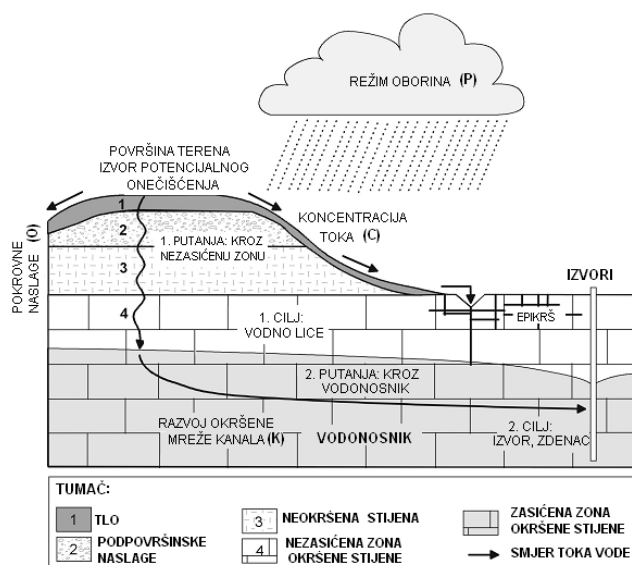
- **Metode hidrogeološkog kompleksa i značajki** – baziraju se na kvalitativnoj procjeni osnovnih hidrogeoloških, hidrografskih i morfoloških obilježja. Pretpostavlja se da dva različita područja sličnih hidrogeoloških karakteristika imaju sličnu ranjivost.
- **Parametarski sustavi** - zasnivaju se na kombiniranju informacija o čimbenicima koji utječu na ranjivost vodonosnika. Informacije se zatim provode kroz sustav bodovanja, rangiranja i interpretiraju kao pojedinačni parametri metode. Postoji tri osnovna parametarska sustava:

- MS (Matrix System) – Modeli sustava matrica (primjer takve metode je Irska metoda (*DoELG/EPA/DSI, 1999*))
- RS (Rating System) – Modeli sustava jednostavnog bodovanja (primjeri metoda su: GOD (*Foster, 1987*) i COP)
- PCMS (Point Count System Models) – Modeli bodovanja s dodjeljivanjem težina (primjeri metoda: DRASTIC (*Aller et al., 1987*), EPIK (*Doerfliger et al., 1995, 1999*), SINTACS (*Civita & DeMaio, 2000*)).

Te metode su najčešće bile slične, imale su slične sustave bodovanja i promatrale su slične parametre, ali znalo se dogoditi da bi primjenjivanjem nekoliko različitih metoda na istoj lokaciji ili istom području na kraju dobili različite karte ranjivosti (*Loborec, 2013*). Kako bi se te razlike svele na minimum pokrenut je novi projekt pod nazivom „Kartiranje ranjivosti i rizika u svrhu zaštite karbonatnih vodonosnika“ (*COST 620, 2004*). Osnovni cilj ovog projekta, koji je pokrenut 1997. godine na temelju rezultata projekta COST 65, bio je predložiti objektivnu metodologiju i okvirne smjernice za ujednačeni pristup u procjeni ranjivosti i rizika. Tako je nastao tzv. Europski pristup za određivanje prirodne i specifične ranjivosti, te rizika u krškim vodonosnim sustavima. Potrebno je odmah naglasiti da Europski pristup nije metoda, nema detaljne upute, formule za izračun ili tablice za čitanje vrijednosti. Europski pristup je skup smjernica koje definiraju i detaljno objašnjavaju parametre koji su se do tada često koristili u različitim metodama procjene ranjivosti, ali su bili interpretirani na različite načine. Uz to, točno su definirani pojmovi radi usporedbe rezultata sličnih analiza, tako da se istakla precizna razlika kod procjene ranjivosti, opasnosti i rizika, zatim razlika u procjeni ranjivosti samog vodonosnika ili pojedinog izvorišta te razlika u procjeni prirodne i specifične ranjivosti. Na taj se način postigla željena ujednačenost te se zadržala fleksibilnost i mogućnost prilagodbe lokalnim uvjetima, pojedinim regijama različitih okolišnih značajki, različitog stupnja ekonomskog razvoja i znanstvenog stupnja istraženosti krša (*Daly et al., 2002*). Međutim, to ne znači da je time završilo razdoblje novih metoda procjene ranjivosti, budući da znanstvenici diljem svijeta i dalje traže i razvijaju nove metode DISCO (*Pochon et al., 2008*); PaPRIKa (*Kavouri et al., 2011*); itd. ili kombiniraju, nadograđuju i poboljšavaju postojeće (*Civita, 2010*) kako bi najbolje procijenili ranjivost nekog područja.

2.2. Europski pristup

Uspostavom Europskog pristupa u procjeni ranjivosti predložen je konceptualni model kojim se na pojednostavljen način nastojalo objediniti najvažnije segmente u opisivanju ranjivosti, a to je tzv. "porijeklo – put – cilj" model (slika 1).

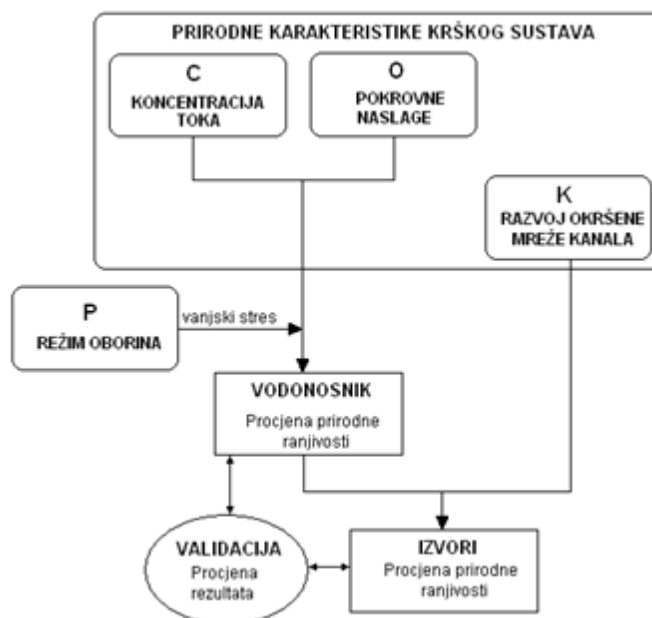


Slika 1. Model „porijeklo – put – cilj“ (prema: **COST 620, 2004**)

Objašnjenje ovog konceptualnog modela razjašnjava i razliku između dva glavna pristupa u procjeni prirodne ranjivosti, a to je zaštita (ili procjena ranjivosti) vodonosnika i zaštita (ili procjena ranjivosti) pojedinačnog izvorišta. Možda na prvi pogled izgleda pretjerano praviti razliku između toga jer zaštita izvora podrazumijeva i zaštitu vodonosnika, no obratno ne vrijedi. Zato je potrebno pratiti kompletni "put" i "cilj" onečišćenja. U oba slučaja "porijeklo" se odnosi na površinu terena na kojem se očekuje ili promatra potencijalni izvor onečišćenja, dok je kod zaštite vodonosnika "cilj" razina podzemne vode, a "put" samo vertikalni tok kroz nesaturiranu zonu. Kod zaštite izvora, koji je krajnji cilj, prati se i horizontalni tok kroz saturirani dio vodonosnika. Ovaj model ranjivosti ostvaruje se procjenom vrijednosti četiri glavna faktora, a to su:

- krovinske naslage (O faktor – eng. "overlying layers"),
- koncentracija toka (C faktor – eng. "concentration of flow"),

- režim oborina (P faktor – eng. "*precipitation regime*") i
- stupanj okršenosti (K faktor – eng. "*karst network development*") (slika 2).



Slika 2. Shema izrade karata ranjivosti kombinacijom parametara O, C, P i K (prema: ***COST 620, 2004***)

O faktor - predstavlja zaštitnu ulogu ili funkciju pokrovnih slojeva (tlo i nesaturirana zona), zbog njihove mogućnosti razrjeđenja i zadržavanja potencijalnog onečišćenja. Europski pristup predviđa četiri sloja pokrovnih naslaga (slika 3.):

- tlo (nastalo trošenjem stijena na površini, sastoji se od minerala, organske tvari, živih bića, zraka i vode),
- podpovršinske naslage (nalaze se ispod tla, a nisu konsolidirane, važe su ukoliko sadrže makropore),
- nekrške stijene (važan je tip stijene),
- nesaturirane okršene stijene (često se nazivaju i epikrška zona).

Vrijednost faktora O ovisi o značajkama pokrovnih slojeva (propusnost i poroznost) te njihovoj debljini.

C faktor - predstavlja stupanj do kojeg se oborine koncentriraju prema mjestima brze infiltracije u krško podzemlje. Vrijednost faktora C ovisi o parametrima koji kontroliraju površinsko tečenje kao što su:

- nagib terena,
- značajke površinskih slojeva (debljina, propusnost i infiltracijski kapacitet tla),
- vegetacija i prisutnost mjesta koncentrirane infiltracije (jame, vrtače i ponori).

Ukoliko je prihranjivanje vodonosnika difuzno, faktor C nema veliki značaj na povećanje ranjivosti.

P faktor - u obzir uzima ukupne godišnje oborine, preko karakteristika:

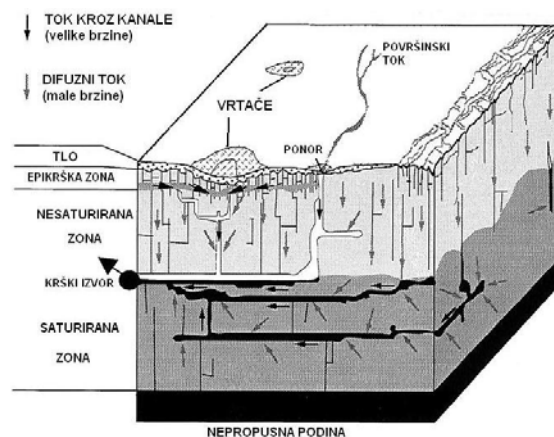
- učestalost,
- trajanje,
- intenzitet ekstremnih događaja.

P faktor može utjecati na tip i količinu infiltracije ili formiranje površinskog otjecanja. To je vanjski čimbenik koji utječe na sve ostale parametre.

K faktor – predstavlja stupanj okršenosti vodonosnika i razvoj mreže okršenih kanala. Tu se prvenstveno misli na horizontalne tokove u saturiranom dijelu vodonosnika. Ovaj faktor koristi se samo kod procjene ranjivosti izvorišta. Ocjena vrijednosti faktora K temelji se na:

- geološkom opisu podloge,
- izdvajanju krških geomorfoloških obilježja,
- rezultatima trasiranja podzemnih tokova,
- rezultatima probnih crpljenja,
- geofizičkim istraživanjima,
- podacima iz bušenja.

Detaljna geološka, hidrogeološka i hidrološka istraživanja osnovni su preduvjet za izradu karte ranjivosti jer je samo na taj način moguće je prepoznati individualna obilježja vodonosnog sustava koja je potrebno uvažiti kod procjene ranjivosti i rizika za podzemne vode.



Slika 3. Konceptualni model krškog vodonosnika koji se koristi kod procjene prirodne ranjivosti
(prema: *Doerfliger & Zwahlen, 1995*)

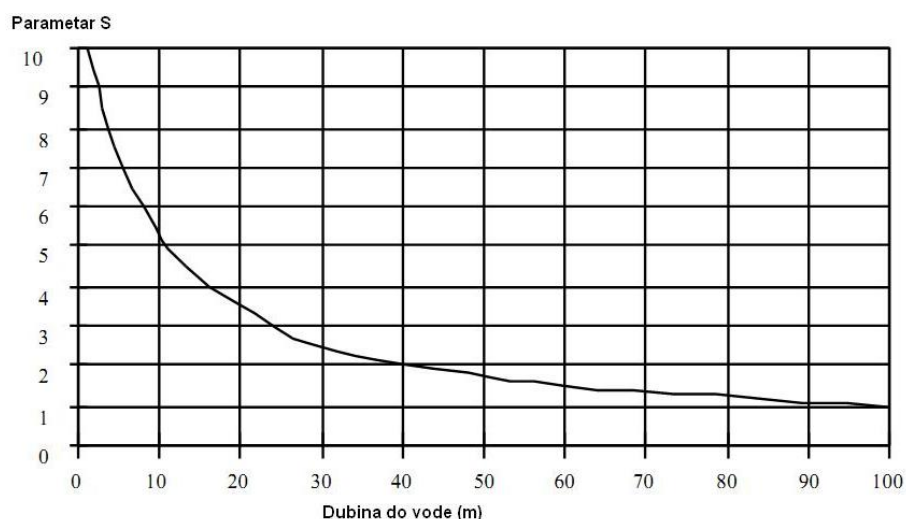
U ovom radu prirodna ranjivost predstavljena je na temelju rezultata primijenjene metode SINTACS (*Civita & DeMaio, 2000*). SINTACS metoda je nastala prije COST-a 620, prije Europskog pristupa, njome se procjenjuje ranjivost uvažavajući i tokove u zasićenom dijelu vodonosnika, a primjenjiva je u svim tipovima vodonosnika (bez obzira na vrstu poroznosti) jer osim što vrednuje sedam parametara sadrži i težinske faktore za pet okolišnih slučajeva, stoga je izrazito pogodna u situacijama kad u jednom slivu postoje različiti vodonosnici i različiti pritisci.

2.3. Osnove SINTACS metode

SINTACS metoda procjene ranjivosti razvijena je 90 – ih godina prošlog stoljeća u Italiji po uzoru na američki DRASTIC. Cilj istraživanja bio je razviti metodu na temeljima DRASTIC-a, ali koja će pružiti veću fleksibilnost i biti primjenjivija mediteranskim uvjetima. Autori SINTACS metode željeli su predložiti model za procjenu ranjivosti koji bi se primjenjivao na području cijele Italije (na sve tipove vodonosnika) kako bi se rezultati mogli usporediti. Prvotno predloženi sustav godinama se nadopunjavao na temelju iskustava s provedenih ispitivanja (više od 500 primjena metode na različitim lokacijama). Tijekom godina objavljeno je nekoliko verzija SINTACS metode sve do 2000. godine kada je predložena verzija SINTACS R5 (*Civita & De Maio, 2000*). Prema toj verziji, procjena ranjivosti temelji se na vrednovanju sljedećih sedam parametara: dubina do podzemne vode, djelovanje efektivne infiltracije, kapacitet razrjeđenja u nezasićenoj zoni, kapacitet razrjeđenja u tlu/pokrovnim

naslagama, hidrogeološka obilježja vodonosnika, raspon hidrauličke vodljivosti vodonosnika i hidrološka uloga nagiba terena. Uz to, za razliku od DRASTIC metode, ima pet težinskih sustava koji ovise o hidrogeološkoj građi vodonosnika i površinskim uvjetima antropogenog opterećenja. Parametri koji čine SINTACS metodu pretvaraju se pomoću predloženih tablica, dijagrama, izračuna i raspona u SINTACS parametre, odnosno S, I, N, T, A, C, S parametre gdje svaki ima raspon od 1 do 10, gdje veća vrijednost parametra označava i veću ranjivost vodonosnika.

Parametar S je parametar kod kojega se dubina do podzemne vode definira kao dubina piezometarske razine koja, zajedno sa značajkama nezasićene zone, određuje vrijeme procjeđivanja onečišćenog fluida i trajanje procesa razrjeđivanja uslijed različitih sorpcijskih procesa. U skladu s modelom, vrijednost procjene koja se odnosi na dubinu do podzemne vode se s porastom dubine smanjuje (slika 4).



Slika 4. Dijagram određivanja parametra S – dubina do podzemne vode (prema: *Civita & De Maio, 2000*)

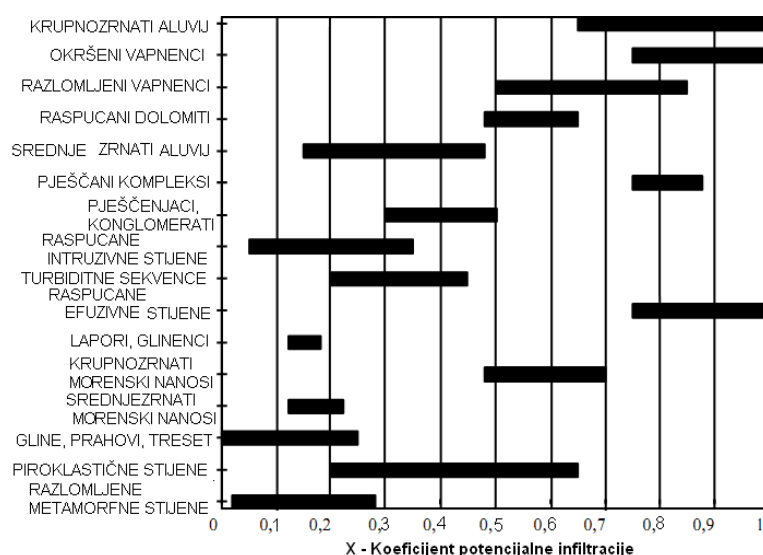
Parametar I opisuje ulogu efektivne infiltracije koja je značajna u ocjeni ranjivosti vodonosnika zbog procjeđivanja onečišćenja s površine terena i razrjeđenja za vrijeme transporta onečišćenja kroz zasićenu i nezasićenu zonu. Vrijednosti parametara izračunate su na temelju oborina (P) i evapotranspiracije (Et) (u obzir se uzima niz od najmanje 20 srednjih godišnjih količina oborina i srednjih godišnjih temperatura zraka), u kombinaciji s površinskim hidrogeološkim uvjetima što sadržava indeks potencijalne infiltracije (X – heta). Taj indeks X ovisi o: površinskoj litologiji

vodonosnika (u slučaju izbijanja stijene vodonosnika na površinu terena ili pod oskudnim pokrovom tla) (slika 5), hidrauličkim značajkama tla, ako mu je debljina veća od 0,5 m (slika 6), nagibu površine terena te tipu relativne propusnosti medija izdanka stijene vodonosnika na površini. Količina infiltracije I za područja gdje nema kontinuiranih naslaga tla dobiva se prema formuli (1.1):

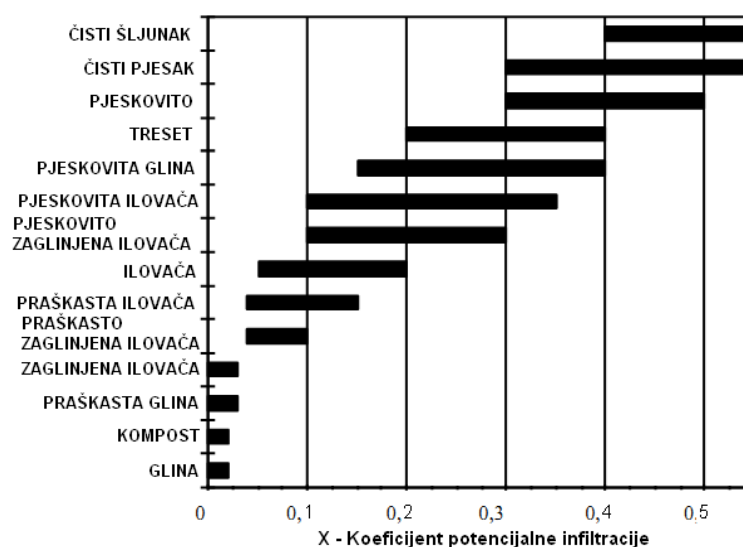
$$I = (P - E_t) \cdot X \quad (1.1)$$

A u područjima gdje je debljina tla veća od 0,5 metara prema formuli (1.2):

$$I = P \cdot X \quad (1.2)$$

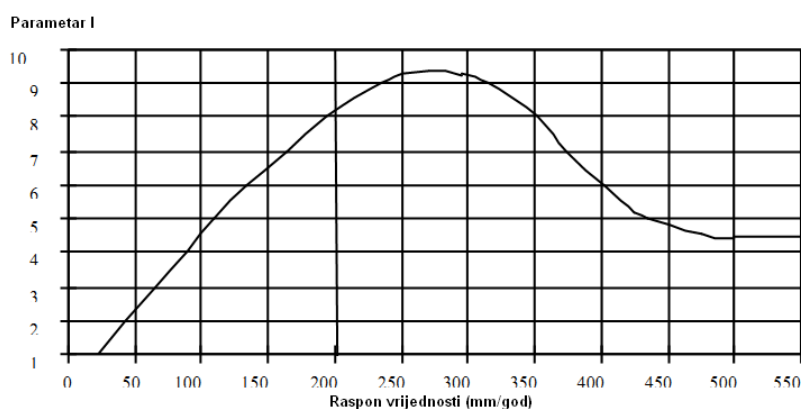


Slika 5. Dijagram određivanja koeficijenta X ovisno o vrsti stijene (prema: *Civita & De Maio, 2000*)



Slika 6. Dijagram određivanja koeficijenta X ovisno o teksturi tla (prema: *Civita & De Maio, 2000*)

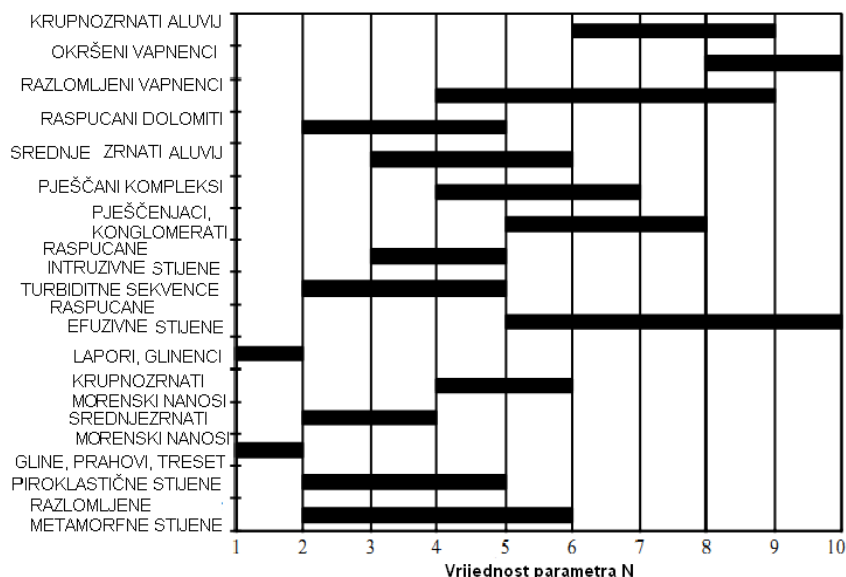
Rezultat I (mm/god) uvrštava se u dijagram (slika 7) koji daje vrijednost parametra I. Prikazana krivulja pokazuje da nakon određene vrijednosti infiltriranih količina dodatne količine smanjuju ranjivost. Taj učinak objašnjava se razrjeđenjem, odnosno smanjenjem koncentracije onečišćenja do kojeg dolazi uslijed velike količine oborina (a time i infiltracije).



Slika 7. Dijagram određivanja parametara I (prema: *Civita & De Maio, 2000*)

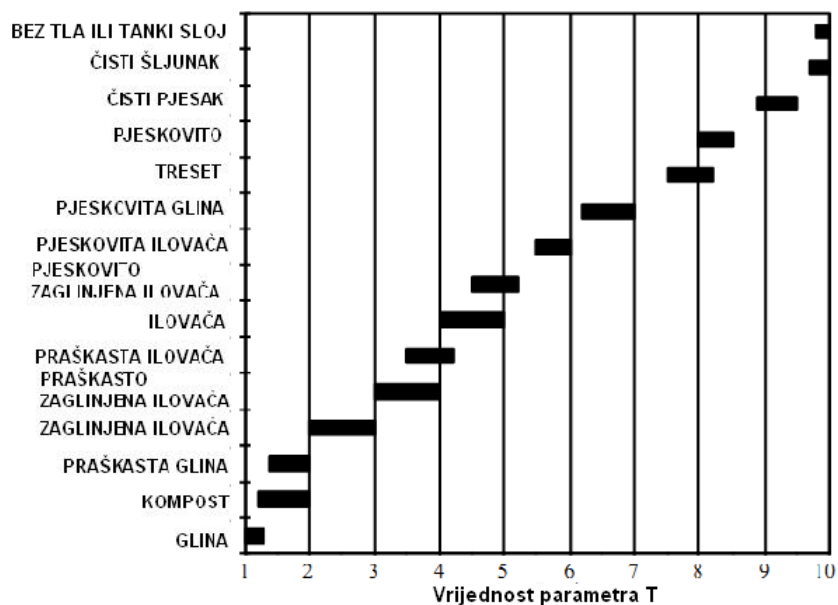
Parametar N opisuje kapacitet razrjeđivanja u nezasićenoj zoni. Nezasićena zona je druga linija obrane vodonosnika protiv onečišćenog fluida. Unutar nezasićene zone događaju se fizički i kemijski procesi koji djeluju na razrjeđivanje onečišćenja. Kapacitet razrjeđivanja uključuje litološke i hidrogeološke značajke nezasićene zone (tekstura, mineralni sastav, granulometrijski sastav, razlomljenost, okršavanje itd.). Predložen je dijagram (slika 8.) za procjenu vrijednosti parametra N ovisno o

hidrogeološkim značajkama naslaga. Ukoliko se po dubini nezasićene zone nalaze slojevi različitih litoloških i hidrogeoloških značajki, ukupna vrijednost parametra N dobiva se kao suma umnoška debljine i težinske vrijednosti pojedinog sloja podijeljeno s ukupnom debljinom nezasićene zone. Ako je vodonosnik prekriven s jednim ili više nepropusnih slojeva, ocjena koja se pripisuje nezasićenoj zoni je 1.



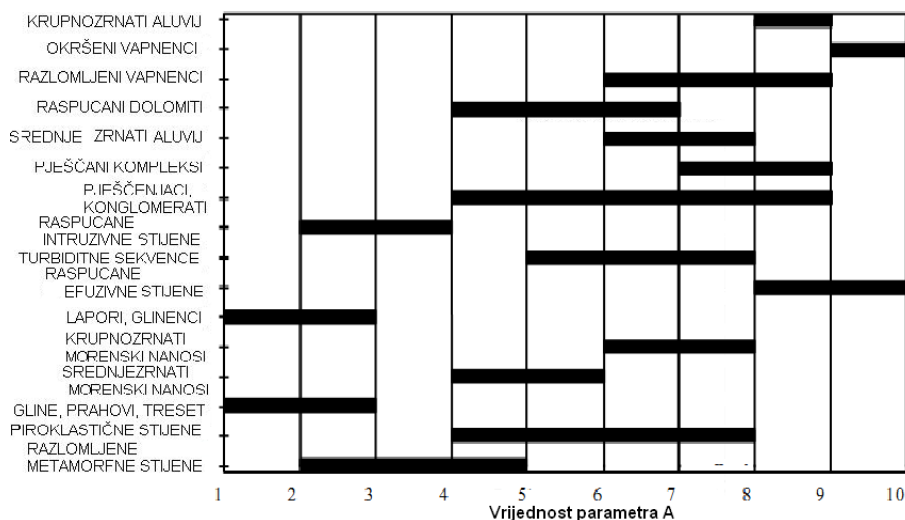
Slika 8. Dijagram određivanja parametara N (prema: *Civita & De Maio, 2000*)

Parametar T opisuje kapacitet tla ili pokrovnih naslaga da zadrži onečišćenje. Tlo i pokrovne naslage imaju vrlo efikasnu ulogu usporavanja ili zadržavanja kretanja onečišćenja kroz hidrogeološki sustav, stoga su vrlo važne za ocjenu ranjivosti podzemnih voda. U tlu može doći do nekoliko bitnih procesa koji utječu na ponašanje potencijalnih onečišćivala, ovisno o svojstvima tla ili pokrovnih naslaga koja se promatraju kroz dvije skupine parametara. Prva skupina parametara definirana je: granulometrijskim sastavom, teksturom, dubinom, gustoćom, ukupnim porozitetom, hidrauličkom vodljivošću tla i raspoloživom količinom vode u tlu, te izravno utječe na adsorpciju, filtraciju, drenažni kapacitet, sadržaj vode i brzinu procjeđivanja. Druga grupa obuhvaća parametre: pH, kapacitet kationske izmjene (CEC), sadržaj organske materije i sadržaj glina, a oni omogućavaju sorpciju nekog kemijskog spoja ili elementa na čestice tla. Kako su podaci potrebni za takvu procjenu parametra T često nedostupni i ograničeni na podatke o granulometrijskom sastavu i teksturi, "rejting dijagrami" pozivaju se upravo na te značajke tla (Slika 9).



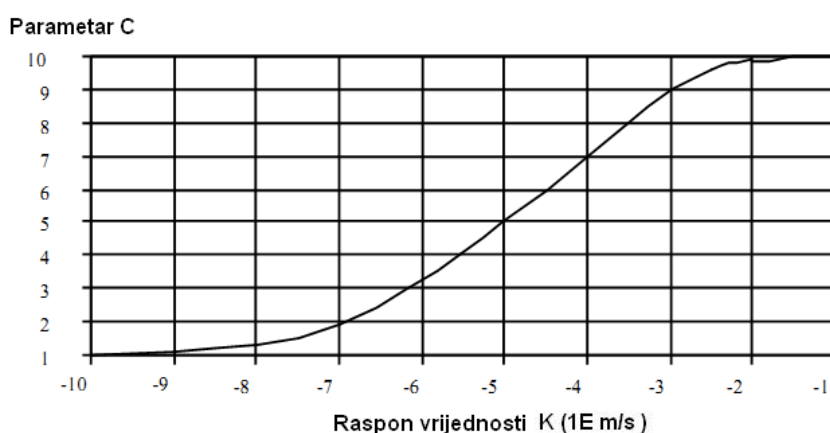
Slika 9. Dijagram određivanja parametra T (prema: *Civita & De Maio, 2000*)

Parametar A predstavlja hidrogeološke značajke vodonosnika koje opisuju procese unutar saturirane zone vodonosnika, kada dolazi do miješanja onečišćenja s podzemnom vodom, a nakon što se koncentracija onečišćenja potencijalno smanji uslijed procjeđivanja kroz tlo i nesaturiranu zonu. Hidrogeološka istraživanja ujedanjuju sve dostupne podatke o litologiji, strukturi, raspucalosti i okršenosti saturirane zone (prikupljene geološkim istraživanjima, bušenjem, speleološkim istraživanjima...), što predstavlja jedinu bazu podataka neophodnu za procjenu značajki ranjivosti vodonosnika. Na temelju dostupnih podataka pomoću ponuđenih raspona u "rejting dijagramima" (slika 10) može se odabrati vrijednost u svakom dijelu unutar vodonosnika.

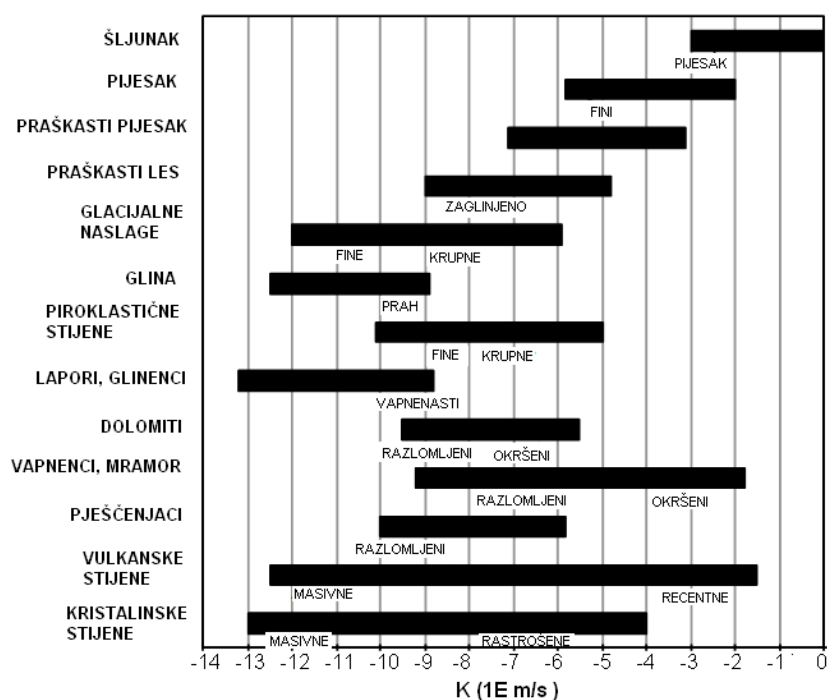


Slika 10. Dijagram određivanja parametra A (prema: *Civita & De Maio, 2000*)

Parametar C opisuje hidrauličku vodljivost vodonosnika koja predstavlja lakoću gibanja podzemne vode unutar saturiranog medija. Također može predstavljati i potencijal mobilnosti onečišćenja čija je gustoća i viskoznost jednaka vodi. Procjena i zoniranje ovog parametra je iznimno teško, posebno u planinskim područjima gdje nema zdenaca dostupnih za probno crpljenje ili injektiranje vode, a korištenje trasera je skupo i često neučinkovito. Dijagram ocjenjivanja (slika 11) za dodjeljivanje vrijednosti parametra C vezan je uz vrijednost hidrauličke vodljivost (K) koji je moguće procijeniti iz predloženog dijagrama (slika 12).

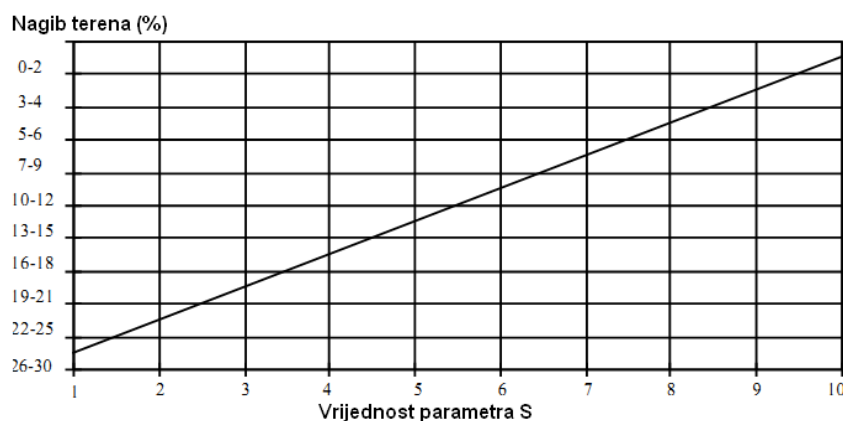


Slika 11. Dijagram određivanja parametra C (prema: *Civita & De Maio, 2000*)



Slika 12. Raspon vrijednosti hidrauličke vodljivosti K za najčešće vrste vodonosnika
(prema: *Civita & De Maio, 2000*)

Parametar S prikazuje hidrogeološku ulogu nagiba terena. Nagib terena je važan faktor u procjeni ranjivosti, jer određuje količinu oborina koja površinski otječe, te brzinu i smjer toka vode ili onečišćivala. Pri tome vrijednost parametra S linearno opada s povećanjem nagiba terena (slika 13). Znači da su veće vrijednosti parametra S dodijeljene zaravnjenim dijelovima terena jer je tamo manja mogućnost rasprostiranja (raspršenja) onečišćenja uslijed procesa pod utjecajem gravitacije. Osim toga, nagib terena može biti pokazatelj tipa tla, stoga indirektno određuje kapacitet zadržavanja onečišćenja.



Slika 13. Dijagram određivanja parametra S – utjecaj nagiba terena (prema: *Civita & De Maio, 2000*)

Nakon što se odrede vrijednosti svih parametara, za procjenu konačnog stupnja ranjivosti potrebno je još odrediti sustav težinskih koeficijenata. Već je spomenuto da metoda predviđa pet pojedinačnih sustava za različite scenarije, kojima se definiraju težinski koeficijenti svakog pojedinog parametra, kako bi se procijenjeni parametri što je moguće bolje prilagodili ukupnim hidrogeološkim značajkama vodonosnika i antropogenom opterećenju na površini promatranog područja. Težinski faktori prikazani su u tablici 1. Scenariji "normalni uvjeti" i "veliko opterećenje" odnose se na nizinska područja s debelim slojem tla i plitkim vodnim licem. Razlika je u tome da se u prvom slučaju radi o relativno prirodnim uvjetima u područjima s malom gustoćom naseljenosti, s ekstenzivnom poljoprivredom, bez agresivne upotrebe agrokemijskih sredstava, dok se u drugom slučaju radi o područjima intenzivne poljoprivrede sa značajnim utjecajem agrokemijskih sredstava i navodnjavanja, velikim naseljima i

industrijskim kompleksima i sa stalnim opterećenjem otpadnih voda. Treći slučaj "procjeđivanje" odnosi se na područja u kojima je dubina do podzemne vode zanemariva, tj. radi se o močvarama ili poplavljenim područjima. Slučajevi scenarija "krš" i "raspucale stijene" jasni su iz samog naziva.

Tablica 1. Težinski koeficijenti SINTACS metode

PARAMETAR	NORMALNI UVJETI	VELIKO OPTEREĆENJE	PROCJEĐIVANJE	KRŠ	RASPUCALE STIJENE
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

Konačna ocjena ranjivosti dobiva se izračunom indeksa ranjivosti prema formuli (1.3):

$$I_{SINTACS} = \sum_{i=1}^7 P_i \cdot W_i \quad (1.3)$$

gdje P_i predstavlja parametre SINTACS metode, a W_i pripadajuće težinske faktore. Raspon vrijednosti SINTACS indeksa ranjivosti je od 26 do 260. Ranjivost se prikazuje na karti različitim bojama u šest klasa prema tablici 2.

Tablica 2. Klase ranjivosti SINTACS metode

$I_{SINTACS}$	Klasa ranjivosti
26 - 80	Vrlo niska
>80 - 105	Niska
>105 - 140	Umjerena
>140 - 186	Povišena
>186 - 210	Visoka
>210 - 260	Vrlo visoka

SINTACS metoda je do sada primijenjena za procjenu ranjivosti različitih vrsta vodonosnika, s međuzrnskom, pukotinskom ili kavernoznom poroznosti.

2.4. Analiza opasnosti – općeniti dio

Prema smjernicama projekta **COST 620 (2004)** opasnost (hazard) je definirana kao mogući izvor onečišćenja od ljudskoga djelovanja i pritom se prvenstveno misli na onečišćenje s površine ili pripovršinske zone terena. Postupak procjene opasnosti 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 koji mogu smanjiti mogućnost pojave opasnog događaja. S aspekta zaštite podzemnih voda vrlo je važno prostorno locirati opasnosti, međusobno ih usporediti i dovesti u odnos s drugim prostornim značajkama područja (primjerice hidrogeološkim svojstvima ili smjerovima toka podzemne vode). Opasnosti se na karti mogu prikazati kao točkasti, linijski ili poligonski objekti, ovisno o mjerilu prikaza i svrsi koju jedna takva karta ima. U Okvirnoj direktivi o vodama (**2000/60/EZ**) navedeno je da postoji potreba za utvrđivanjem zajedničkih kriterija u istraživanju izvora onečišćenja na nekom području. Analiza opasnosti drugi je korak u analizi rizika od onečišćenja. Za izradu karte opasnosti nužno je:

- detaljno locirati sve moguće izvore onečišćenja
- procijeniti razinu opasnosti koja može ugroziti ili zaprijetiti podzemnoj vodi
- klasificirati prema unaprijed poznatom i propisanom protokolu

Postupak izrade karte opasnosti podijeljena je u nekoliko koraka:

1. određivanje i popis opasnosti ili hazarda
2. definiranje polja baze podataka za kartu opasnosti
3. određivanje težinskih vrijednosti za svaku pojedinu opasnost
4. grafička interpretacija
5. kartografski prikaz
6. valorizacija podataka
7. izrada karte opasnosti

Postupak prikupljanja podataka za izradu karte opasnosti (hazarda) nije jednoznačno određen, već je kombinacija nekoliko izvora podataka: izdvajanje iz topografskih karata, iz avio i satelitskih snimaka, prikupljanje podataka iz raznih izvješća i arhiva, terensko rekognosciranje, izravno prikupljanje informacija od odgovornih osoba u industriji, lokalnoj upravi itd. Što više prikupimo detaljnih podataka o potencijalnom onečišćivaču, veća je vjerojatnost da je točnija procjena stupnja štetnog potencijalnog ili stvarnog utjecaja na podzemnu vodu. Opasnosti se razvrstavaju po geometriji, posebno točkasti onečišćivači, posebno linijski onečišćivači i posebno poligoni. Analiza opasnosti izvodi se u dva koraka, izrada karte neklasificiranih opasnosti te drugi korak, izrada karte klasificiranih opasnosti. Nakon što se prikupe sve dostupne informacije o mogućim onečišćivačima izrađuje se karta neklasificiranih opasnosti koja prikazuje prostornu raspodjelu mogućih onečišćivača (njihov oblik i veličinu). Ona se koristi kao tematska karta i osnovna je podloga za klasifikaciju mogućih onečišćivača. Iako tako provedena analiza pruža evidenciju potencijalnih onečišćivača i njihov detaljni prostorni smještaj, ona ne daje nikakve informacije o stvarnoj razini opasnosti koju za podzemne vode predstavlja svaki od izdvojenih onečišćivača, niti je na ovaj način moguće međusobno uspoređivati štetni utjecaj ovih opasnosti. Stoga je potrebno provesti i drugu fazu analize opasnosti, a to je klasifikacija onečišćivača prema stupnju štetnosti za podzemne vode koja omogućuje i kvalitetnu usporedbu različitih vrsta opasnosti. Primjerice, izradom neklasificirane karte opasnosti lociran je ispušt nepročišćene industrijske otpadne vode u podzemlje koji nedvojbeno predstavlja opasnost za podzemne vode. No, za kvalitetnu ocjenu stvarne razine opasnosti koju taj ispušt predstavlja za vodonosnik nije dovoljno samo ga izdvojiti kao onečišćivača i točno ga locirati, već je potrebno prikupiti podatke o količinama ispuštanja otpadne vode, njen sastav i toksičnost, vrstu mogućeg onečišćenja i sl. (*Loborec, 2013*). Svi ti podaci nisu uvijek dostupni, pa se često radi procjena opasnosti pojedinih onečišćivača temeljena na iskustvima s drugih područja. Da bismo mogli procijeniti kolika je realna opasnost koju svaki izvor opasnosti predstavlja za podzemnu vodu potrebno je klasificirati opasnosti, odnosno potrebno je odrediti indeks opasnosti prema sljedećoj formuli (1.4):

$$HI = H \times Q_n \times R_f \quad (1.4)$$

gdje je :

HI – indeks opasnosti

H – težinska vrijednost

Q_n – faktor ocjene stvarne opasnosti (ranking factor)

R_f – faktor redukcije (reduction factor) (**Loborec, 2017**)

Vrijednost H (težinska vrijednost) očitava se iz tablica, ovisno o vrsti mogućeg onečišćivača i ima raspon 0 - 100, gdje 0 označava područja bez opasnosti za podzemne vode, a 100 označava ekstremnu razinu opasnosti (slika 14).

	VRSTA OPASNOSTI	II
1	INFRASTRUKTURNI OBJEKTI	
1.1.	Otpadne vode	25-85
1.1.1.	Naselja (istjecanje kanalizacijskih sustava)	35
1.1.2.	Naselja bez kanalizacijskih sustava	70
1.1.3.	Izdvojeni pojedinačni objekti bez kanalizacije	45
1.1.4.	Septičke i sabirne jame, nužnici	45
1.1.5.	Navodniavanje 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 asfaltiranih 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 s 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.	Utoparne stanice gotiva	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	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 pokapalište	35
1.6.3.	Kemijska čistionica	35
1.6.4.	Transformatorska stanica	30
1.6.5.	Aktivni i napušteni vojni objekti	35

	VRSTA OPASNOSTI	II
2	INDUSTRIJSKE 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 drenažu rudnika	65
2.1.11.	Jezerce jalovine	65
2.2.	Kamenolomi	10-30
2.2.1.	Iskapalište i nasip za gradnju	10
2.2.2.	Šljunčara i pješčara	30
2.2.3.	Kamenolomi	25
2.3.	Eksplotacija 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.	Rafinerija nafte	85
2.4.6.	Tvornica kemikalija	65
2.4.7.	Tvornica 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.	Spremnici opasnih tvari	70
2.6.3.	Napomilani neneo i šliaka	70
2.6.4.	Odlagališta neopasnih tvari	45
2.6.5.	Odlagališta opasnih tvari	90
2.6.6.	Odlagališta 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.	Gnojishnica	45
3.1.5.	Bazen ili rezervoar s gnojivom	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.	Područje intenzivne poljoprivrede	30
3.2.5.	Bašća (vrt)	15
3.2.6.	Staklenik	20
3.2.7.	Navodnjavanje otpadnom vodom	60

Slika 14. Težinske vrijednosti za pojedine tipove opasnosti (prema: *COST 620, 2004*)

Vrijednosti prikazane na slici 24 rezultat su složene analize provedene u sklopu projekta COST 620, gdje se pomoću tri različita pristupa određivala preliminarna težinska vrijednost pojedinog tipa onečišćivača, a konačna težinska vrijednost rezultat je izračunate srednje vrijednosti. U konačnom prikazu opasnosti su grupirane prema trima osnovnim ljudskim djelatnostima koje predstavljaju prvu kategoriju opasnosti (brojevi 1, 2 i 3): infrastrukturni razvoj, industrijske aktivnosti, te poljoprivreda i stočarstvo. Drugu kategoriju opasnosti (brojevi 1.1., 1.2., ... 2.1., 2.2., ...) čine podpodjele osnovnih djelatnosti grupirane prema zajedničkim svojstvima, svaka sa svojim težinskim rasponom. Treću kategoriju opasnosti čine djelatnosti detaljno raščlanjene do krajnjeg oblika opasnosti koji određuje točnu jednoznačnu vrijednost. Kod izrade ovog inventara opasnosti (*eng. Hazard Inventory*), cilj nije bio proširiti popis onečišćivača na što je moguće veći broj, već je pažnja posvećena tome da su zastupljeni svi glavni tipovi onečišćivača čiji je utjecaj značajan za podzemnu vodu, a opet da bude jednostavan za upotrebu u različitim okruženjima, dovoljno jasan s logičnim podjelama i podpodjelama. Ukoliko se kod istraživanja nekog područja pojavi potreba za definiranjem i rangiranjem novog tipa onečišćivača u sklopu projekta COST 620 date su preporuke kako da se to učini, a da novi onečišćivač bude potpuno usklađen i usporediv s ostalima. No, još uvijek se može dogoditi da dva jednaka tipa onečišćivača ne predstavljaju jednaku opasnost za podzemne vode. Zbog toga se uvodi faktor ocjene stvarne opasnosti Q_n (faktor rangiranja – *eng. ranking factor*) koji ima raspon 0,8 do 1,2, a prikazuje veličinu stvarne opasnosti od onečišćenja podzemnih voda, uslijed različitih svojstava i tvari unutar iste vrste onečišćivača. Obično je razlika u štetnosti utjecaja na podzemnu vodu izravna posljedica količine ispuštene štetne tvari. Tako, primjerice, u neklasificiranoj karti opasnosti locirane su dvije životinjske farme. Jedna sadrži 300 svinja za tov koje se isporučuju svaka četiri mjeseca, odnosno godišnje oko 900 svinja prođe farmom. Druga farma je peradarnik za proizvodnju jaja s 200 kokoši nesilica. Očito je da prva farma predstavlja mnogo veću opasnost za onečišćenje podzemnih voda, a vrednovanjem prema slici 25 obje farme bile bi jednake, tj. težinska vrijednost iznosila bi im 30. Upravo faktor rangiranja omogućava da se HI indeks poveća opasnijoj farmi, a onoj manje opasnoj smanji. Raspon vrijednost od 0,8 do 1,2 ne omogućava neke drastične razlike, ali one nisu ni poželjne, budući da bi velika odstupanja od srednje vrijednosti nerealno izdvojila jednu djelatnost od drugih, njoj srodnih. Ne može se dogoditi da izrazito velike farme dođu u rang nuklearnih elektrana ili slično (*Loborec, 2013*).

Treći faktor – faktor redukcije R_f (*eng. reduction factor*) kreće se u rasponu od 0-1 i prikazuje vjerojatnost pojavljivanja onečišćenja iz pojedinoga mogućeg onečišćivača. U slučaju da je faktor redukcije 0, pretpostavlja se da nema mogućega rizika onečišćenja podzemne vode, dok faktor 1 označava da nema poznatih razloga za smanjenje stvarne opasnosti za potencijalno onečišćenje podzemne vode iz te vrste onečišćivača. Potrebno je vrlo oprezno upotrebljavati faktor redukcije, u malom rasponu od broja 1 i to samo kad za to postoje opravdani razlozi. Stoga je dodatna preporuka da se u konačnu formulu uvrštava kvadratni korijen procijenjene vrijednosti faktora redukcije. Kombinacijom navedenih faktora za svaki se onečišćivač izračunava indeks opasnosti (hazard indeks – HI) po zadanoj formuli. Nakon toga se vektorski slojevi konvertiraju u rastere (svaki tip zasebno – točkasti, linijski i poligonski). Veličina ćelije mora biti jednaka kao i kod analize ranjivosti, a vrijednost ćelije se određuje prema indeksu opasnosti. Rasteri se zbrajaju i sumarni raster predstavlja ukupnu opasnost. Nakon provedene analize opasnosti dobiveni prikaz potrebno je reklasificirati u 5 kategorija (tablica 3) koje se prikazuju na karti klasificiranih opasnosti koja dalje, zajedno s kartom prirodne ranjivosti, služi za procjenu rizika od onečišćenja podzemnih voda.

Tablica 3. Kategorije opasnosti od mogućeg onečišćenja i njihov način prikaza na karti

Indeks opasnosti (HI)	Kategorija opasnosti	Razina opasnosti	Boja na karti
0 - 24	2	nema ili vrlo mala	plava
24 - 48	3	niska	zelena
48 - 72	4	srednja	žuta
72 - 96	5	visoka	arančasta
96 - 120	6	vrlo visoka	crvena

2.5. Analiza rizika – općeniti dio

Gledajući na stanje podzemnih voda, prema COST – u 620 rizik predstavlja vjerojatnost da će do onečišćenja doći uslijed pojave nekog opasnog ili hazardnog događaja, to znači da neka opasnost može izazvati štetne posljedice. Prema Okvirnoj direktivi o vodama i CIS vodiču br. 3 – “Analiza pritisaka i utjecaja” rizik od onečišćenja podzemnih voda definiran je kao stvarna ili potencijalna prijetnja zdravlju krajnjeg korisnika vodenog dobra. Prema smjernicama projekta COST 620 moguća su dva pristupa procjene rizika od onečišćenja:

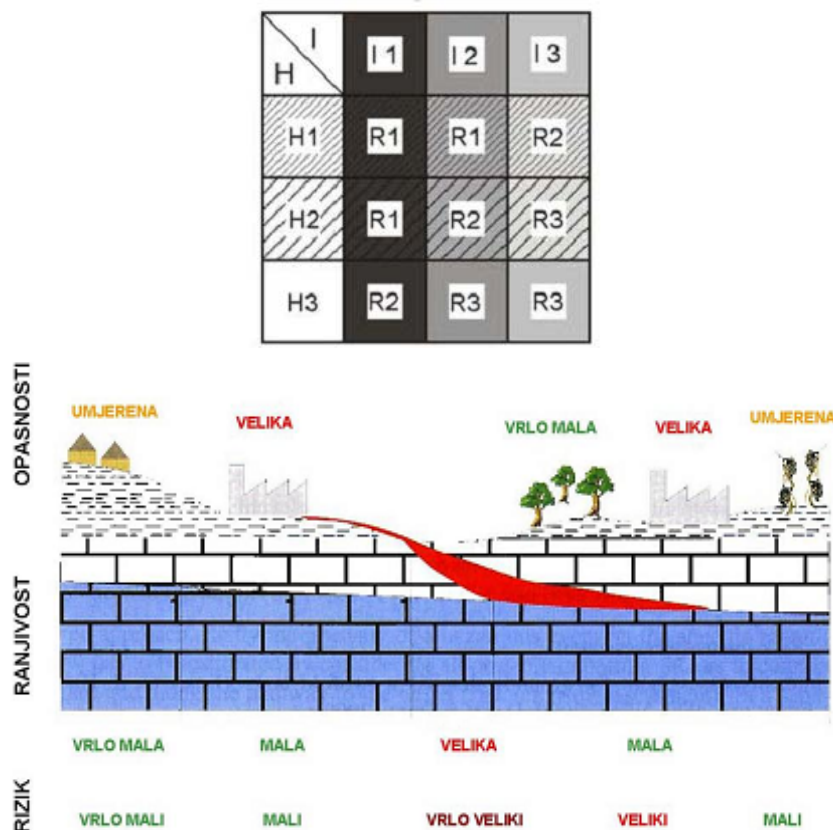
- Izravna metoda – odnosi se na postavljanje mreže opažanja odgovarajućih pokazatelja kakvoće podzemnih voda kako bi se dobili podaci o mogućoj degradaciji kakvoće podzemnih voda (monitoring).
- Neizravna metoda – obuhvaća proučavanje i istraživanje podpovršinskih uvjeta ranjivosti vodonosnog sustava i prisutnost potencijalnog onečišćenja (analiza ranjivosti i opasnosti).

Prema COST – u 620 analiza rizika može se provoditi u dvije faze:

- 1. faza - Procjena intenziteta rizika - odnosi se na mogućnost pojave neke štete na način da analizira sve moguće faktore vezane uz pojavu opasnosti kao i faktore prirodnog okruženja koji pridonose širenju ili sprječavanju širenja opasnosti. Procjena intenziteta rizika određuje se korištenjem dvaju osnovnih parametara :
 - Procjena porijekla onečišćivača i vjerojatnost da će do onečišćenja doći (analiza opasnosti)
 - Procjena svih procesa koji dovode do smanjenja onečišćenja prije njegova ulaska u vodni resurs (prirodna ranjivost)

Krajnji rezultat procjene intenziteta rizika može biti kvantitativna vrijednost tj. indeks intenziteta rizika (ukoliko se koristi matematički algoritam međuodnosa ranjivosti i opasnosti) ili semikvantitativna vrijednost (ukoliko se intenzitet dobiva uspostavljanjem odnosa između klasa ranjivosti i opasnosti (hazarda). Slike 15. i 16. shematski prikazuju raznovrsnost u načinima procjene intenziteta rizika uz pomoć superpozicioniranja efekata prirodne ranjivosti i opasnosti bez kvantitativnih izračuna. Na takav način indeks intenziteta ranjivosti nema brojčanu vrijednost, nego opis klase.

Upravo se na taj način moraju procijeniti i indeks osjetljivosti na rizik i indeks ukupnog rizika.



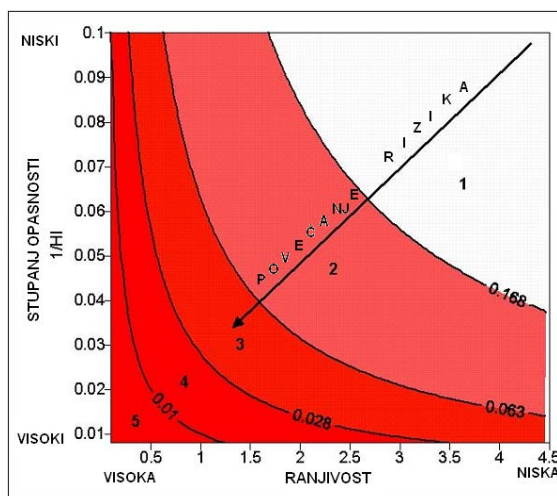
Slike 15 i 16 prikazuju različite načine procjene intenziteta rizika bez matematičkih izračuna (prema: **COST 620, 2004**)

Intenzitet rizika moguće je dobiti i pomoću matematičkih metoda. U projektu COST 620 dane su smjernice u kojima je navedena preporuka za korištenje relativno jednostavne jednadžbe u kojoj se indeks intenziteta rizika (RI_i) računa kao umnožak recipročne vrijednosti indeksa opasnosti ($1/HI$) i zaštitnog faktora procijenjene prirodne ranjivosti (π – u PI metodi, COP indeks u COP metodi itd.) (formula 1.5).

$$RI_i = \frac{1}{HI} \times \pi \quad (1.5)$$

Kao i svaka metoda, i ova metoda ima svoje prednosti i mane, naime prednost ovakve metode je to što upotrebljava brojčano definiranu raspodjelu vrijednosti ranjivosti i opasnosti što rezultira preciznijom raspodjelom intenziteta rizika koji se na kraju klasificira u pet klasa što prikazuje slika 16. Mana ovakvog pristupa je precjenjivanje rizika na način da dodjeljuje klasu vrlo visokog intenziteta rizika svagdje gdje je ranjivost visoka bez obzira na to što možda ne postoji opasnost,

isto kao i na područjima gdje je visoka klasa opasnosti bez obzira na to što je ranjivost niska. To se naravno može regulirati drugačijim rasporedom parametara na osima dijagrama.



Slika 17. Dijagram procjene intenziteta rizika prema matematičkom modelu (prema **COST 620, 2004**)

- 2. faza - Procjena osjetljivosti na rizik – odnosi se na posljedice do kojih bi moglo doći uslijed pojave štete, a procjenjuje se na temelju određene ekonomske i ekološke vrijednosti promatrane vodonosne sredine. Osjetljivost na rizik može se procijeniti uz pomoć dvije analize:

Analiza utjecaja onečišćenja na vodonosnik – od mjesta prodora onečišćenja u podzemlje, njegovog ponašanja unutar saturiranog dijela vodonosnika pa sve do predviđanja stanja (koncentracija i količina onečišćivača) na izlazu (izvor). Na osjetljivost vode na onečišćenje u saturiranoj zoni vodonosnika najviše utječu uvjeti toka (brzine i smjerovi toka, količinsko stanje voda te vrijeme zadržavanja u podzemlju) (**U.S. EPA, 1993**). Također, treba pridodati pozornost i svim faktorima koji utječu na zadržavanje onečišćenja (sorpcija, filtracija, biorazgradivost, itd.).

Analiza nastale štete i njezinih posljedica – odnosi se na definiranje ekonomske i ekološke vrijednosti koju ima vodni sustav te kako bi postojeće štete mogle utjecati na promjenu tih vrijednosti. Prilikom procjene ekonomske štete prvenstveno se promatra nemogućnost daljnjeg korištenja podzemne vode u svrhu vodoopskrbe kao i za sve druge ljudske aktivnosti te cijena postupka obnove vodonosnika. Za potrebe procjene

rizika od onečišćenja podzemnih voda potrebno je odrediti vrijednost podzemne vode prema namjeni. U tu svrhu može se koristiti neka od predloženih podjela podzemnih voda, gdje pojedina kategorija označava stupanj važnosti vode. Jedna od takvih kategorizacija je ona predložena od strane Američke agencije za zaštitu okoliša (*U.S. EPA, 1993*) koja uzima u obzir kakvoću i količine dostupne podzemne vode, sadašnju i buduću namjenu, javno mišljenje o važnosti vode i ekološki značaj, a predlaže tri kategorije:

- 1. kategorija – voda visoke vrijednosti, nezamjenjiv izvor pitke vode i od vitalnog ekološkog značaja;
- 2. kategorija – voda dobre kakvoće, izvor potencijalno ukljuživ u vodoopskrbni sustav ili podoban za neku drugu korisnu svrhu;
- 3. kategorija – voda koja nije za ljudsku upotrebu zbog zasljenjenja ili prethodnog onečišćenja.

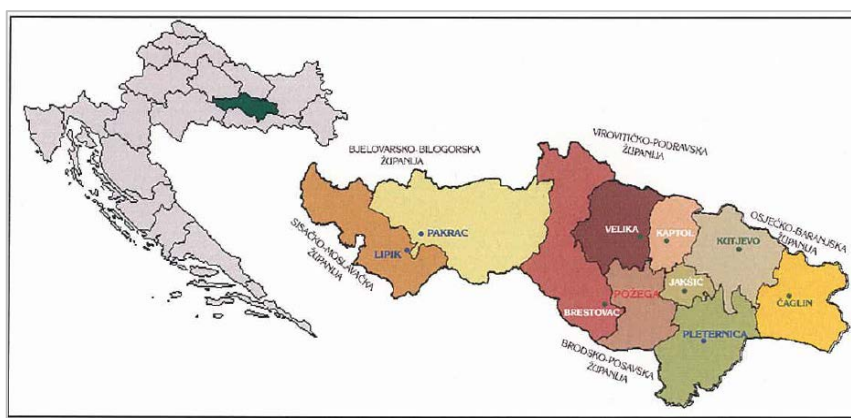
Kombiniranjem rezultata ovih analiza može se ocijeniti koji dijelovi sliva opisuju ili karakteriziraju podzemnu vodu kao visoko osjetljivu na rizik od onečišćenja, koji su dijelovi umjereno, a koji nisko osjetljivi na rizik od onečišćenja.

No, danas postoje vrlo sofisticirane metode procjene ukupne ekonomske vrijednosti vode koja je zbroj parcijalnih vrijednosti funkcija koje podzemna voda može imati. Često je vrlo teško takvu analizu provesti, jer zahtijeva multidisciplinarni tim stručnjaka, pa se tak korak zanemaruje. U literaturi se često može naići na procjenu rizika od onečišćenja podzemne vode gdje se rizik procjenjuje po metodologiji procjene indeksa intenziteta rizika (kombinacija ranjivosti i opasnosti), zanemarujući drugu fazu procjene osjetljivosti na rizik (*Loborec, 2017*).

3. OPIS PODRUČJA ISTRAŽIVANJA

3.1. Geografske značajke

S površinom 1815 km² i 78 000 stanovnika (DZS, 2011), Požeško -slavonska županija se ubraja u red manjih županija u Republici Hrvatskoj. Županija na zapadu graniči sa Sisačko - moslavačkom županijom, na istoku s Osječko - baranjskom županijom, na jugu s Brodsko - posavskom županijom te na sjeveru sa Virovitičko - podravskom županijom (Slika 18).



Slika 18. Položaj Požeško – slavonske županije na karti Republike Hrvatske
(Hidroprojekt - ing, 2008)

Požega je grad smješten u središnjoj Slavoniji na 152 m nadmorske visine, u prostranoj Požeškoj kotlini koju okružuje ovalno raspoređeni vijenac starog gorja Psunj, Papuk, Krndija, Dilj i Požeška Gora. Kroz Požešku kotlinu protječe veći broj vodotoka od kojih je najznačajnija rijeka Orljava sa svojim većim pritocima Londžom i Veličankom. Upravo tok rijeke Orljave koja teče prema rijeci Savi čini jedini nizinski prolaz u požešku dolinu. Čitav taj dio grada Požege i šire okolice koji se približno poklapa sa slivnim područjem rijeke Orljave (Slika 19) predstavlja područje interesa znano pod nazivom „Požeština“. Grad Požega i njezina okolica opovrgava dva najčešća stereotipa o istočnoj Hrvatskoj, odnosno ravnoj Slavoniji jer se ovdje na malenom prostoru uz ravnice s plodnim njivama, nalaze planine i brežuljci čija podnožja krasi nadaleko poznati vinogradi, dok su viši dijelovi uglavnom pod šumama. Upravo ti brežuljci i planine određuju izgled, osobine i karakter Požeštine (Wikipedia - Grad Požega, 2019).

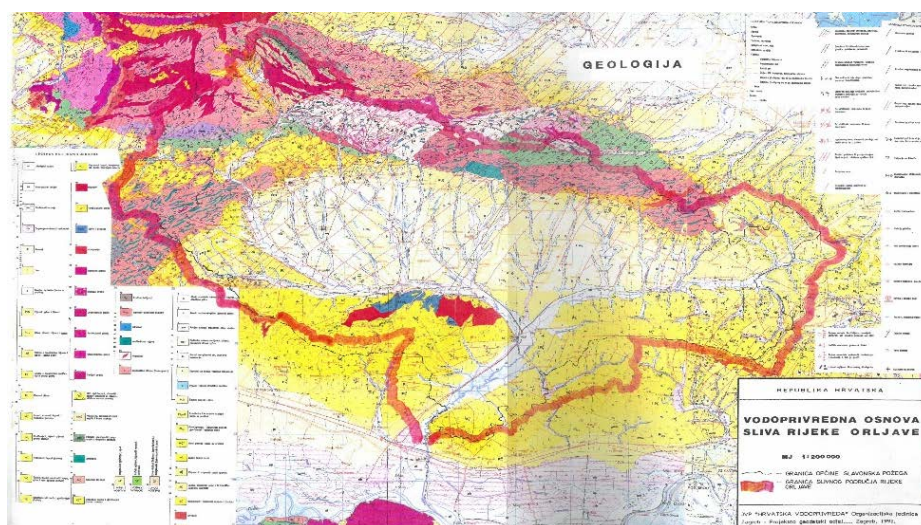


Slika 19. Položaj sliva rijeke Orłave na karti Republike Hrvatske (**Hidroprojekt - ing, 2008**)

3.2. Geološke značajke

Geologija područja Požeške kotline prikazana je na osnovnoj geološkoj karti mjerila 1:100 000, uz pripadajuće tumače i to na listovima Daruvar, Orahovica, Našice, Nova Kapela i Slavonski Brod (Slika 20). Područje požeške kotline predstavlja zatvoreni hidrogeološki bazen unutar kojeg postoje dvije osnovne vrste naslaga:

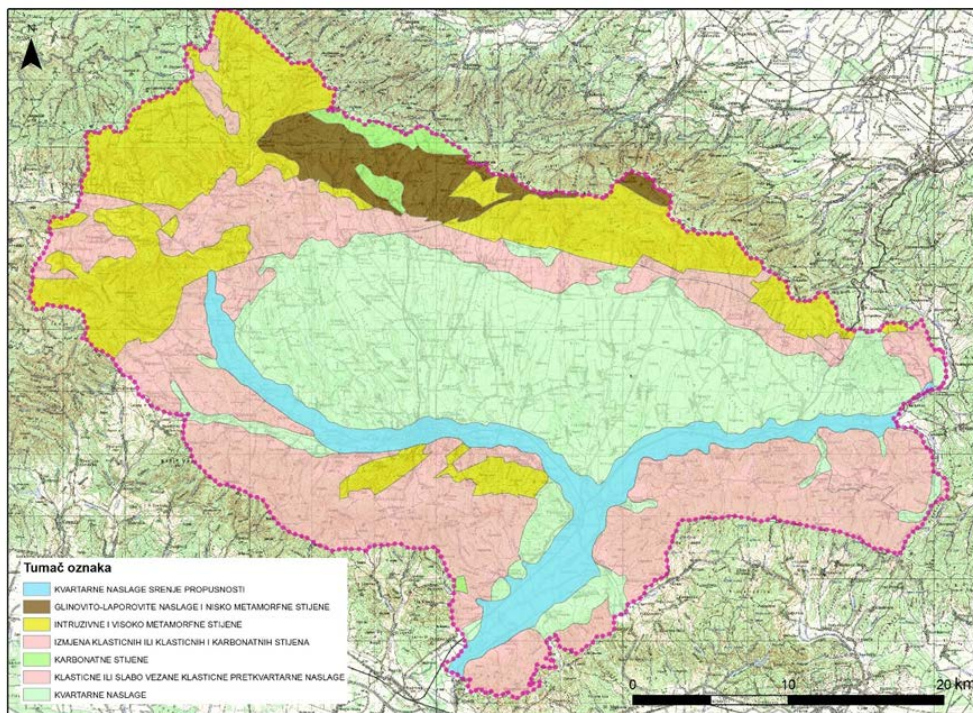
- tercijarne i kvartarne sedimentne stijene i naslage u centralnom dijelu kotline i sa smjerom pružanja istok – zapad koje su ujedno i glavni vodonosnici ovog dijela,
 - pretežito metamorfne stijene planinskih masiva koji okružuju kotlinu, koje su slabo propusne i omogućavaju prihranjivanje vodonosnika u kotlini
- (**Hidroprojekt - ing, 2005**)



Slika 20. Geološka karta sliva rijeke Orłave (iz: **Hrvatska vodoprivreda, 1991**)

3.3. Hidrogeološke značajke

Na području Požeštine postoje primarno dvije različite vrste vodonosnika. Međuzrnski vodonosnik u dolini rijeke Orljave i pukotinski vodonosnik na području prostiranja karbonatnih stijena (Slika 21) i Tablica 4.



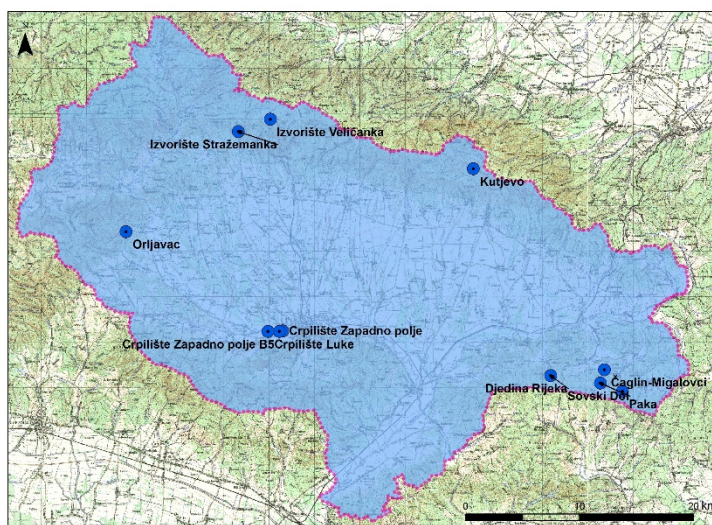
Slika 21. Shematski prikaz hidrogeološke karte sliva Orljave (prema: **Hidroprojekt – ing, 2005**)

Tablica 4. Prikaz vrsta stijena i propusnosti stijena na području sliva Orljave

VRSTA STIJENA	PROPUSNOST
Glinovito laporovite naslage i nisko metamorfne stijene	-
Intruzivne i visoko metamorfne stijene	pretežito vrlo slaba propusnost
Izmjena klastičnih ili klastičnih i karbonatnih stijena	vrlo slaba propusnost
Karbonatne stijene	slaba propusnost
Klastične ili slabo vezane klastične pretkvartarne naslage	slaba propusnost
Kvartarne stijene	slaba propusnost

Slivno područje rijeke Orljave pripada vodnom području sliva rijeke Save. S hidrogeološkog gledišta, odnosno infiltracije u podzemlje i mogućnosti akumuliranja podzemnih voda najznačajnije su stijene srednje trijaskog karbonatnog kompleksa – dolomiti, dolomitne breče i dolomitni vapnenci. Ove karbonatne stijene tijekom geološke prošlosti bile su podvrgnute intenzivnoj i višestrukoj tektonskoj aktivnosti. Osnovna im je hidrogeološka značajka sekundarna, pukotinska poroznost, koja u zonama jače razlomljenosti i okrštenosti omogućava infiltraciju dijela padalina i površinskih voda u podzemlje, te formiranje dubljih i plićih vodonosnika hladne i termalne vode. Najznačajnija dreniranja podzemnih voda, odnosno svi veći izvori na ovom dijelu Papuka vezani su uz trijaski karbonatni kompleks kojeg sačinjavaju Veličanka, Stražemanka, Dubočanka, Tisovac te pojave termalnih vrela u Velikoj i subtermalnih vrela u izvorišnom dijelu Dubočanke (**Hidroprojekt - ing, 2005**).

Najveća rijeka u ovom okruženju je rijeka Orljava, ujedno i glavni odvodni recipijent svih voda Požeštine. Korito rijeke Orljave regulirano je u duljini od 20 km. Površina sliva rijeke Orljave iznosi 1580 km² na ušću uz rijeku Savu, a 745 km² na ušću rijeke Londže. Dužina rijeke Orljave iznosi 86 km, dok rijeka Londža ima slivnu površinu 481 km². Vodonosnik aluvijalnih naslaga rijeke Orljave zahvaćen je na četiri aktivna crpilišta na širem području grada Požege, a ostali vodozahvati su u vodonosnicima pukotinske poroznosti. To su: Zapadno polje, Luke, Izvorište Veličanka, Izvorište Stražemanka, Kutjevo, Orljavac, Čaglin – Migalovci, Sovski dol, Paka i Djedina Rijeka. Prikazani su na slici 22 (**Hidroprojekt - ing, 2005**).



Slika 22. Vodocrpilišta na području sliva Orljave (prema: **Hidroprojekt – ing, 2005**)

Vodonosnik se proteže dolinom Orljave, širine 1 do 1,5 km. Sastoji se od sitnozrnatog do krupnozrnatog šljunka s primjesama pijeska. Debljina vodonosnika varira između 4 i 6 m. Uzvodno od zapadnog crpilišta vodonosnik je nagnut i slijedi nagib korita Orljave, pri čemu je nizvodno od Požege, u području Pleternice taj nagib malo manji. U krovini vodonosnika dolazi glinovito - prašnasti pokrov čije se debljine kreću od 2 do oko 5 m u području crpilišta, dok su nešto veći iznosi uz rubove aluvijalnog područja. Podina vodonosnika je sastavljena od miocenskih lapora i laporovitih glina (**Hidroprojekt - ing, 2005**). Na području kroz grad Požegu rijeka Orljava je uređena u dužini 7700 m. Zadovoljavajući stupanj sigurnosti od poplava grada Požege postignut je uređenjem vodotoka Veličanke u dužini od 1816 m, sanacijom određenih hidrotehničkih objekata, te uređenjem bujica Vučjak i Komušanac (**Hidroprojekt - ing, 2005**).

3.4. Klimatološke značajke

Područje Požeško-slavonske županije nalazi se u cirkulacijskom pojasu vjetrova umjerenih geografskih širina s intenzivnim i čestim promjenama vremena, te ima umjereno kontinentalnu klimu. Klimatski odnosi na širem području Požege prvenstveno su uvjetovani reljefom. Osnovne karakteristike umjereno tople kišne klime su sljedeće (**Prethodna hidrogeološka studija vodoopskrbnog sustava Požege, 1996**):

- 1.) srednja mjesečna temperatura je viša od 10 °C u više od četiri mjeseca u jednoj godini,
- 2.) srednja temperatura najhladnijeg mjeseca u godini kreće se između □ 3 °C i □ 18 °C, a ne prelazi □ 22 °C,
- 3.) ukupne količine oborina kreću se od 700 mm do 900 mm godišnje,
- 4.) vjetrovitost je promjenjiva, a za ovo područje karakteristični su slabi vjetrovi i tišina, dok su jaki vjetrovi rijetkost.

Požeška kotlina ljeti se jako zagrije, a zimi potpuno rashladi, tako da temperaturna razlika između najtoplijeg i najhladnijeg mjeseca (izmjereno u Požegi u vremenskom razdoblju 1948. – 1963. godine) iznosi prosječno 21 °C. Najhladniji mjesec je siječanj u kojem srednja mjesečna temperatura iznosi □ 1,3°C, a najtopliji mjesec je srpanj sa srednjom mjesečnom temperaturom od 20°C. Srednje mjesečne temperature toplog dijela godine (od svibnja do listopada) iznose preko 10 °C. Za ovo područje

karakteristična su znatna kolebanja temperatura. Srednje godišnje padaline kreću se od 780,0 mm do 840,0 mm. Karakteristike klimatskih prilika promatranog područja Požeške kotline uvjetovane su prirodnim položajem kao i odlikama opće cirkulacije atmosfere u umjerenim širinama. Meteorološka mjerenja izvršavaju se na stanicama: Požega, Kutjevo, Velika i Pleternica. Prosječne godišnje padaline u periodu od 11 godina (1985.- 1995.), izmjerene na kišomjernoj stanici Velika, u Požeškoj kotlini kretale su se oko 790 mm, dok gorski masiv, posebno njegov zapadni dio u prosjeku ima više padalina. U tom razdoblju najniže godišnje padaline (619,9 mm) zabilježene su 1988., a najviše godišnje padaline (950 mm) 1995. godine. Već prije je navedeno da je u promatranom razdoblju najsušnija godina bila 1988. U toj godini najkišniji mjesec bio je ožujak (104,1 mm), dok su topli i inače najkišniji mjeseci imali malu količinu padalina (**Prethodna hidrogeološka studija vodoopskrbnog sustava Požege, 1996**).

3.5. Reljefno - pedološke značajke

Požeška kotlina dijeli se na tri reljefne subregije (**IGH, 2017**):

- Zapadni dio – čini ju prigorje sjeveroistočnog dijela Psunja i zapadni dio podgorja Požeške gore
- Središnji dio – čini ju prigorje Papuka i dio podgorja Požeške gore
- Istočni dio – čini ju prigorje Krndije i podgorje Dilja

Najviši vrh nalazi se na Psunju na visini od 989 m nm. Prostorom Požeško – slavonskom županijom dominiraju gorske strukture, hrptovi i masivi, složene rasjedne morfostrukture u čijem sastavu prednjače magmatske stijene (graniti i amfiboliti), metamorfne stijene (gnajsi i kristalasti škriljevci), sedimentne stijene (dolomiti, vapnenci, pješčenjaci), predpaleozojske, paleozojske, mezozojske i terciarne starosti. Krndija, Papuk i Psunj u strukturnom su smislu stijenski kompleksi borani u mezozoiku, paleozoiku i starijem tercijaru. Ali tijekom neogena i kvartara ti kompleksi su izdignuti i većim dijelom ekshumirani. Gorske strukture su egzogeomorfološkim modeliranjem poprimile svojstva sredogorskih hrptova i masiva (461 – 985 m). Padinskim i erozijskim procesima gore su podijeljene na brojne doline i kose. Reljefno najizraženiji je gorski masiv s planinama različitog smjera pružanja koje sa svih strana okružuju, tj. zatvaraju Požešku kotlinu. Sjeverozapadni dio masiva s nadmorskim visinama najviših vrhova (984 m, 953 m i 792 m) Psunja, Papuka i Krndije, viši je, raščlanjeniji i širi od jugoistočnog dijela masiva s Dilj gorom i Požeškom gorom čije su najviše nadmorske visine 459 m i 616 m. Gorski masiv s unutrašnje

strane zavale prelazi u padinsko osunčana prigorja, te osjenjeno, disecirana i ponegdje dosta strma podgorja. Prigorja i podgorja Psunja i Požeške gore mnogo su izrazitija nego Dilj-gore, koja istodobno reljefno definiraju prostorne okvire kotline. U pravilu reljefno zaravnjeni, litološki i pedološki pogodniji (les ili prapor i bonitetno vrijednija lesivirana tla), vodom bogatiji, te vegetacijski primjereniji dijelovi dna kotline i nekih prostranijih dolina (Orljave, Londže, Pakre), su područja najveće geokološke vrijednosti. Središnji prostor je reljefno manjim dijelom ravan, a većinom valovit, s većim i manjim brežuljcima.

U središnjem dijelu kotline nadmorska visina doseže oko 150-200 m, a najniža je uz rijeku Orljavu. Prigorski i podgorski dijelovi zavala obilježeni su razvojem lesiviranih (ispranih) i pseudoglejnih tala, dok su naplavne ravni u dolinama vodotoka svojstvena močvarnim glejnim i aluvijalnim tlom. Dijelovi prigorja i podgorja, te Dilj-gora, obilježeni su razvojem smeđih tala na laporima, lesiviranim i pseudoglejnim tlom. Na području Požege nalaze se obradiva tla nejednolikih proizvodnih svojstava za poljoprivrednu biljnu proizvodnju. Središnji dijelovi Požeške kotline, sačinjeni su od žućkaste bikarbonatne ilovače nastale eolskim taloženjem praporne prašine. Tlo je obraslo šikarama i šumama sa zastupljenošću od oko 15 %, a ostalo su livade i poljoprivredne površine. Poljoprivredne površine na području županije zauzimaju 49,29 % ukupne njezine površine. Od navedene površine na obradive površine otpada 43,12 % u odnosu na površinu županije. Poljoprivredne površine podijeljene su u tri kategorije - osobito vrijedno obradivo tlo, vrijedno obradivo tlo i ostala obradiva tla (IGH, 2017).

3.6. Stanje zaštite voda na crpilištima (vodozahvatima)

Područje Požege bogato je površinskim vodama, dok su podzemne vode u manjoj mjeri zastupljene. U svrhu vodoopskrbe koriste se izvori na padinama okolnog gorja, zahvati na rijekama gornjeg toka gdje još nema onečišćenja i podzemne vode.

Trenutno stanje zaštite vodnih resursa definirano je Pravilnikom o utvrđivanju zona sanitarne zaštite izvorišta iz 2002. godine (NN 55/02). Na temelju odredbi tog pravilnika određene su zone zaštite i mjere zaštite podzemnih vodonosnika i zaštita površinskih izvorišta. Tako su na tom području dominantna podzemna izvorišta s međuzrnskom poroznošću za koje su predviđene tri zone sanitarne zaštite prikazane na slici 23 (Hidroprojekt - ing, 2008):

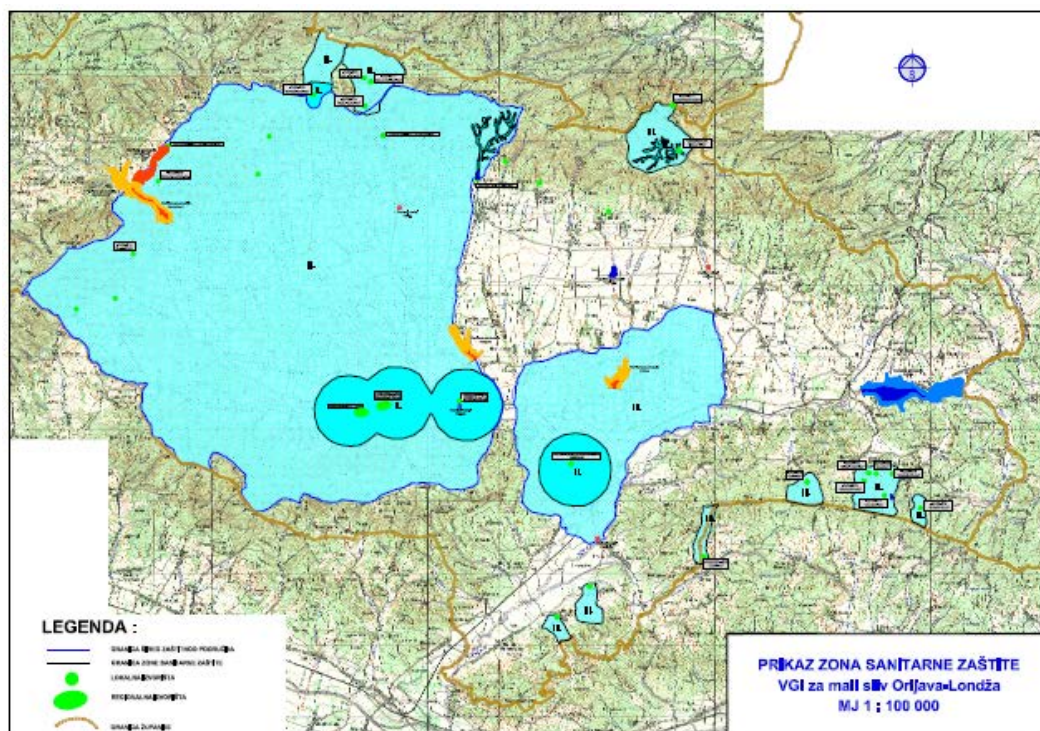
- I. zona - zona strogog režima zaštite (čl. 11.) mora biti ograđena, a proteže se najmanje 10 metara od zahvata;
- II. zona – zona strogog ograničenja (čl. 11.) treba obuhvatiti područje do crte od koje podzemna voda ima minimalno vrijeme zadržavanja u podzemlju 50 dana do ulaska u vodozahvatni objekt (čl. 14.);
- III. zona – zona ograničenja i kontrole (čl. 11.) treba obuhvatiti područje do granice izračunatog područja napajanja (čl. 12.).

Prva zona zaštite obuhvaća branu, akumulaciju i ostale pripadajuće objekte, te zaštitni pojas uz akumulaciju od 10 metara od ruba vode pri najvišem vodostaju. Ograđen treba biti vodozahvat, crpna stanica, postrojenje za preradu vode te građevine za pogon i čuvanje. Druga zona obuhvaća pojas širine najmanje 100 metara sa svake strane dotoka mjereno od vanjske granice I. zone, a prostire se uz dotok do granice područja sliva akumulacije te pojas od 100 metara uz akumulaciju mjereno od vanjske granice I. zone. Treća zona obuhvaća pojas od granice II. Zone do vanjske granice sliva. Za granice I. i II. zone postavljeni su jednoznačni kriteriji s tim da se u trajanje zadržavanja vode na putu prema zahvatnim zdencima može uračunati i vrijeme na vertikalnom procjeđivanju kroz pokrovne naslage. Jedno od obilježja ovih dviju zona je relativno mala površina. Dimenzije I. zone zadane su Pravilnikom, a kriterij II. zone se ostvaruje na nekoliko desetaka ili nekoliko stotina metara udaljenosti od zahvata što u regionalnom smislu nema veliko značenje. Prema tome i regionalnim analizama pozornost se posvećuje površinama i mjerama III. zone sanitarne zaštite (**Hidroprojekt - ing, 2008**).

Ograničenja u III. Zoni utvrđuju se radi smanjenja rizika onečišćenja podzemnih voda od teško razgradivih radioaktivnih i kemijskih tvari. Ograničenja koja su eksplicitno propisana u članku 13. pravilnika su (**Hidroprojekt - ing, 2008**):

- ispuštanje nepročišćenih otpadnih voda,
- odlaganje otpada,
- gradnja kemijskih industrijskih postrojenja i
- gradnja prometnica bez sustava kontrolirane odvodnje i pročišćavanja oborinskih voda.

Uz ta ograničenja mogu postojati i dodatna ograničenja koja su posebna za određena crpilišta, ali postoji i potreba za ograničenjem koje se odnosi na navodnjavanje poljoprivrednih površina i intenzivnu proizvodnju koje generiraju sustavno onečišćenje podzemnih voda (**Hidroprojekt - ing, 2008**).



Slika 23. Prikaz zona sanitarne zaštite Orława - Londža (**Hidroprojekt - ing, 2008**)

Pojava i količina podzemne vode na određenom području ovisi o nizu čimbenika, a to su: količina oborina, vrsta i sastav tla, topografija terena, biljni pokrov, sastav stijena kao i njihova vodopropusnost. Za vodonosnik je nužno osigurati najveći stupanj zaštite. Iz tog razloga potrebno je provoditi ove mjere i aktivnosti (**Hidroprojekt - ing, 2008**):

- zbog smanjenja velike količine nitrata u vodi, poljoprivrednu proizvodnju nužno je prilagoditi uvjetima zaštite na način da se uvedu kontrole upotrebe gnojiva,
- riješiti pitanje odvodnje otpadnih voda iz naselja,
- riješiti odvodnju i zbrinjavanje otpadnih voda s farmi na području vodonosnika (identifikacija onečišćenja, njihovo uklanjanje i provođenje zaštitnih mjera),
- gospodarski subjekti priključeni na sustav javne odvodnje obavezno moraju primjereno tehnološkim procesima vršiti predtretmane otpadnih voda,

- ukloniti postojeće divlje deponije i spriječiti nastajanje novih, a općine i gradovi moraju u potpunosti ispuniti zakonsku obvezu uključivanja u sustav organiziranog prikupljanja, odvoza i deponiranja otpada
- što prije na županijskoj razini usvojiti opredjeljenje o sustavu zbrinjavanja komunalnog i tehnološkog neopasnog otpada (izbor načina obrade i potreban broj lokacija) te započeti s realizacijom.

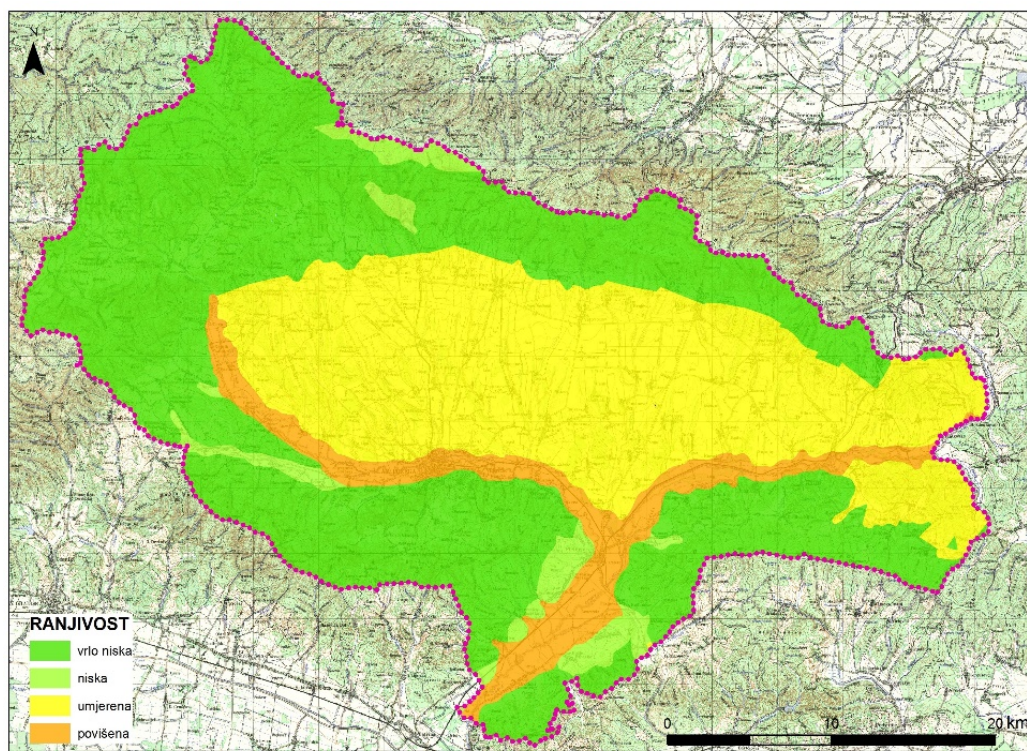
4. PROCJENA RIZIKA U SLIVU ORLJAVE

4.1. Procjena prirodne ranjivosti SINTACS metodom

Iako je u početnoj fazi izrade ovoga rada bila planirana izrada vlastite karte ranjivosti za područje sliva Orljave, zbog nedostatka potrebnih podataka u toku izrade se odustalo od toga. Podaci o procijenjenoj prirodnoj ranjivosti koji će se nadalje koristiti za analizu rizika od onečišćenja podzemnih voda preuzeti su iz studije Hrvatskog geološkog instituta, Zavoda za hidrogeologiju i inženjersku geologiju: „Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda u panonskom dijelu Republike Hrvatske“ (*HGI, 2009*). Naime, u tom elaboratu izrađena je analiza procjene ranjivosti za cijelo panonsko područje u Republici Hrvatskoj primjenom SINTACS metode (*Civita & De Maio, 2000*). Prema tome, određeno je sedam slojeva koji predstavljaju ocjenu prirodnih obilježja hidrogeološkog sustava, a to su:

- dubina do podzemne vode (S),
- efektivna infiltracija (I),
- obilježja nesaturirane zone vodonosnika (N),
- obilježja saturirane zone vodonosnika (T),
- svojstva tla (A),
- hidraulička vodljivost vodonosnika (C) i
- nagib topografske površine (S).

Procjena prirodne ranjivosti ustvari predstavlja prostornu analizu napravljenu GIS tehnologijom pomoću rastera koji su kartirani posebno za svaki tematski sloj (dobivena je karta prostorne raspodjele parametra procjene za svako slovo na slivu Orljave). Elementi prostorne mreže (grid) veličine su 500x500 metara. Konačni SINTACS indeks ranjivosti vodonosnika dobiven je rasterskom algebrom zbrajanjem tematskih slojeva nakon što su pomnoženi težinskim faktorima za pojedine okoliše scenarije, baš kao što je detaljno opisano u poglavlju 2.3. ovoga rada. Krajnji rezultat je karta prirodne ranjivosti u slivu Orljave koja je prikazana na slici 24, a u tablici 5 prikazana je zastupljenost pojedinih klasa ranjivosti na području promatranog sliva.



Slika 24. Karta prirodne ranjivosti u slivu Orłjave (prema *HGI, 2009*)

Tablica 5: Zastupljenost klasa ranjivosti u slivu Orłjave

RAZINA RANJIVOSTI	POVRŠINA SLIVA [km ²]	UDIO SLIVA [%]
vrlo niska	681,83	52,4
niska	48,63	3,7
umjerena	464,33	35,7
povišena	106,37	8,2

Iz tablice 5 vidljivo je da je na slivu Orłjave zastupljeno 4 klase ranjivosti, tj. nema visoke i vrlo visoke klase ranjivosti. Povišenu ranjivost imaju propusne kvartarne naslage, što čini samo nešto malo više od 8 % površine sliva, dok slabije propusne kvartarne naslage u središnjem dijelu sliva imaju umjerenu ranjivost (35,7 % površine sliva). Ostatak sliva na kojemu su zastupljene karbonatne stijene, zatim klastične ili slabo vezane klastične predkvartarne naslage te glinovito laporovite naslage, intruzivne i metamorfne stijene imaju nisku ili vrlo nisku prirodnu ranjivost.

4.2. Analiza opasnosti u slivu

Da bi se odredio antropogeni utjecaj na vode, potrebno je znati koje opasnosti prijete onečišćenjem. Sve vode na Zemlji smatraju se nepodobnim kada ih u prirodnom stanju ne možemo koristiti za određenu namjenu već ju prije korištenja trebamo pročistiti. Najčešća prijetnja kakvoći vode je naravno čovjek jer svojim djelovanjem narušava tu kakvoću. Onečišćenje se može pojaviti uslijed izravnog (direktno ispuštanje otpadnih voda, direktnog oborinskog otjecanja sa izgrađenih površina kao i odlaganja otpadnih tvari) ili neizravnog djelovanja (indirektno unošenje čvrstih ili tekućih otpadnih tvari na poljoprivredne i druge površine kada topive otpadne tvari zajedno s vodom odlaze u podzemlje ili oborinskim ispiranjem dolaze u otvorene vodotoke. Kada je riječ o direktnom ispuštanju otpadnih voda tada se radi o točkastim izvorima onečišćenja, a u slučaju indirektnog unosa otpadnih tvari radi se o raspršenim izvorima onečišćenja. Najveće opterećenje voda nastaje ispuštanjem otpadnih voda naselja, gradova i industrijskih pogona. Otpadne vode dijelimo na (**Hidroprojekt - ing, 2008**):

- Komunalne otpadne vode – nastale su iz iskorištenih voda gradova i naselja, najčešće iz otpadnih voda u kućanstvu, zgradama, trgovinama i drugim ustanovama kao i otpadnih voda praonica, gostionica i drugih objekata. Vrsta i količina onečišćujućih tvari u kućanskim otpadnim vodama ovisi o životnim navikama i životnom standardu. Kućanske otpadne vode bogate zbog svog sadržaja (fekalije) su velikom količinom bakterija među kojima se nalaze i pojedine patogene klice, gljivice, virusi i jajašca koja imaju veliko značenje pri korištenju vode za vodoopskrbu i kupanje (**Hidroprojekt - ing, 2008**).
- Industrijske otpadne vode – sastoje se od vode koja je korištena u proizvodnji kao transportno sredstvo i kao rashladno sredstvo. U pojedinim se industrijskim granama i pogonima javljaju velike razlike u količini otpadnih voda, uzimajući u obzir količinu prerađenih sirovina. Industrijske otpadne vode s velikim udjelom organske tvari, poput otpadne vode klaonice, mljekara, tvornica čokolade, pivovara, itd. u vodotoke ispuštaju slična opterećenja kao kućanske otpadne vode. Opterećenja industrijskih otpadnih voda mogu se izravno uspoređivati s opterećenjima kućanskih otpadnih voda pomoću vrijednosti tzv. „ekvivalent stanovnika“ (**Hidroprojekt - ing, 2008**).

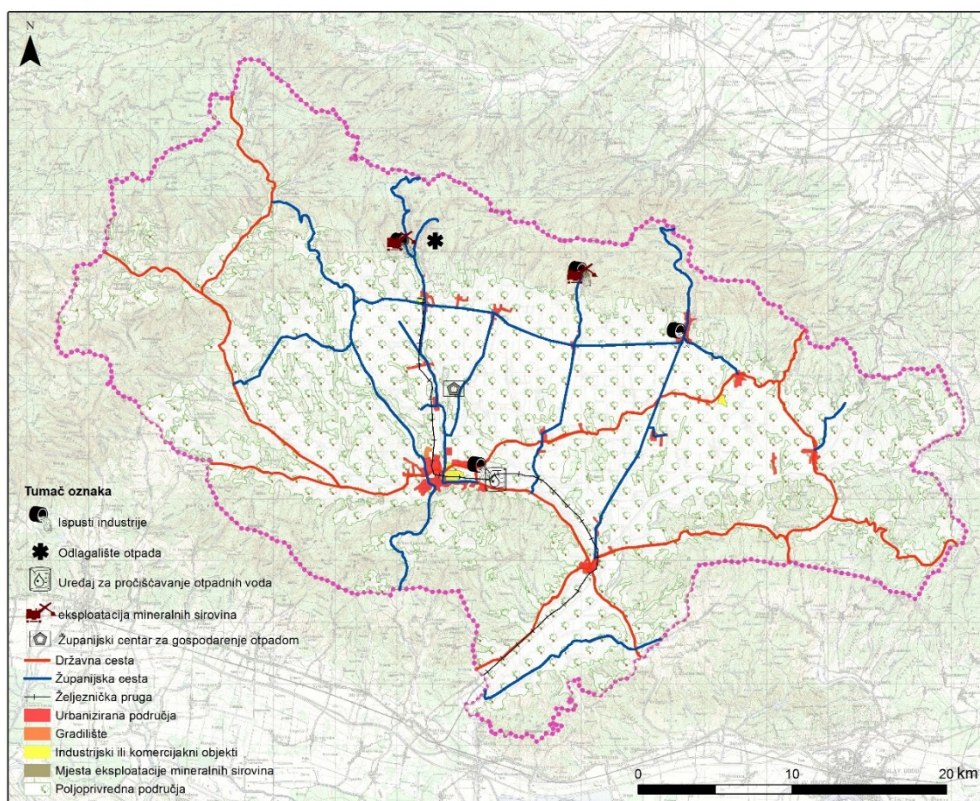
- **Oborinski utjecaj izgrađenih površina** – takve površine čine sva zemljišta koja su podvrgnuta promjenama poput; promjene mjerama gradnje, naročito stambenim, privrednim, javnim i drugim zgradama i industrijskim postrojenjima, naseljena područja, uređenje javnih parkova i sportskih terena, ceste, željeznice, aerodromi i druge građevine. Procesom otjecanja s izgrađenih površina oborinska voda koja iz oblaka putuje na površinu zemlje onečišćena je plinovima i onečišćujućim tvarima iz atmosfere te prihvaća sve onečišćujuće tvari na koje nailazi „putujući“ prema površini zemlje, kao što su prašina, tvari nastale habanjem cestovnih površina, otpad od automobilskih guma, gorivo, lišće te fekalije. Sadržaj onečišćujućih tvari u oborinskim vodama može varirati, a najveća koncentracija onečišćujućih tvari je nakon kiše (**Hidroprojekt - ing, 2008**).
- **Otpadne vode poljoprivrednih pogona** – u modernim poljoprivrednim pogonima metode prihranjivanja su poboljšane, a većina radnih postupaka tj. poslova je zamijenjena strojevima. Upravo mjere koje za cilj imaju povećanje prinosa dovele su do povećanja potrošnje vode a samim time i do povećane količine otpadnih voda visokih koncentracija onečišćujućih tvari. Najveće poteškoće javljaju se u uklanjanju gnojnice i procjednih voda iz silosa za hranu zbog količine organske tvari (**Hidroprojekt - ing, 2008**).
- **Vode s poljoprivrednih površina** – Vode s pašnjaka i drugih poljoprivrednih površina se razlikuju. S pašnjaka se oborinskim otjecanjem ispiru i fekalije stoke, dok s poljoprivrednih i vrtlarskih površina erozijom u vodotoke dopijevaju značajne količine suspendiranih tvari. Također otjecanjem oborinskih voda s ovih površina u vodotoke dopijevaju i organske tvari te hranjive soli prirodnih i umjetnih gnojiva poput dušika i fosfata kao i sredstva za zaštitu bilja (**Hidroprojekt - ing, 2008**).
- **Otpadne vode s odlagališta otpada, rekreacijskih područja i onečišćenog zraka** – procjedne vode s odlagališta komunalnog otpada opterećene su organskim tvarima i dušikovim spojevima. Koncentracija onečišćujućih tvari u procjednim vodama 20 do 30 puta je veća nego koncentracija onečišćenja u kućanskim otpadnim vodama (**Hidroprojekt - ing, 2008**).

Prema protokolu iz COST 620, onečišćivači se grupiraju prema geometriji rasprostiranja na točkaste linijske i poligonske. Tablica 6 prikazuje poligonske onečišćivače izdvojene prema Corine Land Cover podlozi (*CORINE, 2012., 2018.*) te točkaste i linijske onečišćivače prema prostornom planu Požeško – slavonske županije (*PPPSŽ, 2018.*).

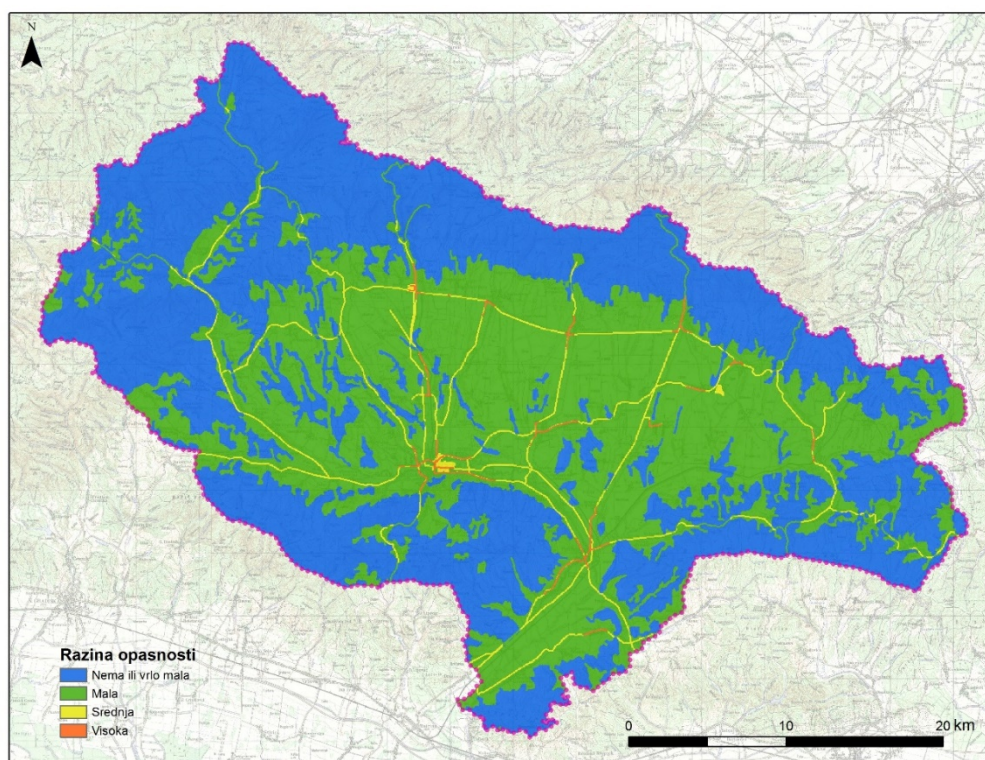
Tablica 6. Prikaz onečišćivača s dodijeljenim težinskim vrijednostima

ONEČIŠĆIVAČI	TEŽINSKA VRIJEDNOST
POLIGONSKI:	
Urbanizirana područja	35
Industrijski ili komercijalni objekti	50
Mjesta eksploatacije mineralnih sirovina	25
Gradilišta	35
Poljoprivredna područja	25
LINIJSKI:	
Ceste (državne i županijske)	40
Željeznička pruga	30
TOČKASTI:	
Odlagališta otpada	40
Ispusti industrije	45
Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda	35
Županijski centar za gospodarenje otpadom	40

Izdvojeni izvori opasnosti najprije su popisani i formirani u GIS bazu podataka. Na temelju njihove lokacije izrađena je karta neklasificiranih opasnosti (Slika 25). Zatim se pristupilo klasifikaciji izvora opasnosti. Prema tablici prikazanoj na Slici 13. svakom izvoru opasnosti dodijeljena je težinska vrijednost opasnosti. Vrijednosti faktora rangiranja i faktora redukcije uzeti su da iznose 1, stoga je vrijednost H jednaka vrijednosti HI. Izrađeni su rasteri indeksa opasnosti za svaku geometriju hazarda (točke, linije, poligoni) te su GIS prostornom analizom sve opasnosti sumirane i grupirane u klase opasnosti prema rasponima prikazanim u Tablici 3. Krajnji rezultat je karta klasificiranih opasnosti (Slika 26), a odnos zastupljenih klasa u Tablici 7.



Slika 25. Karta neklasificiranih opasnosti na slivu Orłave



Slika 26. Karta klasificiranih opasnosti na slivu Orłave

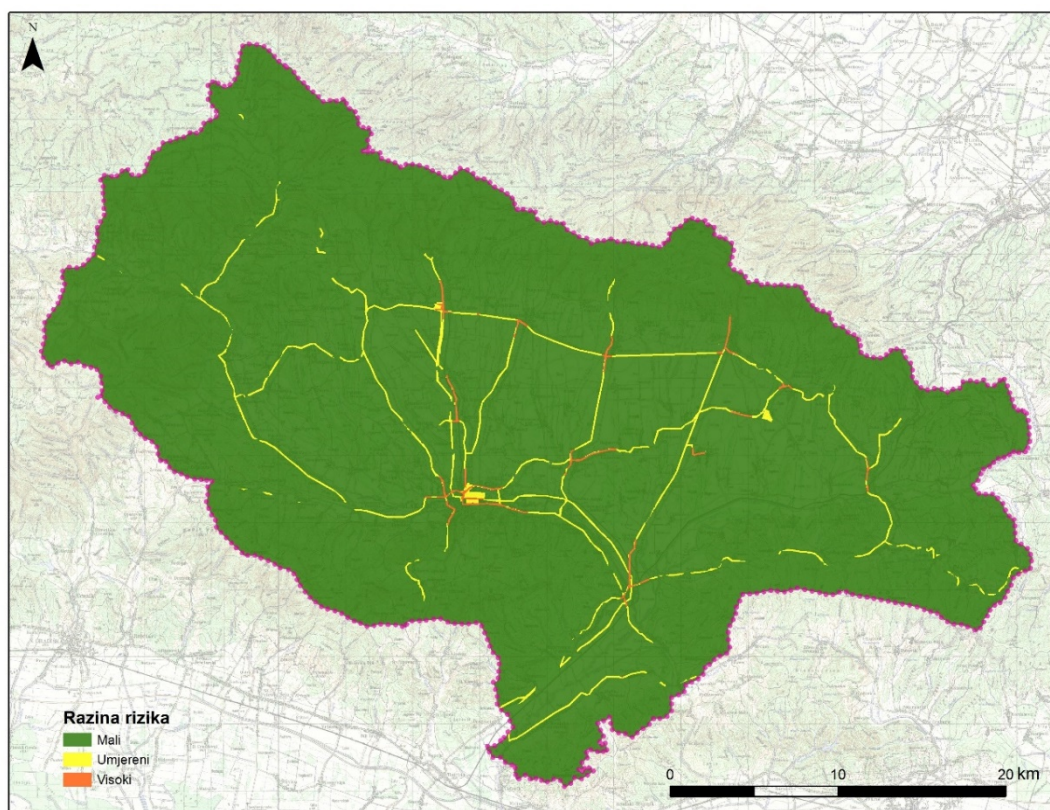
Tablica 7: Zastupljenost klasa opasnosti u slivu Orljave

RAZINA OPASNOSTI	POVRŠINA SLIVA [km ²]	UDIO SLIVA [%]
Nema ili vrlo mala	682,77	52,5
niska	586,66	45,1
srednja	25,51	2,0
visoka	4,79	0,4

Na temelju rezultata procjene opasnosti najveći dio sliva nije u nikakvoj opasnosti od postojećih izvora onečišćenja ili je opasnost vrlo niska. Tek dijelovima sliva uz prometnice, urbanizirane ili industrijalizirane zone prijeti srednja ili visoka opasnost od onečišćenja iz postojećih objekata, što predstavlja tek 2,4 % površine sliva.

4.3. Analiza rizika

Treći korak procjene rizika od onečišćenja podzemnih voda je upravo analiza rizika, koja ustvari prema smjernicama COST 620 predstavlja postupak određivanja indeksa intenziteta rizika kao kombinacije prirodne ranjivosti i procijenjene opasnosti od postojećih izvora onečišćenja. U ovom slučaju, budući da su kod preuzimanja podataka o ranjivosti (*HGI, 2009*) bile poznate samo klase ranjivosti, bez poznatih numeričkih vrijednosti i prostorne raspodjele vrijednosti SINTACS indeksa, moglo se pristupiti samo semikvantitativnoj analizi kombiniranja klasa ranjivosti i opasnosti kao što je prikazano na slikama 15 i 16. Tako je određen nizak indeks intenziteta rizika za ona područja na kojima je vrlo mala ili mala opasnost, bez obzira na klasu ranjivosti, budući da tamo gdje nema opasnosti nema ni rizika. Umjereni rizik dodijeljen je onim područjima gdje se preklapaju umjerena i povišena ranjivost, a opasnost je srednja i tamo gdje je niska ranjivost, a visoka opasnost. Visoki rizik zahvaća samo ona područja gdje su se preklopili umjerena i povišena ranjivost s visokom razinom opasnosti. Na taj način dobivena je karta rizika u slivu Orljave koja je prikazana na Slici 27, a odnos površina sa zastupljenim klasama rizika prikazana je u Tablici 8.

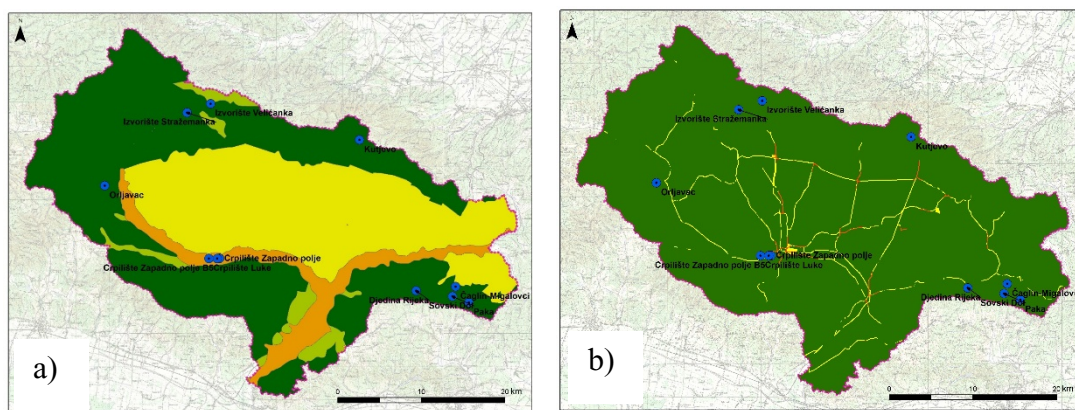


Slika 27. Karta rizika od onečišćenja podzemnih voda u slivu Orłava

Tablica 8: Zastupljenost klasa rizika u slivu Orłave

RIZIK	POVRŠINA SLIVA [km ²]	UDIO SLIVA [%]
mali	1273,69	97,8
umjereni	24,09	1,9
visoki	4,20	0,3

Kao krajnji rezultat analize karta rizika od onečišćenja podzemnih voda je pokazala da je tek nešto malo više od 2 % površine sliva u umjerenom ili visokom riziku. Radi se o urbaniziranim i industrijaliziranim dijelovima na području aluvijalnog vodonosnika na kojemu je uslijed postojećih izvora opasnosti mogući prodor onečišćujućih tvari u podzemlje. No, zabrinjavajuće je što se upravo na tom dijelu nalaze dva glavna crpilišta u aluvijalnom vodonosniku, Luke i Zapadno polje (Slika 28 a i b).



Naime, vodocrpilišta Luke i Zapadno polje nalaze se u području povišene ranjivosti i na dijelu umjerenog te visokog rizika. To bi ukazivalo na to da kod novelacije zona zaštite vodocrpilišta na području Požeštine (u slivu Orljave) prema najnovijoj verziji Pravilnika o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta (***NN 66/11, NN 47/13***) posebnu pažnju treba posvetiti upravo tom području i dodatnim istraživanjima predložiti što učinkovitije mjere zaštite.

Iako je procjena rizika u slivu Orljave pokazala da 98 % površine sliva u stupnju malog rizika, to svakako nije podatak koji treba uzeti zdravo za gotovo i ne provoditi daljnje aktivnosti oko poboljšanja učinkovitosti zaštite i upravljanja vodnim resursima tog područja.

5. ZAKLJUČAK

Svima je dobro poznato da se prema prirodnim resursima treba odnositi s poštovanjem jer omogućavaju život na zemlji, a posebno se to odnosi na vodu. Važno je racionalno ju koristiti kako bi raspoložive zalihe bile dostatne, ali isto tako je važno zaštititi ju i očuvati njezinu kakvoću, koja je jednako važna kao i količina. Vodonosnici na području Požege pripadaju Savskom slivu grupiranih podzemnih vodnih tijela. Prema Okvirnoj direktivi o vodama EU 2000/60/EC koja propisuje smjernice održivog upravljanja vodnim resursima, prvi korak upravljanja je izdvajanje podzemnog vodnog tijela karakterizacijom, a zatim slijedi određivanje ranjivosti vodonosnika tj. identifikacija slabih točaka vodnog tijela na temelju isključivo njegovih prirodnih obilježja. Sljedeći je korak određivanje opterećenja onečišćivača te utvrđivanje utjecaja izvora opasnosti na kvalitetu voda, što je ustvari zadaća analize opasnosti. I na kraju rezultat toga je izdvajanje vodnog tijela u riziku. Prema Okvirnoj direktivi od vodama EU (2000/60/EC) i Direktivi o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja kakvoće (2006/118/EC) cilj je postići najmanje dobar kemijski i količinski status tijela podzemnih voda. Procjena ranjivosti i rizika od onečišćenja prikazani u ovom radu predstavljaju prihvatljivu metodologiju procjene za utvrđivanje tog cilja.

Poznavanje geoloških i hidrogeoloških karakteristika istraživanog područja predstavlja temelj dobre ocjene ranjivosti vodonosnika. Vodonosnik aluvijalnih naslaga rijeke Orljave zahvaćen je na četiri aktivna crpilišta na širem području grada Požege. Ostali vodozahvati predstavljaju mjesta istjecanja iz pukotinskih vodonosnika. Za vodozahvate su proglašene zone sanitarne zaštite, ali one nisu novelirane u skladu s promjenom Pravilnika. Rezultati procjene ranjivosti i rizika od onečišćenja podzemnih voda mogli bi pridonijeti učinkovitosti zaštite bez ograničavanja razvoja područja.

Rezultati procijenjene ranjivosti ukazuju da središnji sliva Orljave gdje su rasprostranjeni vodonosnici uglavnom slabih hidrauličkih svojstava, ali s razmjerno malom dubinom do vode i slabim zaštitnim svojstvima nesaturirane zone i tla, kao i karbonatni vodonosnici, koji se mjestimično nalaze na planinskim predjelima spadaju u klasu umjerene ranjivosti. Niska i vrlo niska ranjivost većinom je postignuta u planinskim predjelima izgrađenim od stijena slabih do vrlo slabih hidrauličkih svojstava. Povišenu ranjivost ima aluvijalni vodonosnik srednje propusnosti.

Što se tiče procjene opasnosti, karta klasificiranih opasnosti je ukazala na to da glavina sliva nema nikakvu opasnost ili je ona niska. Tek dijelovima sliva uz prometnice, urbanizirane ili industrijalizirane zone prijeti srednja ili visoka opasnost od onečišćenja iz postojećih onečišćivača, što predstavlja tek 2,4 % površine sliva.

U završnom koraku analize ocjenom intenziteta rizika obuhvaćen je zajednički utjecaj opasnosti i ranjivosti vodonosnika. Karta rizika ukazala je na to da uvjerljivo najveću površinu sliva zauzima kategorija niskog rizika (98 %). No dijelovi na kojima je utvrđen umjeren i visok rizik, iako površinom mali nikako nisu zanemarivi.

U sustavu zaštite kakvoće podzemne vode rezultate ocjene ranjivosti, opasnosti i rizika treba promatrati kao sredstvo koje će unaprijediti postojeći sustav zaštite. Svoju primjenu svakako mogu pronaći u području prostornog planiranja, ali i dizanju svijesti svih sudionika u prostoru o važnosti podzemne vode, njezinoj ranjivosti i zaštiti.

6. POPIS LITERATURE

1. **Albinet, M. & Margat, J. (1971):** Cartographie de la vulnerabilite a la pollution des nappes d' eau souterraine. Proc of Moscow Symp of IAHS on Groundwater Pollution. IASH publN No.3, 58 str..
2. **Aller, J.R., Bennet, T., Feheer, J.H., Petty R.J. & Hackett G. (1987):** DRASTIC, a standardised system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological settings. US EPA 600/2-87-035.
3. **Civita M. (1988):** Difesa Degli Acquiferi dell Alta Pianura Veneta, Stato di Inquinamento e Vulnerabilita delle Acque Sotterranee del Bacino del Branta. CNR Publicatione n. 207, 21 str., Venezia.
4. **Civita M. & De Maio M. (2000):** SINTACS R5, a new parametric system for the assessment and automating mapping of groundwater vulnerability to contamination – Pitagora Editor (Bologna), 226 str.
5. **Civita M. (2010):** The Combined Approach When Assessing and Mapping Groundwater Vulnerability to Contamination. J. Water Resource and Protection, 14-28.
6. **CORINE (2012 i 2018).** CORINE Land Cover Hrvatska.
7. **COST action 65 (1995):** Final report. „Carst groundwater protection“. European Comission, Report EUR 16547 EN, Directorate – General Science, Research and Developmemnt, 446 str., Brussels.
8. **COST action 620 (2004):** Vunerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers. Final report (COST action 620), Zwahlen, F.(ed), European Commission, 297 str., Brussels.
9. **Daly, D., Dassargues, A., Drew, D., Dunne, S., Goldscheider, N., Neale, S., Popescu, I.C. & Zwahlen, F. (2002):** Main concepts of the European Approach for (karst) groundwater vulnerability assessment and mapping. Hydrogeology Jurnal 10 (2), 340 – 345.
10. **Direktiva o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja kakvoće (2006/118/EC)**
11. **Doerfliger N. & Zwahlen F. (1995):** EPIK, a new method for outlining of protection areas: a water vulnerability assessment in karst environment. U:

- Proceedings of 5th International Symposium on karst waters and environmental impacts, Antalya, Balkema, 117 – 123.
12. **Doerfliger N., Jeannin P.Y. & Zwahlen F. (1999):** Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method). *Environmental Geology* 39 (2), 165-176
 13. **DoELG/EPA/GSI (1999):** Groundwater protection schemes. Department of Environment and Local Government, Environmental Protection Agency and Geological Survey of Ireland, 24 str, Dublin.
 14. **Državni zavod za statistiku (2011):** Popis stanovništva prema starosti, spolu, tipu kućanstva i statusu u obitelji, po županijama, 34 str, Požeško – slavonska županija.
 15. **Foster, S.S.D. (1987):** Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy . *Vulnerability of Soil and Groundwater Pollutants*. Ured. W. van Duijvenbooden & H.G. van Waegeningh. TNO Committee on Hydrological Research Proceedings and Information 38, 69-86, The Hague.
 16. **HIDROPROJEKT – ING (2005):** Osnove navodnjavanja na području Požeško – slavonske županije. Zagreb/Osijek.
 17. **HIDROPROJEKT – ING (2008):** Studija razvitka vodoopskrbe na području Požeško-slavonske županije. Zagreb.
 18. **HRVATSI GEOLOŠKI INSTITUT, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju (2009):** „Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda u panonskom dijelu Republike Hrvatske“. Zagreb.
 19. **IGH (2017):** Izgradnja pristupnog puta na desno obalnom nasipu potoka Veličanka od 0+200 do 1+718. Institut IGH d.d. Zagreb.
 20. **Kavouri, K., Plagnes, V., Tremoulet, J., Dörfliger, 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.
 21. **Loborec, J. (2013):** Procjena rizika od onečišćenja podzemnih voda u kršu na području sliva izvora Jadra i Žrnovnice. Doktorski rad, RGN fakultet sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
 22. **Loborec, J. (2017):** Materijali s predavanja iz kolegija „Analiza rizika podzemnih voda“ u akademskoj godini 2017/2018. Geotehnički fakultet Varaždin.

23. **Margat, J. (1968):** Vulnérabilitié des nappes d'eau souterraine à la pollution. BRGM Publication 68 SGL 198 HYD, Orléans.
24. **National Research Council (NRC) (1993):** Groundwater Vulnerability Assessment. Predicting Relative Contamination Potential Under Conditions of Uncertainty. National Academy Press, 204. str., Washington, D.C.
25. Okvirna direktiva o vodama Europske unije **(2000/60/EZ)**
26. **Pettyjohn, W.A., Savoca, M. & Self, D. (1991):** Regional Assessment of Aquifer Vulnerability and Sensitivity in the Conterminous United States. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
27. **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.
28. **Pratt, P.F., Jones, W.W. & Hunsaker, V.E. (1972):** Nitrate in deep soil profile in relation to fertilizer rates and leaching volume. Journal of Environmental Quality, 1 (1), 97 – 102, ASA, CSSA, SSSA, Madison.
29. Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta **(NN 66/11)**
30. Pravilnik o izmjenama Pravilnika o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta **(NN 47/2013)**
31. Prethodna hidrogeološka studija vodoopskrbnog sustava Požege. **(1996):** Broj: 60/96. Zagreb.
32. 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.
33. **Vrba J. & Zaporozec A. (eds.) (1994):** Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability, International Contribution to Hydrogeology (IAH), 131 p., Hannover.
34. **Wikipedia.** (20.05.2019.) Grad Požega. [Online]. Dostupno na: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Požega>, [29.04.2019.]
35. Vodoprivredna osnova sliva rijeke Orlice **(1991):** JPV „Hrvatska vodoprivreda“. Zagreb.
36. **Zavod za prostorno uređenje Požeško – slavonske županije (2018):** Prostorni plan Požeško – slavonske županije (PPPSŽ)

POPIS SLIKA

Slika 1. Model „porijeklo – put – cilj“

Slika 2. Shema izrade karata ranjivosti kombinacijom parametara O, C, P i K

Slika 3. Konceptualni model krškog vodonosnika koji se koristi kod procjene prirodne ranjivosti

Slika 4. Dijagram određivanja parametra S – dubina do podzemne vode

Slika 5. Dijagram određivanja koeficijenta X ovisno o vrsti stijene

Slika 6. Dijagram određivanja koeficijenta X ovisno o teksturi tla

Slika 7. Dijagram određivanja parametara I

Slika 8. Dijagram određivanja parametara N

Slika 9. Dijagram određivanja parametra T

Slika 10. Dijagram određivanja parametra A

Slika 11. Dijagram određivanja parametra C

Slika 12. Raspon vrijednosti hidrauličke vodljivosti K za najčešće vrste vodonosnika

Slika 13. Dijagram određivanja parametra S – utjecaj nagiba terena

Slika 14. Težinske vrijednosti za pojedine tipove opasnosti

Slike 15 i 16 prikazuju različite načine procjene intenziteta rizika bez matematičkih izračuna

Slika 17. Dijagram procjene intenziteta rizika prema matematičkom modelu

Slika 18. Položaj Požeško – slavonske županije na karti Republike Hrvatske

Slika 19. Položaj sliva rijeke Orljave na karti Republike Hrvatske

Slika 20. Geološka karta sliva rijeke Orljave

Slika 21. Shematski prikaz hidrogeološke karte sliva Orljave

Slika 22. Vodocrpilišta na području sliva Orljave

Slika 23. Prikaz zona sanitarne zaštite Orłjava – Londža

Slika 24. Karta prirodne ranjivosti u slivu Orłjave

Slika 25. Karta neklasificiranih opasnosti na slivu Orłjave

Slika 26. Karta klasificiranih opasnosti na slivu Orłjave

Slika 27. Karta rizika od onečišćenja podzemnih voda u slivu Orłjava

Slika 28. Položaj glavnih crpilišta na karti a) ranjivosti i b) rizika

POPIS TABLICA

Tablica 1. Težinski koeficijenti SINTACS metode

Tablica 2. Klase ranjivosti SINTACS metode

Tablica 3. Kategorije opasnosti od mogućeg onečišćenja i njihov način prikaza na karti

Tablica 4. Prikaz vrsta stijena i propusnosti stijena na području sliva Orljave

Tablica 5: Zastupljenost klasa ranjivosti u slivu Orljave

Tablica 6. Prikaz onečišćivača s dodijeljenim težinskim vrijednostima

Tablica 7: Zastupljenost klasa opasnosti u slivu Orljave

Tablica 8: Zastupljenost klasa rizika u slivu Orljave