



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET
Hallerova aleja 7, HR - 42000 Varaždin
Tel.: + 385 (0)42 408 900, Faks: + 385 (0)42 313 387
OIB: 16146181375 E - mail: ured.dekana@gfv.unizg.hr, www.gfv.unizg.hr

OPĆENITO O METODOLOGIJI PROCJENE RANJIVOSTI VODNIH RESURSA





1. UVOD

Često se spominje, a još češće olako shvaća da bez vode nema života. Sveprisutna u okolišu u svim sferama, agregatnim stanjima i oblicima života ujedno je i najranjivija budući da zbog svih interakcija, gotovo je nemoguće zadržati je čistom. Bilo kakva ljudska aktivnost utječe na kvalitetu vode u prirodnom okruženju, a time i na količinu vode odgovarajuće kvalitete dostupne za različite svrhe. Uz gubitak bio raznolikosti, klimatske promjene, energetske pitanje te socio-ekonomske probleme onečišćenje voda jedan je od glavnih izazova današnjice te predstavlja ozbiljan problem za ljudsko zdravlje i za okoliš.

Ranjivost vodnih resursa je globalni problem, a predstavlja i jedno od glavnih strateških pitanja održivog razvoja. Ranjivost vodnih resursa ne samo da utječe na stvarnu sposobnost zaštite vodnih resursa, već ima i važan utjecaj na druge povezane sustave. Ranjivost vodnih resursa je važna tema iz područja upravljanja i istraživanja vodnih resursa, koja svoje početke vuče iz 1970-ih godina kada je Margat (1968.) predložio koncept ranjivosti podzemnih voda. Veliki doprinos dali su i Vrba i Zaporozec (1994) koji su autori najčešće korištene definicije ranjivosti kao relativnog, nemjerljivog i bez dimenzijskog svojstva nekog prirodnog sustava. Suvremeni koncept ranjivosti vodnih resursa pretpostavlja da prirodna svojstva okoliša mogu do nekog stupnja doprinijeti zaštiti voda od antropogenih utjecaja. Nadogradnja analize ranjivosti je svakako ocjena pojave rizika, koji pak u obzir uzima socijalno-ekonomske prilike na području istraživanja, a koje mogu imati utjecaj na kvalitetu vode. Ovisno o vrsti opasnosti (hazarda) koji se promatra definira se i rizik.

Iako je u početku analiza ranjivosti korištena isključivo za ocjenu vjerojatnosti pojave onečišćenja podzemne vode (Zwahlen, 2004), s vremenom je došlo do znatnog proširenja pojma. Danas se ranjivost vodnih resursa primjenjuje i za površinske vode, a definira se kao ekonomski gubitak uzrokovan nestašicom vode za vodoopskrbu stanovništva, stupanj štetnih učinaka uzrokovanih klimatskim promjenama, pogotovo kroz omjer prihranjivanja i raspoloživosti vode te kritičnost slatke vode zbog prodora slane vode dublje u kopno, kao i

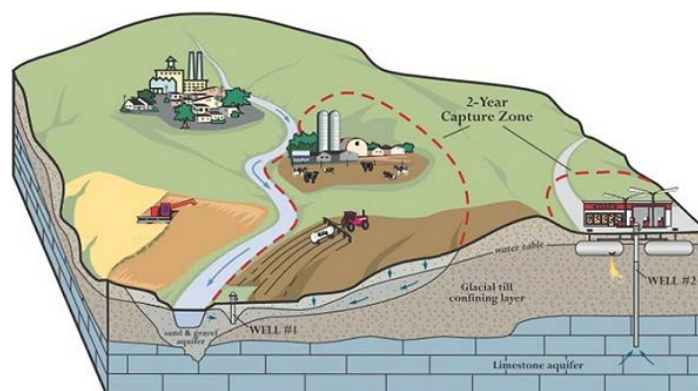


sklonost ili predispozicija koja je nepovoljna pod utjecajem različitih povijesnih, društvenih, gospodarskih, političkih, kulturnih, institucionalnih, uvjeta i procesa prirodnih resursa i okoliša (Xia et al 2014).

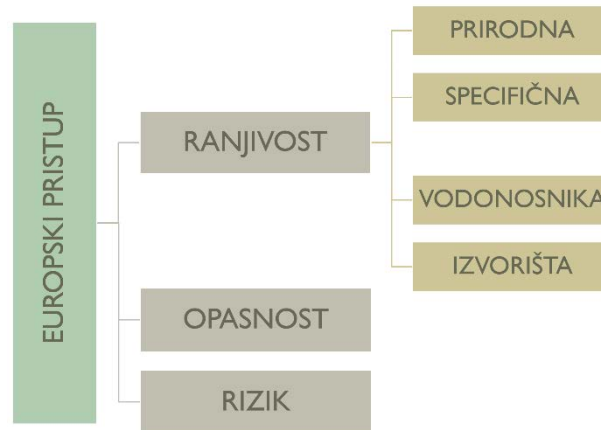
Procjena stupnja ranjivosti površinskih voda namijenjenih za opskrbu pitkom vodom postala je glavna potreba u postupcima upravljanja ovim resursom kao i kod donošenja odluka o korištenju prostora u skladu s principima zaštite vodnih resursa. Rezultati ovako provedene analize omogućuju prepoznavanje visokorizičnih područja kako bi se ona na odgovarajući način zaštitila. Specijalizirane tehnike analize koje koriste geografski informacijski sustav (GIS) i daljinska istraživanja sve su prisutnije te se koriste za kvalitativnu procjenu ove ranjivosti.

2. TEMELJNI KONCEPT

Temeljni koncept ranjivosti voda polazi od pretpostavke da fizička, kemijska i biološka svojstva okoliša mogu do nekog stupnja omogućiti zaštitu voda od negativnog djelovanja ljudske djelatnosti, bilo da se radi o podzemnim ili površinskim vodama (Slika 1). Pri tome je ranjivost prirodnog sustava relativno svojstvo, nema veličinu, mjernu jedinicu, već samo međuodnos promatranih područja definira nešto više ili manje ranjivim. Postoji više vrsta ranjivosti, prirodna ili specifična te ona koja procjenjuje sam resurs ili pojedini izvor vode (Slika 2).



Slika 1: Odnos površinskog toka i podzemnih voda



Slika 2: Odnos pojedinih koraka analize rizika od onečišćenja voda

PRIRODNA RANJIVOST

- uzima u obzir geološke, hidrološke i hidrogeološke osobine područja neovisno o vrsti štetne tvari koja je izvor opasnosti
- osnovni parametri koji se uzimaju u obzir tijekom modeliranja prirodne ranjivosti su: uvjeti infiltracija, osobine tla, vegetacija te režim oborina.

SPECIFIČNA RANJIVOST

- uz prirodnu ranjivost uzima u obzir svojstva svakog pojedine vrste onečišćivala.
- za modeliranje specifične ranjivosti osnovni parametri su:
- vrijeme putovanja onečišćenja kroz nesaturiranu zonu
- vrijeme zadržavanja u vodonosniku
- kapacitet razrjeđenja onečišćenja prilikom prolaska kroz tlo, stijenu ili vodu s obzirom na njegova svojstva.

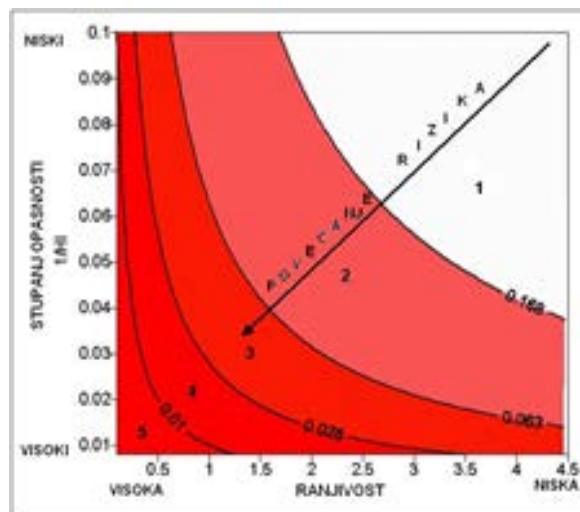
Opasnost (hazard) se definira kao mogući izvor onečišćenja od ljudskoga djelovanja. Pritom se prvenstveno misli na onečišćenje s površine ili pripovršinske zone terena. Opasnost za vodne resurse može biti: ljudska djelatnost, infrastrukturni objekti, urbanizirana područja, poljoprivredne površine, površine namijenjene turističkim, prometnim ili nekim drugim

sadržajima. Logička kombinacija ranjivosti i opasnosti daje rizik u različitim numeričkim kombinacijama (Slika 3 i 4).



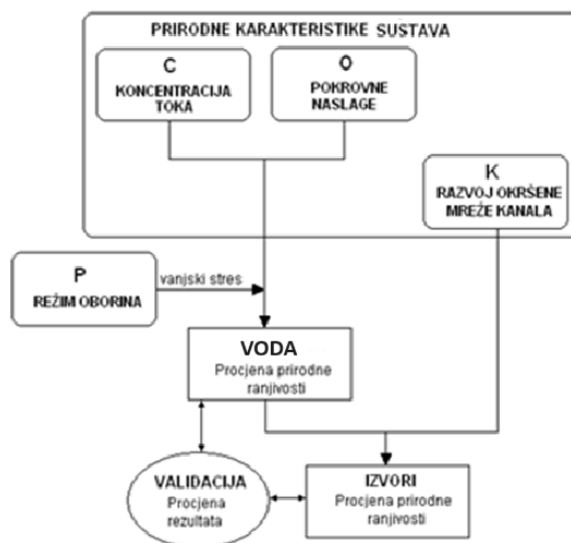
Slika 3: Kombinacija ranjivosti i opasnosti daje rizik

Tako procijenjen rizik odnosi se na mogućnost pojave neke štete na način da analizira sve moguće faktore vezane uz pojavu opasnosti, te faktore prirodnog okruženja koji pogoduju širenju ili sprječavaju širenja opasnosti.



Slika 4: Kombinacija ranjivosti i opasnosti daje rizik

Budući da je ranjivost funkcija brojnih parametara određenih temeljem litoloških i stukturnih 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 (Slika 5). Informacije o spomenutim obilježjima prikupljaju se na brojne načine, najčešće od rezultata prethodno provedenih istraživanja. Svaka informacija ovisno o uputama metode postaje parametar koji služi za ocjenu indeksa ranjivosti.



Slika 5: Pojedini faktori analize ranjivosti

Rezultat takve analize je karta ranjivosti na kojoj su različitim bojama prikazani dijelovi različitog stupnja ranjivosti istraživanog područja (Slika 6) koji su zbog svojih prirodnih obilježja bolje zaštićeni od potencijalnog onečišćenja te dijelove koji su ranjiviji. Može se koristiti za upravljanje i zaštitu zaliha podzemnih voda na nekom području te kao nezamjenjljiva podloga pri odlukama o upravljanju, korištenju i namjeni prostora.

KARTA RANJIVOSTI VODONOSNIKA		P - KARTA zaštitna funkcija pokrovnih naslaga		I - KARTA stupanj zaobilaženja pokrovnih naslaga		
OPIS	π faktor	OPIS	P faktor	OPIS	I faktor	
	ekstremna	0 - 1	vrlo niska	1	vrlo visoki	0 - 0,2
	visoka	> 1 - 2	niska	2	visoki	0,4
	umjerena	> 2 - 3	umjerena	3	umjereni	0,6
	niska	> 3 - 4	visoka	4	niski	0,8
	vrlo niska	> 4 - 5	vrlo visoka	5	vrlo niski	1

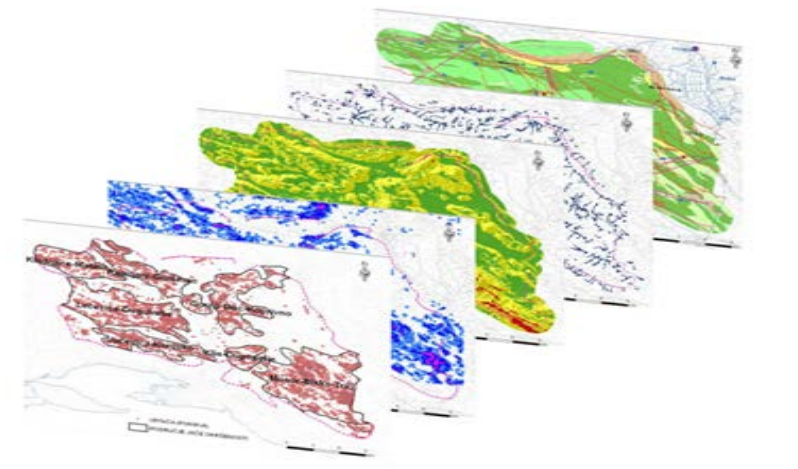
Slika 6: Primjer određivanja klase ranjivosti

Kartom rizika se na području istraživanja izdvajaju dijelovi s povećanim rizikom od onečišćenja podzemnih voda za koje je potrebno izvesti kvalitetan nadzor emisija u okoliš te ih izdvojiti kao prioriteta područja za sanacijske zahvate, kao i dijelovi s manjim rizikom od onečišćenje podzemnih voda koja su u dobrom stanju s obzirom na postojeće stanje izvora onečišćenja.

3. METODOLOGIJA

Kad se procjenjuje ranjivost koriste se podaci iz različitih izvora, prikupljaju se i obrađuju na različite načine i različite su kvalitete. Potrebno razviti sustav kontrole kvalitete ulaznih podataka → GIGO („Garbage in, garbage out!“). Upravo iz tog razloga preporučljivo je prikupljanje, spremanje, obrada i interpretacija podataka potrebnih za procjenu ranjivosti pomoću GIS tehnologije. Geografski informacijski sustav radi s prostornim podacima koje grupira u teme (tzv. Slojeve – Slika 7) a omogućuje:

- Formiranje prostorne baze podataka,
- Spremanje i organizaciju velikog broja podataka,
- Relativno jednostavan unos novih podataka i novih atributa,
- Raznovrsnu manipulaciju podacima preko velikog broja alata i funkcija
- Krajnji rezultat je kartografski prikaz, ali postoji i mogućnost izrade različitih statističkih obrada i izvješća.



Slika 7: Primjer određivanja slojeva analize

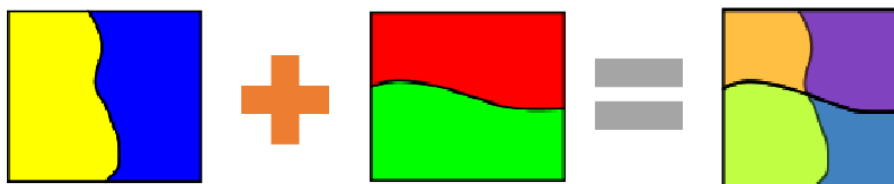
Budući da su iz različitih izvora, vrlo je važno razviti strategiju za provjeru kvalitete ulaznih podataka. Preporuča se slijediti neke od koraka:

- Porijeklo podataka – podaci su najčešće rezultati prethodno provedenih istraživanja, stoga je potrebno provjeriti autore, vrijeme provedbe, namjenu istraživanja, ulazne

podatke i slično...

- Ograničenje podataka – kvaliteta ulaznih podataka uvjetuje kvalitetu krajnjeg rezultata (npr. interpolacija malog broja podataka preko relativno velikog prostora utječe na točnost krajnje karte).
- Kvaliteta podataka – kontrolom je moguće izdvojiti greške koje mogu biti posljedica pogrešnog unosa u bazu, pogreške u mjerenjima, pogreška u modeliranju. Najčešće su greške kod digitalizacije ili interpolacije, pa tu treba posvetiti posebnu pažnju.

Karte ranjivosti, opasnosti i rizika dobivaju se prostornom analizom što podrazumijeva kombinaciju različitih podloga u GISu da bi se generirale nove informacije te izdvojila područja s preklapanjem određenih svojstava (Slika 8). Omogućene su različite algebarske i logičke operacije.



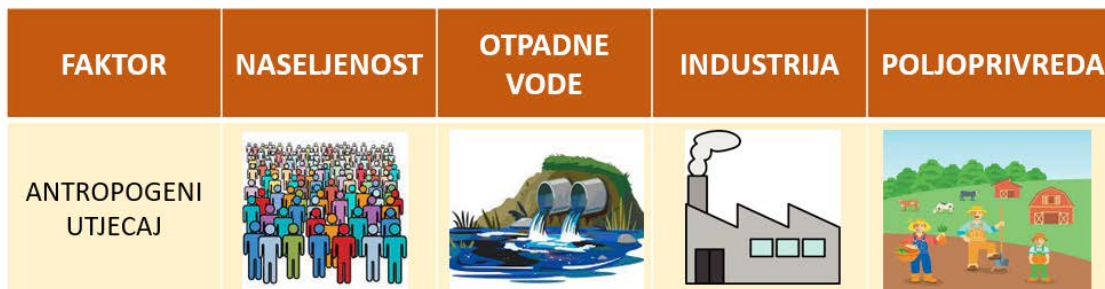
Slika 8: Način funkcioniranja prostorne analize

S gledište procjene ranjivosti vodnih resursa informacije, parametri koji se kombiniraju su (Slika 9): oborine, pokrovne naslage tla, vegetacija, uvjeti formiranja površinskog otjecanja i nagib terena.

FAKTOR	OBORINE	TLO	VEGETACIJA	NAGIB TERENA	POVRŠINSKO OTJECANJE
OKOLIŠNI UVJETI					

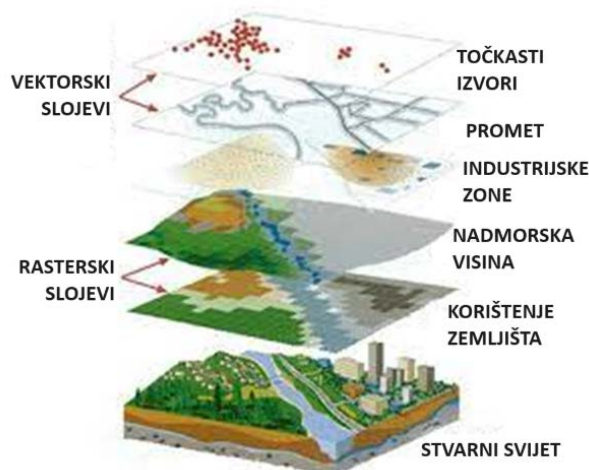
Slika 9: Parametri analize ranjivosti

U svrhu određivanja konkretnog rizika od onečišćenja ključno je u analizu uključiti i faktore antropogenog djelovanja (Slika 10), a to onda podrazumijeva i naseljenost, djelatnosti, kao i korištenje zemljišta u razne namjene.



Slika 10: Parametri analize rizika

Organizirano u slojeve to izgleda primjerice ovako (Slika 11):



Slika 11: Analiza rizika po slojevima

Područja na kojima se utvrdi visoki stupanj ranjivosti uz postojanje izvora opasnosti rezultira pojavom rizika od onečišćenja. Nakon procjene, važno je dobivenu kartu validirati, u ovom slučaju najbolji način za to je korištenjem mjerenih koncentracija prisutnih mikroonečišćivala. Dobro definirana karta rizika pokazala bi promjenu koncentracije onečišćivala proporcionalno stupnju rizika od onečišćenja voda.



4. PRIMJENA

Područja na kojima se utvrdi visoki stupanj ranjivosti područja su na koja treba usmjeriti dodatna istraživanja i dodatne mjere zaštite kako bi se svako buduće onečišćenje voda svelo na najmanju moguću mjeru. U isto vrijeme, planiranje, predlaganje i primjena sanacijskih zahvata usmjerava se na područja s povećanim rizikom od onečišćenja jer to znači da problem već postoji. Područja s niskim rizikom od onečišćenja izdvajaju dijelove terena koji su, s obzirom na postojeće izvore opasnosti, trenutno izvan opasnosti od pojave onečišćenja voda. Nikako ne govore o situaciji u budućnosti, kad bi se pojavili novi izvori opasnosti i ne mogu se koristiti za prostorna planiranja ni kod iznalaženja lokacija novih izvora opasnosti.

Povećanjem mreže izravnog motrenja stanja površinskih voda, uzorkovanjem i laboratorijskim ispitivanjima koncentracija prisutnih onečišćivala u vodi najbolje se prati stanje kvalitete voda.

5. KORIŠTENA LITERATURA

Margat, J. (1968): Vulnérabilitié des nappes d'eau souterraine à la pollution. BRGM Publication 68 SGL 198 HYD, Orléans.

Vrba J. & Zaporozec A. (eds.) (1994): Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability, International Contribution to Hydrogeology (IAH), 131 p., Hannover.

Xia, J., Chen, J., Weng, J., Yu, L., Qi, J., & Liao, Q. (2014). Vulnerability of water resources and its spatial heterogeneity in Haihe River Basin, China. Chinese geographical science, 24, 525-539.

Zhang, H., Zhou, X., Lv, X., Xu, X., Weng, Q., & Lei, K. (2023). Exploration of the factors that influence total phosphorus in surface water and an evaluation of surface water vulnerability based on an advanced algorithm and traditional index method. Journal of Environmental Management, 342, 118155.

Zwahlen, F. (2004) (ed.): Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers. European Commission, Directorate – General for Research, European research area: structural aspects – COST 620, 279 p.

