

Mogući izvori podataka za potrebe procjene prirodne ranjivosti podzemnih voda

Stančin, Valentina

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:275832>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-28**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

VALENTINA STANČIN

MOGUĆI IZVORI PODATAKA ZA POTREBE
PROCJENE PRIRODNE RANJIVOSTI
PODZEMNIH VODA

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

MOGUĆI IZVORI PODATAKA ZA POTREBE
PROCJENE PRIRODNE RANJIVOSTI
PODZEMNIH VODA

DIPLOMSKI RAD

KANDIDAT:
Valentina Stančin

MENTOR:
Doc.dr.sc. Jelena Loborec

VARAŽDIN, 2020.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom

Mogući izvori podataka za potrebe procjene prirodne ranjivosti podzemnih voda

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, 3.2.2020.

VALENTINA STANČIN

(Ime i prezime)

Stančin Valentina

(Vlastoručni potpis)

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. sc. Jeleni Loborec koju iznimno cijenim i koja mi je puno pomogla prilikom izrade ovog diplomskog rada. Hvala na uloženom vremenu i strpljenju.

Neizmjereno veliko hvala mojim roditeljima koji su bili najveća podrška tijekom cijelog studiranja i koji mi nisu dali da odustanem. Hvala na motivaciji, razumijevanju, potpori i ljubavi.

I na kraju, hvala mojim prijateljicama i svim divnim ljudima koji su bili uz mene.

Hvala Vam svima od srca!

Sažetak i ključne riječi

Valentina Stančin

Mogući izvori podataka za potrebe procjene prirodne ranjivosti podzemnih voda

Osnovna pretpostavka zbog koje se procjenjuje ranjivost podzemnih voda je da fizička, kemijska i biološka svojstva okoliša u određenoj mjeri doprinose stupnju zaštite podzemnih voda od antropogenih utjecaja. Još prije pedesetak godina Margat je uveo termin „ugroženosti“ podzemnih voda. Devedesetih godina prošlog stoljeća pokreće se COST 65 projekt koji daje pregled definicija ranjivosti i mogućnosti njihove primjene, a projekt COST 620 u prvoj polovici 21. stoljeća isključivo se bavi tom problematikom. Zbog toga znanstvenici diljem svijeta u tom periodu intenzivno razvijaju nove metode procjene ranjivosti vodonosnika. Kako bi se mogla analizirati prirodna ranjivost ključno je prikupiti odgovarajuće podatke (o geološkim i hidrogeološkim karakteristikama područja, zapisi o provedenim vodoistražnim radovima, elaborati provedenih geofizičkih istraživanja, provedena trasiranja podzemnih tokova, klimatski uvjeti, itd.) te na temelju tih podataka pripremiti podloge (topografska, geološka, hidrogeološka, pedološka i klimatska karta). Potrebno je formirati bazu podataka. O kvaliteti i količini prikupljenih podataka koji su ulazne informacije za daljnju analizu ovisi kvaliteta konačnog rezultata procjene prirodne ranjivosti podzemnih voda. Važno je naglasiti i potrebu verifikacije dobivenih rezultata kako bi u odgovarajućoj mjeri bili pouzdana podloga za donošenje odluka o zaštiti podzemne vode.

Ključne riječi: prirodna ranjivost, podzemne vode, izvori podataka, prostorne analize, verifikacija

Sadržaj

1. UVOD	1
2. RANJIVOST PODZEMNIH VODA.....	3
2.1. Metode procjene ranjivosti razvijene u svijetu	4
2.2. Projekt COST 620 – daljnji korak razvoja metoda ranjivosti	5
2.3. Europski pristup	6
2.4. Primjer provedene procjene prirodne ranjivosti.....	8
3. IZVORI PODATAKA I PRIPREMA PODLOGA ZA PROVEDBU ANALIZE RANJIVOSTI	11
3.1. Topografska podloga.....	11
3.2. Hidrogeološka karta	13
3.3. Pedološke i hidropedološke karte.....	14
3.4. Podaci o klimatskim i meteorološkim pokazateljima	16
3.5. Podaci o vegetaciji	18
3.6. Elaborati ranije provedenih hidrogeoloških istraživanja.....	18
3.7. Terenski obilazak	20
3.8. Geografski informacijski sustav (GIS) – alat za upravljanje podacima i prostorne analize	20
4. POSTUPCI VERIFIKACIJE I VALIDACIJE REZULTATA PROCJENE PRIRODNE RANJIVOSTI	23
5. RASPRAVA	25
6. ZAKLJUČAK.....	26
7. LITERATURA	27

1. UVOD

Voda je nezamjenjiv i jedinstven prirodni resurs ograničenih količina i neravnomjerne vremenske i prostorne raspodjele na Zemlji. Gotovo svi oblici života i sve ljudske aktivnosti vezane su uz vodu i zbog toga je od velike važnosti odnos koji imamo prema vodi. Hrvatska se ubraja u skupinu vodom bogatih zemalja, istraživanja UNESCO – a iz 2003. godine svrstavaju Hrvatsku na 5. mjesto u Europi po dostupnosti i bogatstvu vodenih izvora, a na 42. mjesto u svijetu. Urbanizacija i povećan gospodarski razvoj dovode do velikog porasta potreba za vodom, no s druge strane dolazi do ugrožavanja vodenog okoliša i vodenih resursa. Voda tako može postati ograničavajući čimbenik razvoja te prijetnja ljudskom zdravlju [1].

Da su podzemne vode jedan od najvažnijih prirodnih resursa postalo je evidentno tijekom posljednjih desetljeća u mnogim zemljama svijeta. Kao izvor vodoopskrbe, podzemna voda ima niz prednosti u usporedbi s površinskim vodama – u pravilu je bolje kvalitete, bolje je zaštićena od mogućih onečišćenja, uključujući infekcije, te je manje izložena sezonskim i višegodišnjim oscilacijama. Vrlo često je podzemna voda dostupna na mjestima gdje nema površinske vode. U nekim zemljama svijeta, kao na primjer u Danskoj, Malti, Saudijskoj Arabiji, podzemne vode su jedini izvor vode za vodoopskrbu, dok su u nekim drugim zemljama također najznačajniji dio ukupnih vodnih resursa, kao na primjer u Tunisu gdje podzemne vode čine 95 % ukupnih vodnih resursa zemlje, u Belgiji taj udio iznosi 83 %, u Nizozemskoj, Njemačkoj i Maroku oko 75 %. U većini europskih zemalja (Austrija, Belgija, Danska, Mađarska, Rumunjska i Švicarska) upotreba podzemnih voda prelazi 70 % ukupne potrošnje vode [2]. U Hrvatskoj je to preko 90 %.

U mnogim dijelovima svijeta podzemna voda je najpristupačniji, relativno najsigurniji i često jedini izvor pitke vode. Pravovremena procjena ranjivosti podzemnih voda sprječava njihovu kvalitativnu promjenu, propadanje ili onečišćenje. Ako se ranjivost podzemnih voda ne bilježi na vrijeme i ako strategija zaštite podzemne vode nije definirana, troškovi za sanaciju podzemnih voda kada je onečišćena, daleko prelaze troškove preventivne zaštite. Zbog toga, procjena ranjivosti podzemnih voda mora biti međusobno povezana i integrirana u glavne planove kao podrška planiranju, politici i strategiji zaštite podzemnih voda i očuvanju kvalitete vode [2].

Kako bi pravilno zaštitili podzemne vode, provodili metode i ocijenili ranjivost te na kraju donijeli najbolje odluke od iznimne je važnosti prikupiti odgovarajuće podatke. Cilj ovog rada je skrenuti pozornost na značaj prikupljenih podataka i pripremu podloga, jer nije dovoljno prikupiti bilo kakve podatke. Važno je da podaci budu što točniji, precizniji te da najbolje odražavaju stanje na terenu. Izvori podataka, koji će detaljnije biti opisani u radu mogu biti različiti. Podatke možemo dobiti proučavanjem već postojeće dokumentacije o provedenim radovima odnosno istraživanjima te proučavanjem zakona i pravilnika. Podaci o sastavu i svojstvima stijena, tla, podaci o klimi, vegetaciji, oborinama su također važni jer se uzimaju u obzir prilikom analiza i kod provođenja metoda za ocjenu ranjivosti. Kako bi se provodile prostorne analize potrebno je proučiti podloge (topografska podloga) i karte (geološka i hidrogeološka karta, hidropedološka karta itd.). Ukoliko su određeni podaci nedostupni, a karte imaju određene nedostatke potrebno je obilaziti teren. Podatke također možemo prikupiti na internetu, internetskim stranicama državnih, županijskih ili općinskih ustanova. Što su kvalitetniji podaci i podloge pravilno pripremljene, rezultati analiza će biti točniji i vjerodostojniji te će uvelike olakšati odluke vezane uz zaštitu voda.

2. RANJIVOST PODZEMNIH VODA

Kako bi ocijenili u kojoj mjeri je neki hidrogeološki sustav ranjiv, a u kojoj već ugrožen nužno je provesti ispitivanja osnovnih hidrogeoloških odnosa nekog područja, prirodnih fizičkih svojstava te geokemijskih, hidrogeokemijskih i biogeokemijskih svojstava dijelova hidrogeološke sredine. Suvremeni koncept ranjivosti podzemnih voda pretpostavlja da fizička, kemijska i biološka svojstva okoliša mogu doprinijeti stupnju zaštite podzemnih voda od antropogenih utjecaja [3].

Termin „ugroženost podzemnih voda“ je prvi uveo Margat 1968. godine. Međutim, izraz „ranjivost“ se ne odnosi isključivo na podzemne vode, već se koristi u širem smislu kako bi se opisala osjetljivost nekog medija na antropogene utjecaje. Devedesetih godina prošlog stoljeća pokrenut je europski projekt COST 65 (1995) koji se bavio hidrogeološkim aspektima zaštite podzemnih voda u krškim područjima (eng. „*Hydrogeological aspects of groundwater protection in karstic areas*“), u kojem je naglašena potreba za složenim geološkim, hidrogeološkim, hidrološkim, geofizičkim, hidrogeokemijskim i drugim istraživanjima svih dijelova krškog vodonosnog sustava. U njemu se, između ostalog, spominju definicije koje na bilo koji način opisuju ranjivost kao svojstvo vodonosnog sustava, daje pregled postojećih regulativa i mjera u zaštiti podzemnih voda u kršu, kao i preporuke te predlažu procjenu ranjivosti vodonosnog sustava kao jednu od spomenutih mjera, a kao posljedica toga došlo je do razvoja brojnih metoda za procjenu ranjivosti [3].

Tako Vrba i Zaporozec još godine 1994. iznose najčešće korištenu i vrlo često citiranu definiciju ranjivosti prema kojoj ranjivost predstavlja relativno, nemjerljivo i bez dimenzijsko svojstvo nekog prirodnog sustava. Oni također predlažu opću podjelu ranjivosti na prirodnu i specifičnu, pri čemu:

- prirodna ranjivost podzemne vode uzima u obzir geološke, hidrološke i hidrogeološke karakteristike vodonosnika, ali ne ovisi o vrsti onečišćivača ni o načinu kretanja onečišćenja, dok
- specifična ranjivost uzima u obzir svojstva onečišćivača ili grupe onečišćivača i njihovo međudjelovanje s hidrogeološkim sustavom [4].

2.1. Metode procjene ranjivosti razvijene u svijetu

Metoda procjene ranjivosti, opasnosti i rizika zasnivaju se na vrednovanju više različitih parametara i zbog toga su poznate kao multiparametarske metode. Najčešće one spadaju u skupinu indeksnih metoda preklapanja (eng. „*overlay and indeks methods*“). Ranjivost tada predstavlja funkciju 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 brojne načine, najčešće od rezultata prethodno provedenih istraživanja i svaka informacija ovisno o uputama metode postaje parametar [3].

Na temelju rezultata projekta COST 65 došlo je do nagle primjene principa procjene ranjivosti u svrhu zaštite podzemnih voda svugdje u svijetu, najviše u Europi. Tako da danas u svijetu postoje i razvijene su brojne metode kojima se procjenjuje ranjivost vodonosne sredine u različitim uvjetima. Neke od njih spomenute su u nastavku:

EPIC je razvijen ranih devedesetih godina na Sveučilištu Neuchatelu u Švicarskoj. Temelji se na proučavanju epikrške zone, pokrovnih zaštitnih naslaga, sustava infiltracije i razvitka krških formi. Razlikuje 4 stupnja ranjivosti temeljenih na analizi 4 parametara.

IRSKA METODA je razvijena u GSI, a uključuje procjenu hidrogeoloških vrijednosti pokrovnih zaštitnih naslaga.

DRASTIC je razvijen u USGS. Dobar je za ocjenu regionalne ugroženosti. To je metoda koja se zasniva na 7 parametara: dubini do podzemne vode (D), tlu (S), području prihranjivanja (R), karakteristikama vodonosnika (A), topografiji (T), utjecaju nesaturirane zone (I) i hidrauličkoj vodljivosti vodonosnika (C).

NJEMAČKA METODA je razvijena u GLA i BGR u Njemačkoj. Usmjerena je na procjenu zaštitne funkcije naslaga povrh razine podzemne vode. Metoda ne tretira saturiranu zonu vodonosnika.

GOD metoda je razvijena u Velikoj Britaniji. Tri osnovna parametara koja uzima u obzir su: tip vodonosnika, litološke karakteristike vodonosnika i dubina do podzemne vode.

AVI metoda - koristi dvije varijable za definiranje indeksa ranjivosti, a to su debljina svakog sedimenta iznad saturirane zone vodonosnika i procijenjena hidraulička vodljivost svakog od tih sedimenata. Metoda je razvijena u Kanadi.

ISIS metoda je razvijena u Italiji. Koristi 8 parametara: tip tla, debljina tla, srednje godišnje prihranjivanje, litologiju nesaturirane zone, tip i debljinu vodonosnika. Tri su razine vezane uz korištenje prostora: normalni uvjeti, jako onečišćena poljoprivredna površina i jako drenažno područje.

SINTACS je metoda koja je također razvijena u Italiji, a vrlo je slična DRASTIC-u. Koristi iste parametre, ali ima četiri težinska sustava koji ovise o hidrogeološkoj građi vodonosnika.

REKS METODA predstavlja jedan oblik koji je proizašao iz EPIC metode s modifikacijama određenih parametara. Četiri parametra koja koristi su stijena, epikrš, okršavanje i pokrovne naslage. Metoda je razvijena u Slovačkoj.

AUSTRIJSKA METODA je razvijena u Austriji i koristi 3 osnovna parametra: ulaz, infiltracije i istjecanje [5].

2.2. Projekt COST 620 – daljnji korak razvoja metoda ranjivosti

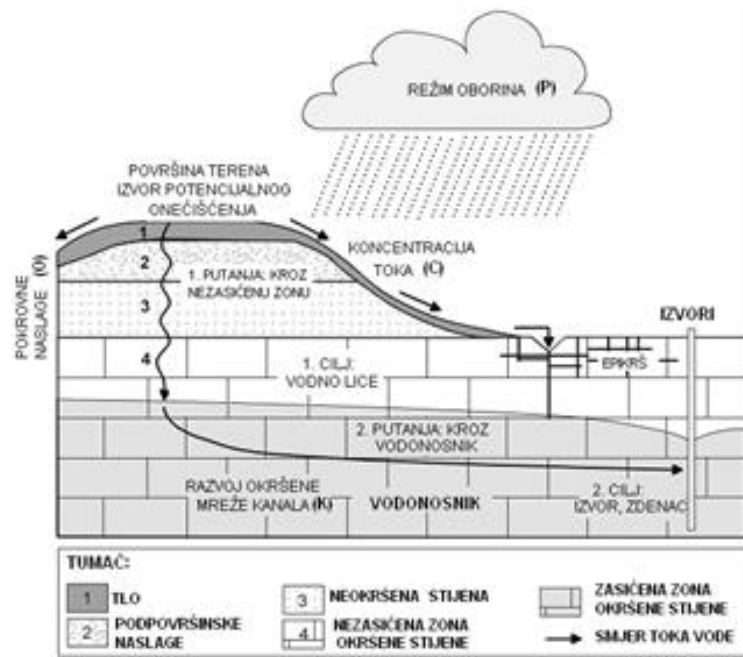
Upravo zbog razvoja različitih metoda ranjivosti i sve veće popularnosti koje su te metode počele dobivati u svrhu zaštite podzemnih voda počela se prepoznavati problematika neujednačenosti rezultata. Naime, iako su sve metode bile slične, promatrale su slične parametre i imale slične sustave bodovanja, znalo se dogoditi da primjena nekoliko različitih metoda na istom području rezultira na kraju vrlo različite karte ranjivosti, za koje se ne zna koja je točna i pouzdana. Ta problematika je dovela do projekta COST 620 pod nazivom Kartiranje ranjivosti i rizika u svrhu zaštite karbonatnih vodonosnika (eng. „*Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers*“). Osnovni cilj tog projekta bio je predložiti objektivnu metodologiju i okvirne smjernice za ujednačen pristup u procjeni ranjivosti i rizika od

onečišćenja podzemnih voda. Delegacije 16 europskih zemalja radile su od 1997. do 2004. godine kako bi dostigle taj cilj. Projekt se temeljio na zahtjevima Europske Okvirne direktive o vodama [5].

Okvirna direktiva o vodama imala je osnovni cilj uspostaviti okvir za djelovanje zemalja članica Europske unije u području vodne politike. Direktiva zahtijeva održivu uporabu vode temeljenu na dugoročnoj zaštiti vodnih resursa. Procjena ranjivosti podzemne vode neizravno je uključena u direktivu i to na način da se zahtijeva karakterizacija svih tijela podzemne vode radi procjene njihove uporabe i stupnja rizika te nadalje da se zahtijeva da se podzemna vodna tijela koja se identificiraju kao „ugrožena“ procjenjuju preciznije [6].

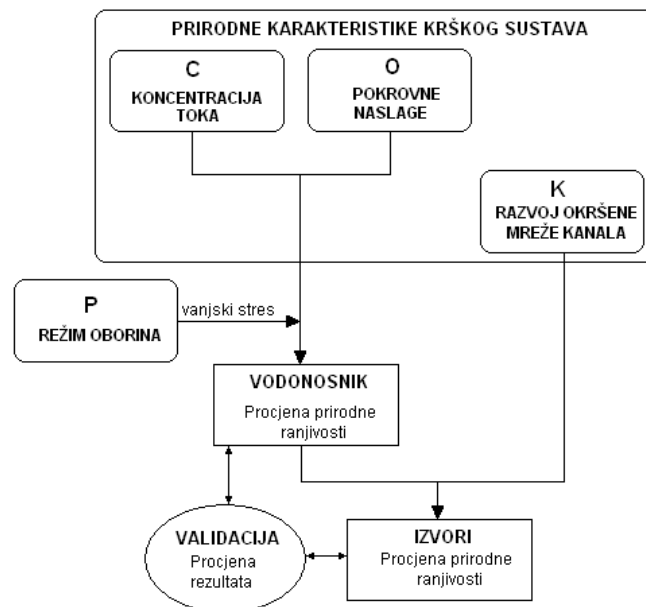
2.3. Europski pristup

Kao krajnji rezultat projekta COST 620 uspostavljen je takozvani „Europski pristup“ u procjeni ranjivosti podzemnih voda. Osnovica Europskog pristupa je konceptualni model koji se temelji na takozvanom „porijeklo – put – cilj“ modelu koji je prikazan na slici 1, a kojim se nastojalo ujediniti sve najvažnije segmente pri opisivanju ranjivosti [5]. U tom modelu porijeklo u stvari pretpostavlja mjesto ispuštanja onečišćenja, za potrebe kartiranja ranjivosti to najčešće predstavlja površinu terena ili plitku pripovršinsku zonu. To se dakle može odnositi na izdvajanje opasnosti poput ispaše stoke, pojavu pesticida ili gnojiva, industrijske površine, no međutim, i na neke opasnosti smještene ispod površine kao npr. curenje u kanalizacijskom sustavu. Tok predstavlja smjer tečenja potencijalnog onečišćivača od točke njegovog ispuštanja (izvor) kroz sustav prema točki koja mora biti zaštićena (cilj). Cilj može biti proučavan na dva načina, u prvom slučaju je to vodno lice i tada se procjenjuje ranjivost čitavog vodonosnika ili pak može biti konkretan izvor ili zdenac i tada se ranjivost odnosi na vodni resurs koji treba štititi [5].



Slika 1. Model „porijeklo – put – cilj“ [iz: 7]

Po Europskom pristupu ranjivost se procjenjuje određivanjem vrijednosti četiri glavna faktora. Krovinske naslage (O faktor), koncentracija toka (C faktor), režim oborina (P faktor) te stupnjem okršenosti (K faktor) ostvaruje se ovaj konceptualni model ranjivosti (slika 2).



Slika 2. Shema izrade karata ranjivosti kombinacijom O, C, P i K parametara [5]

O faktor predstavlja zaštitnu funkciju pokrovnih slojeva zbog njihove mogućnosti razrjeđenja i zadržavanja potencijalnog onečišćenja. Može se sastojati od četiri sloja pokrovnih naslaga: tla (sastoji se od vode, zraka, minerala, organske tvari, a nastalo je trošenjem stijena na površini), podpovršinskih naslaga (nalaze se ispod tla, a nisu konsolidirane), nekrške stijene (važan je tip stijene) i nesaturirane okršene stijene (epikrška zona). Vrijednost faktora O ovisi o debljini i značajkama pokrovnih slojeva.

C faktor predstavlja stupanj do kojeg se oborine koncentriraju prema mjestima infiltracije u krško podzemlje. Na vrijednost C faktora utječu parametri (značajke površinskih slojeva, nagib terena, vegetacija i mjesta koncentrirane infiltracije kao što su ponori, vrtače, jame) koji kontroliraju površinsko tečenje.

P faktor uzima u obzir ukupne godišnje oborine, učestalost oborina te trajanje i intenzitet ekstremnih događaja. P faktor može imati utjecaj na tip i količinu infiltracije ili formiranje površinskog otjecanja. Kao vanjski čimbenik utječe na sve ostale parametre.

K faktor predstavlja stupanj okršenosti vodononika i razvoj mreže okršenih kanala. Vrijednost faktora se temelji na geološkom opisu podloge, rezultatima trasiranja podzemnih tokova, geofizičkim istraživanjima te rezultatima probnih crpljenja. K faktor se koristi kod procjene ranjivosti izvorišta [5].

2.4. Primjer provedene procjene prirodne ranjivosti

Procjena prirodne ranjivosti, u ovom slučaju pomoću SINTACS metode, može se vrlo korisno primijeniti kod procjene učinkovitosti zaštite podzemnih voda u slivu nekog izvora koji služi za vodopskrbu stanovništva. U radu koji je ovdje prikazan radi se o izvoru Gradole koji je najveći zahvaćeni krški izvor u Istri te je nezamjenjiv izvor pitke vode za stanovništvo tog područja. Upravo zbog toga je vrlo važno štititi sliv tog izvora na odgovarajući način kako bi se rizik od onečišćenja podzemne vode na tom području sveo na najmanju moguću mjeru. Sliv se nalazi unutar sliva Istarskog poluotoka i dio je sliva rijeke Mirne (slika 3).

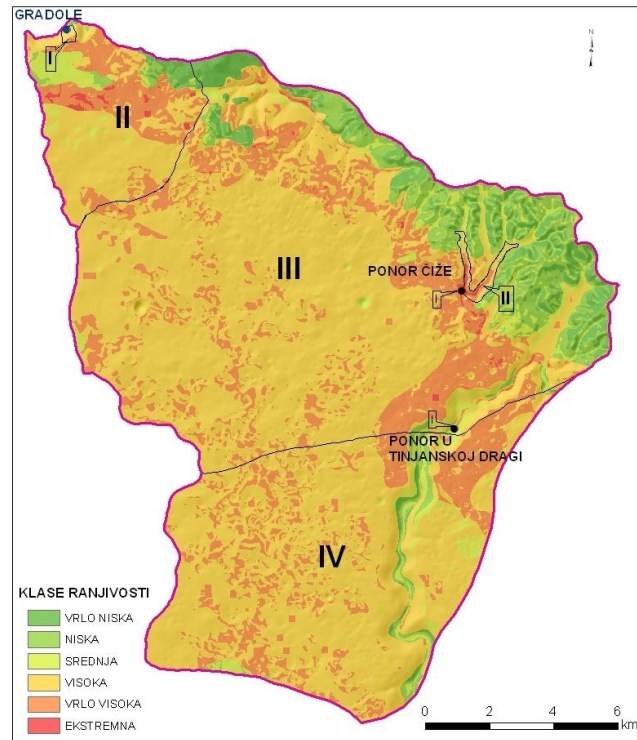


Slika 3. Položaj sliva izvora Gradole [8]

Zbog toga što se taj izvor nalazi u krškom području javlja se problem kod određivanja razvodnica koje bi jasno razgraničile njegovo priljevno područje. Kako bi se utvrdile okolnosti u kojima je podzemna voda na slivu izvora Gradole izvedeno je više različitih geoloških, hidrogeoloških, geofizičkih i vodoistražnih radova te trasiranja podzemnih tokova, a kako bi se procijenila prirodna ranjivost tog područja bilo je važno prikupiti sve podatke o provedenim istraživanjima i pripremiti potrebne podloge (topografska podloga, osnovna geološka karta, hidrogeološka karta, hidropedološka karta i karta oborina) koje će poslužiti kod određivanja parametara u SINTACS metodi. Nakon pripremljenih podataka i podloga započeto je definiranje sedam parametara SINTACS metode.

Nakon provedene analize, na dobivenoj karti SINTACS metode (slika 4) vidljivo je da se većina sliva nalazi u visokoj i vrlo visokoj razini ranjivosti. Došlo se do zaključka da je to zbog toga što sliv leži na dobro do srednje dobro propusnim stijenama koje nemaju prirodnu zaštitu kod infiltracije u podzemlje. Sjeveroistočni dio sliva je u vrlo niskoj i niskoj razini ranjivosti zbog nepropusnog fliša. Prema SINTACS metodi kao ekstremno ranjena su ocijenjena dva ponora: Čiže i Tinjanska draga. Područje oko izvora Gradole i sam izvor Gradole su ocijenjeni kao srednje do visoko ranjivi. Dijelovi bez pokrova tla u kombinaciji s dobro propusnim vapnencima su općenito problematični dijelovi na području čitavog sliva. SINTACS metoda procjene ranjivosti se pokazala pouzdanom

jer dobiveni rezultati dobro ukazuju na stvarno stanje. Procjena ranjivosti SINTACS metodom se u velikoj mjeri podudara sa zaštitnim zonama u slivu izvora Gradole [8].



Slika 4. Karta prirodne ranjivosti vodonosnika prema standardnoj SINTACS metodi

3. IZVORI PODATAKA I PRIPREMA PODLOGA ZA PROVEDBU ANALIZE RANJIVOSTI

Kako bi se procijenila ranjivost podzemnih voda potrebno je prikupiti što više različitih podataka i pripremiti odgovarajuće podloge. Što su kvalitetniji podaci koji se koriste za procjenu ranjivosti to će biti bolji konačni rezultati procjene, a rezultirajuće karte ranjivosti moći će poslužiti za donošenje odluka o zaštiti podzemnih voda s većom pouzdanošću.

Izvori podataka za procjenu ranjivosti mogu biti različiti: elaborati provedenih hidrogeoloških istraživanja, podaci o vodoistražnim radovima, o provedenim trasiranjima podzemnih tokova ili površinskim i podzemnim geofizičkim istraživanjima, pedološki podaci, podaci o klimi i klimatskim promjenama, podaci o oborinama ili vegetaciji, kao i sve dostupne pripadajuće podloge koje se koriste: topografska podloga, geološka, hidrogeološka, pedološka karta itd. Ulazni podaci formiraju bazu podataka i služe za provođenje daljnje prostorne analize.

3.1. Topografska podloga

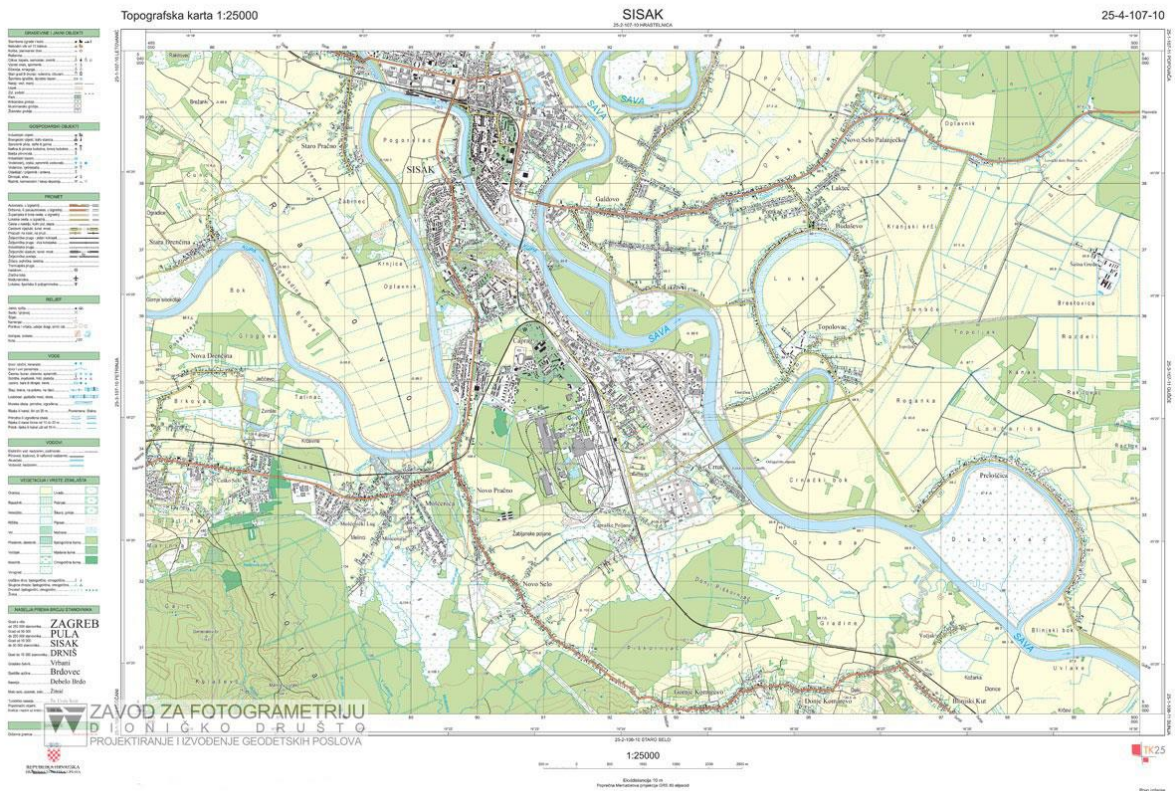
Topografska karta (slika 5) je detaljna, vjerna i potpuna karta krupnog mjerila na kojoj je prikazan dio Zemljine površine s izgledom terena i svega što se na njemu nalazi, a izrađena na temelju neposrednog snimanja terena. Značajna prednost topografske karte je minimalna deformacija, jer zakrivljenost Zemlje na tako maloj površini ne dolazi do izražaja. To omogućava mjerenje udaljenosti i površina ne samo duž ekvidistantnih pravaca već u svim smjerovima [9].

Topografska karta sadrži velik broj informacija o mjesnim prilikama prikazanog područja koje se odnose na prometnice, naselja, vode, granice teritorijalnih područja, oblik reljefa itd. To su karte na kojima su svi topografski ili opće geografski objekti prikazani s jednakom važnošću. Možemo ih podijeliti na:

- detaljne topografske karte (DTK) u mjerilima od 1:25 000 do 1:250 000, i
- pregledne topografske karte (PTK) u mjerilu 1:300 000 i sitnijem [10].

Topografske karte nam također služe kao podloga u:

- prostornom planiranju (izrada prostornih planova gradova i općina)
- projektiranju prometnica, kanala, pri izradi idejnih rješenja i studija
- izradi namjenskih karata (geoloških, hidroloških, pedoloških)
- meteorologiji za crtanje klimatskih karata, analizu klimatskih uvjeta
- vodoprivredi za proračun slivnih područja
- šumarstvu za izradu preglednih karata [11].



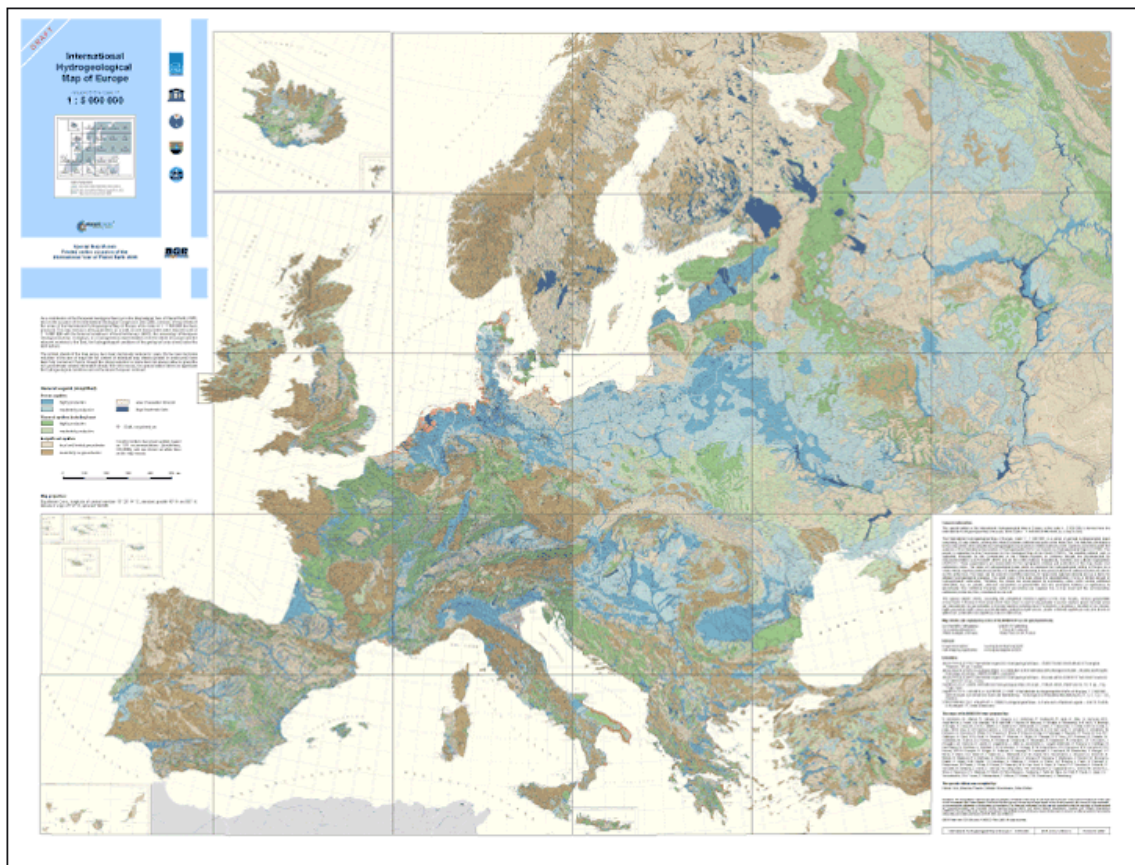
Slika 5. Topografska karta mjerila 1:25 000 [10]

Topografske karte koje se koriste u analizi ranjivosti najčešće su podloga za digitalizaciju kota, vodotoka, izvora, bunara, vrulja i estavela, vrtača, spilja i slično [12]. Tako izdigitalizirani podaci služe za daljnje prostorne analize kao na primjer za izradu digitalnog modela reljefa (DMR), karte nagiba terena, karte gustoća pojedinih objekata, određivanja smjera prioriternih površinskih tokova i slično.

3.2. Hidrogeološka karta

Prvi korak analize ranjivosti je poznavanje hidrogeoloških odnosa u slivu. Hidrogeološka karta istraživanog područja koja sadrži podatke o smjerovima i prividnim brzinama tečenja podzemne vode se smatra osnovnom podlogom za procjenu ranjivosti [7].

Hidrogeološka karta je karta koja prikazuje osnovne hidrogeološke značajke prikazanog područja (slika 6). Boje pojedinih hidrogeoloških jedinica predstavljaju osnovne hidrogeološke značajke stijenskih masa i naslaga prema starosti, sastavu i propusnosti te prikazuje slivove, vodne objekte (izvore, zdence, vrulje, estavele) i speleološke objekte (spilje, jame, ponore) [12].



Slika 6. Međunarodna hidrogeološka karta Europe mjerila 1:5 000 000 [13]

Općenito govoreći hidrogeološka karta predstavlja grafički prikaz prostornog rasporeda vodonosnika (područja koja mogu akumulirati određene količine vode) i akvkluda (područja koja ne propuštaju vodu i predstavljaju hidrogeološke barijere). Osnova za izradu hidrogeološke karte je opća geološka karta.

Hidrogeološka karta treba sadržavati:

- na osnovu geoloških podataka podjelu na krške i nekrške terene
- izdvajanje i grupiranje stijena prema litostratigrafskim jedinicama (stupanj poroznosti i propusnosti)
- prikaz prostornog položaja i međusobnih odnosa stijena (rasjedi, položaj sloja)
- ocjenu hidrogeoloških funkcija terena u odnosu na podzemna i površinska otjecanja
- dinamiku vode (označeni svi površinski i podzemni tokovi, smjerovi otjecanja, ponornice)
- podatke o vodonosnicima (tip, položaj, veličina)
- kemijska, mineralna i termalna svojstva voda
- pojave voda (izvori, vrulje, estavele, ponori), te
- izgrađene vodne objekte (kopani i bušeni bunari, arteški bunari, bušotine) [14].

3.3. Pedološke i hidropedološke karte

Pedologija (od grčkog pedon = tlo, zemlja) je znanost o tlu njegovom sastavu i oblicima. Ona se bavi genezom, morfologijom, klasifikacijom i distribucijom tla. Za razliku od toga, hidropedologija je relativno novo, interdisciplinarno polje istraživanja koje se fokusira na interaktivni odnos tla i vode. Fizička svojstva tla, poput hidrauličke vodljivosti i poroznosti imaju važan utjecaj na pojavu i brzinu hidroloških procesa. Zauzvrat, hidrološki procesi igraju važnu ulogu u formiranju morfoloških svojstava tla kao što su boja, pjege, makropore.

Točno kartiranje i interpretacija morfoloških svojstava tla može se koristiti za konceptualizaciju i karakterizaciju hidroloških procesa, uključujući putove protoka vode, mehanizme skladištenja i povezanost između različitih protočnih tokova. Jedan od glavnih doprinosa hidropedologije je sposobnost konceptualizacije hidroloških procesa

prostorno, ne samo jednodimenzionalnih mehanizama već cjelovitijeg razumijevanja hidrološkog funkcioniranja pejzaža.

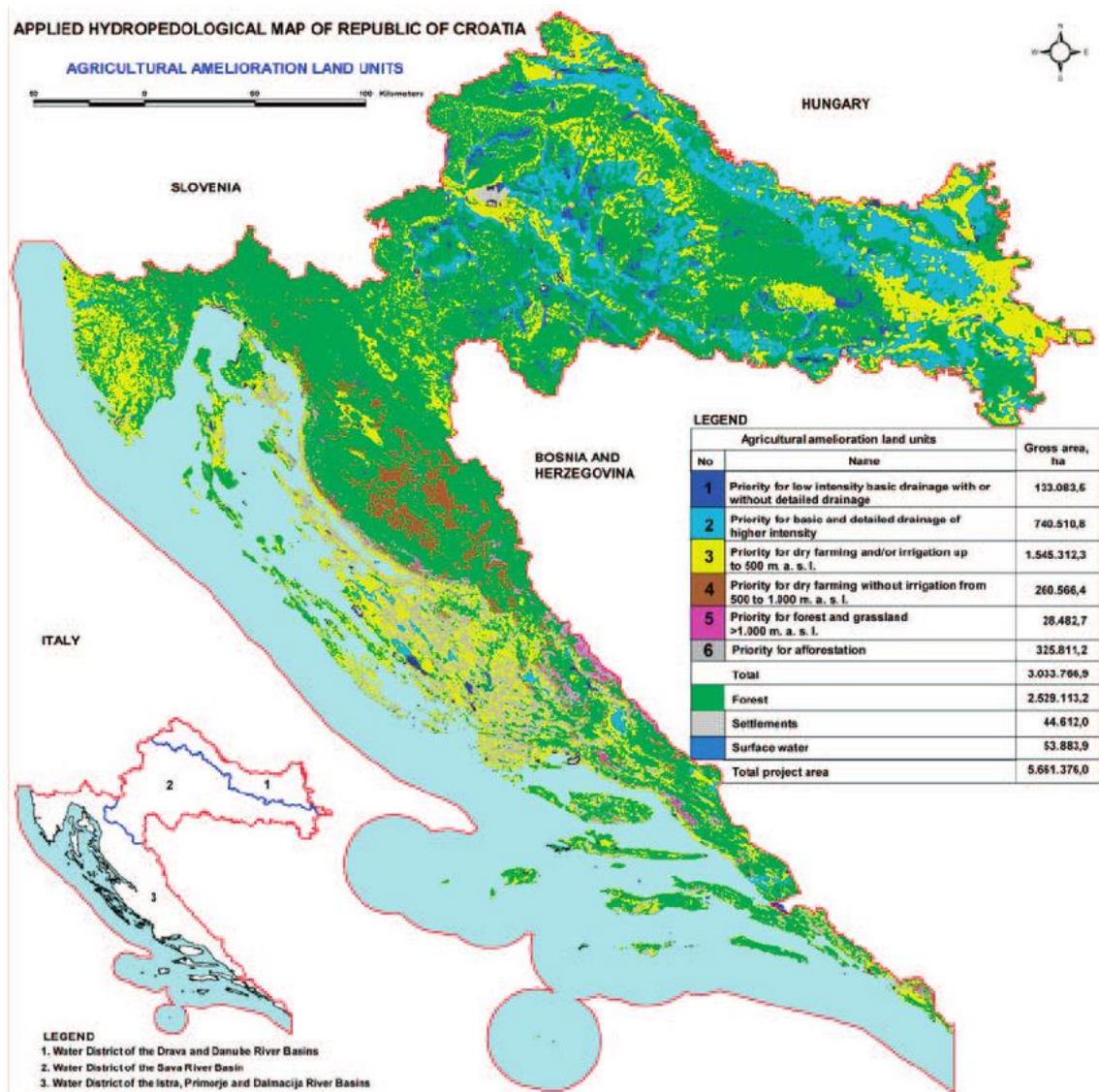
Hidropedološke informacije koriste se u upravljanju krajobraznim vodenim resursima, a uključuju:

- konfiguraciju i parametrizaciju raspodijeljenih hidroloških modela
- učinkovito razgraničenje močvarnih staništa, zaštitu i obnovu
- razumijevanje i kontrolu zagađenja u podzemlju
- utvrđivanje utjecaja promjene korištenja zemljišta (npr. kopanje otvorenih jama) o vodnim resursima
- karakteriziranje interakcija podzemnih i površinskih voda [15].

Hidropedološka karta (slika 7) je tematska karta područja na kojoj su prikazane hidropedološke jedinice.

Karta daje informacije o pedološkim oblicima tla i kategorijama vode u tlu, razinama podzemne vode, koeficijentu otjecanja oborinske vode te o bilanci oborinske vode u tlu. Tekstura tla i prostorna raspodjela dubine tla su osnovne karakteristike na temelju kojih su razvrstane jedinice tla [12]. Za potrebe procjene ranjivosti podaci o karakteristikama tla vrlo su važni za procjenu parametra O – faktora koji određuje zaštitnu ulogu pokrovnih naslaga, jer tlo pripada u najvažnija prirodna zaštitna obilježja nekog vodonosnog sustava.

Također je važno napomenuti da je pomoću hidropedološke karte moguće izdvojiti i dio potpuno golih stijena, tj. područja bez ikakvog sloja tla te se na taj način može utvrditi dio sliva bez tla i vegetacije. Jedini problem dostupnih hidropedoloških podataka koji mogu poslužiti u analizi ranjivosti je da se najčešće radi o kartama sitnog mjerila i dosta regionaliziranim prikazima pa ih je potrebno prilagoditi području istraživanja kako ne bi značajno utjecali na smanjenje kvalitete rezultatnih prikaza.



Slika 7. Primijenjena hidropedološka karta Republike Hrvatske [16]

3.4. Podaci o klimatskim i meteorološkim pokazateljima

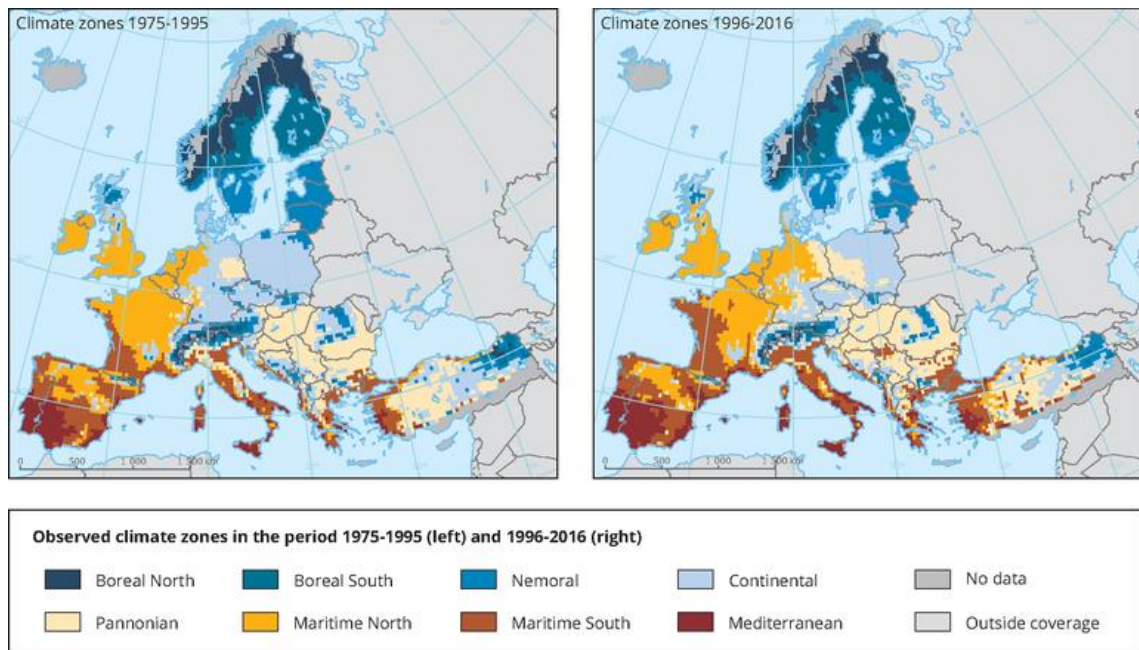
Jedna od najvažnijih sastavnica životnog okoliša na Zemlji je klima. Prirodni čimbenici koji utječu na klimu su Sunčevo, Zemljino i atmosfersko zračenje, sustav atmosfere, oceanske i zračne struje, živa bića pa i djelovanje čovjeka [17].

Temperatura zraka, oborine, vlažnost zraka, vjetar, isparavanje, sijanje sunca su osnovni meteorološki pokazatelji koji definiraju klimu. Ovi pokazatelji predstavljaju ulazne podatke za definiranje klimatskih pokazatelja (suše, poplave, dizanje razine mora, migracije životinja). Kao najvažniji pokazatelji, najčešće će se analizirati temperature

zraka i oborine jer bitno utječu na ostale hidrometeorološke, hidrološke i hidrogeološke pokazatelje [18].

Svjetska meteorološka organizacija (WMO) provodi različite programe s ostalim međunarodnim organizacijama – Povjerenstvo za klimatologiju (CCI), Služba za klimatske informacije i predviđanje klime (CLIPS), Svjetski klimatski istraživački program (WCRP), Svjetski klimatski program (WCP), te razvija metode i dostignuća u proučavanju mehanizma klime i klimatskih promjena. Prema preporuci Svjetske meteorološke organizacije obaveza svake zemlje je izrada klimatskog atlasa koji se izrađuje za 30-godišnja klimatska razdoblja. Upravo taj dokument najčešći je izvor podataka koji se uzimaju u analizi ranjivosti, a pomoću kojega se definiraju uvjeti i stanje efektivne infiltracije i prihranjivanja vodonosnika [17].

Sustav za praćenje klimatskih promjena integrira satelitska promatranja, zemaljske podatke i model prognoze za praćenje i predviđanje promjena vremena i klime. Tijekom vremena stvara se povijesni zapis mjerenja koji pruža podatke za statističku analizu i identifikaciju srednjih vrijednosti, trendova i varijacija. Što su bolje informacije na raspolaganju, to se klimatska razina može bolje razumjeti i preciznije odrediti budući uvjeti na lokalnoj, regionalnoj, nacionalnoj i globalnoj razini. To je postalo posebno važno u kontekstu klimatskih promjena, kako se klimatska varijabilnost povećava tako se povijesni obrasci mijenjaju. Sustavno promatranje klimatskog sustava najčešće provode nacionalni meteorološki centri i druga specijalizirana tijela. Oni vrše mjerenja i promatranja u standardnim i unaprijed zadanim vremenima i mjestima, nadzirući atmosferu, oceanske i zemaljske sustave [19]. Primjer promatranih klimatskih zona na području Europe prikazan je na slici 8.



Slika 8. Promatrane klimatske zone u razdoblju 1975-1995. (Lijevo) i 1996.-2016. (Desno) [20].

3.5. Podaci o vegetaciji

Za pripremu tematskih slojeva s podacima o vegetaciji najčešće se koriste podaci "on-line" baze podataka s mrežne stranice Agencije za zaštitu okoliša "Corine Land Cover". Uz navedeno, moguće je koristiti i različite karte pokrova zemljišta koji su sastavni dijelovi Županijskih prostornih planova, a u kojima se nalaze vrlo korisni podaci o naseljenim područjima, industrijskim zonama, prometnoj infrastrukturi i korištenju zemljišta za različite grane poljoprivrede. Također, za dobivanje podataka o vegetaciji i vrsti pokrova vrlo korisno mogu poslužiti i različite satelitske snimke odgovarajuće rezolucije kao i druge vrste zapisa koji se dobivaju kao rezultat različitih vrsta daljinskih istraživanja (multispektralne kamere i slično).

3.6. Elaborati ranije provedenih hidrogeoloških istraživanja

Hidrogeološka istraživanja možemo podijeliti na površinska (izrada geološke, hidrogeološke karte, hidrološka analiza, geofizička istraživanja) i podzemna istraživanja

(probna crpljenja, istražno bušenje, trasiranje podzemnih voda, hidrogeokemijske metode).

Hidrogeološka istraživanja počinju s radom na površini terena jer je tako moguće predvidjeti kretanja i mjesta podzemne vode te dobiti informacije o kvaliteti vode. Prvi korak pri izvođenju površinskih istraživanja je geološka karta iz koje se reinterpetacijom dobiva hidrogeološka karta. Kada su poznate veličine elemenata hidrološkog ciklusa i kada ima dosta mjerenih podataka radi se hidrološka analiza. Nakon hidrološke analize radi se strukturno tektonska analiza te površinska geofizička istraživanja. Prvi korak podzemnih hidrogeoloških istraživanja je istražno bušenje. Nakon izrade bušotine slijede podzemna geofizička istraživanja i karotaže. Ukoliko se dođe do podzemne vode radi se pokusno crpljenje kojim se mogu dobiti detaljni podaci o vodonosniku. Određuje se hidraulička vodljivost, transmisivnost, uzimaju se uzorci za definiranje kvalitete vode te se provode hidrogeokemijska istraživanja [21].

Kako bi se mogle propisati odgovarajuće mjere za zaštitu podzemnih voda i prije početka izrađivanja elaborata potrebno je prikupiti odgovarajuće podatke i provesti vodoistražne radove.

Vodoistražni radovi su najznačajniji dio u zaštiti podzemnih voda te se njima određuju zaštitni prostori, dimenzije sliva, dinamičko funkcioniranje krških vodonosnika. Vodoistražni radovi koji se provode su: određivanje geoloških i hidrogeoloških značajki priljevnog područja, veličina, granica i izdašnost vodonosnika, način napajanja vodonosnika, način dotoka vode u jezero ili akumulaciju, brzina toka podzemne vode, kakvoća vode itd [22].

Elaborat provedenih istraživanja bi trebao sadržavati (primjer nacрта elaborata zona sanitarne zaštite): uvod, tehnički opis vodozahvata, geološke i hidrogeološke značajke priljevnog područja zahvaćenog izvorišta iz vodonosnika podzemne vode, hidrološke značajke za izvorišta sa zahvatom površinske vode, utvrđene granice vodonosnika, prijedlog granica zona sanitarne zaštite, prikaz kakvoće vode, katastar onečišćivača s grafičkim prikazom lokacija, prijedlog mjera zaštite izvorišta (pasivnih i aktivnih), uključujući ograničenja i zabrane koje se odnose na ljudske aktivnosti koje mogu štetno utjecati na stanje voda koje se zahvaćaju iz izvorišta, načelni prijedlog sanacijskih zahvata na postojećim objektima unutar zona sanitarne zaštite izvorišta, prema potrebi i

prioritetima i prijedlog mjesta za postavljanje oznaka odgovarajućih zona sanitarne zaštite [23]. Mnoštvo podataka koji su sadržani u elaboratima provedenih istraživanja mogu poslužiti kao ulazni podaci za procjenu ranjivosti vodonosnika. Elaborati se najčešće nalaze u arhivima jedinica lokalne samouprave, državnim agencijama ili javnim institucijama, zatim tvrtkama koje su investitori i traže izradu određenog elaborata ili pak u institutima i tvrtkama koji su ovlašteni obavljati određenu vrstu radova za koji se izdaje elaborat. Određeni podaci dostupni su javno, neki objavljeni na internetu, a neki su dostupni na zahtjev uz obrazloženje o svrsi korištenja traženih podataka.

3.7. Terenski obilazak

Kako bi što je moguće bolje procijenili analizu ranjivosti podzemnih voda koristimo različite vrste podloga i različite karte. Karte nam daju sliku o litološkim karakteristikama stijena, o geološkoj građi te osnovne hidrogeološke podatke. Zbog mogućih nedostataka sakupljenih ulaznih podataka, posebno kod onih starijeg datuma ili na primjer kod karata generalnog prikaza i sitnog mjerila od velike je važnosti terensko rekognosciranje ili obilazak terena. Obilaskom terena možemo uočiti detalje koji na podlogama ili kartama nije moguće uočiti ili je s vremenom došlo do promjene nekadašnjeg i trenutnog stanja. Obilaskom terena prikupljeni podaci verificiraju se u vremenskoj i prostornoj komponenti, što je od velike važnosti jer su oni osnova daljnjeg istraživanja i provedbe postupka procjene ranjivosti podzemnih voda. Što se više detaljnih podataka prikupi, točnije će se moći procijeniti potencijalne ili stvarne utjecaje na podzemnu vodu.

3.8. Geografski informacijski sustav (GIS) – alat za upravljanje podacima i prostorne analize

Geografski informacijski sustav (GIS) je sustav hardvera, softvera i procedura koje omogućuju obradu, upravljanje, analize, modeliranje i prikaz georeferenciranih podataka sa svrhom rješavanja kompleksnih problema planiranja i gospodarenja prostorom. GIS je postao jedan od najvažnijih alata koji pomaže u boljem

razumijevanju i donošenju odluka s problemima vezanim za upravljanje vodama. Osnovni koncept GIS-a je sakupljanje i organizacija podataka. U procjeni podzemnih voda postoje različiti tipovi i velike količine podataka koje se analiziraju, i u tome GIS kao alat ima veliku primjenu. Kod upravljanja i istraživanja vodnih resursa primjena GIS-a vezana je uz definiranje granica slivova, izradu vodoopskrbnih planova, upravljanje sustavima odvodnje otpadnih voda, praćenje stupnja pročišćavanja otpadnih voda, određivanje raspoložive količine podzemnih voda, zaštitu aluvijalnih vodonosnika, procjenu ranjivosti i rizika od onečišćenja podzemnih voda i mnoge druge aktivnosti [24].

Geografski informacijski sustav radi s prostornim podacima koje grupira u teme (tzv. slojeve) 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.

Vrlo je važno razviti strategiju za provjeru kvalitete ulaznih podataka. Preporuča se posebno paziti na porijeklo podataka i ograničenje podataka jer kvaliteta ulaznih podataka uvjetuje kvalitetu krajnjeg rezultata (npr. interpolacija malog broja podataka preko relativno velikog prostora utječe na točnost krajnje karte). Kvaliteta podataka osigurava se sustavom kontrole kojom 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.

U postupku ocjene ranjivosti vodonosnika od GIS tehnologije prvenstveno se koriste alati vezani za upravljanje podacima (Data Management Tools), zatim alati za vektorske analize (Analysis Tools) te alati za rasterske prostorne analize (Spatial Analyst Tools). Kombinacija spomenutih alata omogućuje upravljanje prostornim podacima i njihovim atributima, izradu kartografskih prikaza, ali i provođenje različitih prostornih analiza i modeliranja. Danas su ovakve analize, bez obzira koja se metoda primjenjuje, gotovo

nezamislive bez primjene GIS alata. Na taj se način znatno povećava efikasnost ali i točnost provedenih obrada podataka. Prednosti se očituju u pripremi i čuvanju prostorno referenciranih informacija u bazama podataka, provođenju prostornih analiza, stvaranju podloga za druge aplikacije i konačno za prikaz rezultata provedenih istraživanja.

4. POSTUPCI VERIFIKACIJE I VALIDACIJE REZULTATA PROCJENE PRIRODNE RANJIVOSTI

Poznato je da su znanstvenici diljem svijeta razvijali metode procjene ranjivosti podzemnih voda. Problem kod primjene različitih metoda za procjenu ranjivosti na istom području su relativno velike razlike u konačnim rezultatima (kartama ranjivosti). Te razlike su najčešće posljedica nedostatka dostupnih podataka kao i subjektivnost u procjenama. Vrlo važan dio procjene ranjivosti vodonosnika je analiza rezultata i ocjena njihove pouzdanosti temeljem stvarnih pokazatelja stanja, tj. prepoznata je potreba za uspostavljanjem standardnog pristupa ocjene rezultata dobivenih karata ranjivosti. Zbog toga se sve više pažnje posvećuje tome da se utvrdi način kojim bi se objektivno moglo procijeniti koja od primijenjenih metoda je najprikladnija za istraživano područje, odnosno čiji rezultati odgovaraju realnom stanju najbolje. Taj postupak se naziva validacija rezultata procjene prirodne ranjivosti i verifikacija odabranog modela.

Do danas nije utvrđena jednoobrazna metoda validacija i verifikacija analiza ranjivosti vodonosnika, već se u tu svrhu koriste različite kombinacije dostupnih metoda. Jedna od njih je reklasifikacija karata ranjivosti dobivenih različitim metodama na jednu jedinstvenu podjelu preko percentilne distribucije, čime bi se omogućilo standardiziranje postupka procjene ranjivosti bez mijenjanja ulaznih parametara. Na taj način rezultati imaju minimalna odstupanja, čime se olakšava odabir najpogodnije metode za neko područje. Osim toga, česti su i slučajevi korištenja rezultata terenskih istraživanja, najčešće trasiranje umjetnim traserima, ali i analiza hidrodinamičnih odnosa u slivu i analize prirodnih trasera, u svrhu procjene vjerodostojnosti rezultata procjene ranjivosti [25]. U tu svrhu predlažu se i različite numeričke metode (analiza osjetljivosti i statističke obrade) kao i različite kombinacije spomenutih [26].

U jednom primjeru prikazani rezultati procjene ranjivosti uspoređuju se i validiraju pomoću postupka primjene višekriterijske analize metodom PROMETHEE. Metode koje su se koristile za procjenu ranjivosti na ovom području se SINTACS, EPIK, PI i COP. Usporedbom rezultata procjene prirodne ranjivosti utvrđene su sličnosti i razlike. Potom se pristupilo metodologiji višekriterijske analize uz primjenu PROMETHEE metode. Višekriterijska analiza kao matematički alat omogućuje usporedbu različitih alternativa prema različitim kriterijima i usmjerava prema ispravnom donošenju odluke.

Višekriterijska analiza se provodi višekriterijskim metodama, a one omogućavaju postavljanje različitih opcija i definiranja odnosa s različitim kriterijima. Višekriterijska analiza je pogodna kod problema donošenja odluka kod obrade velike količine složenih informacija. Metoda PROMETHEE, odnosno, višekriterijske metode mogu otkloniti stupanj subjektivnosti procjene, ali to ovisi o kvaliteti i broju ulaznih podataka i načinu na koji se oni obrađuju u višekriterijskoj metodi. Prikazana i provedena sustavna analiza problema, odnosno postupak odabira optimalne metode procjene ranjivosti pokazali su se opravdanim te predstavljaju inovativan i inženjerski primjenjiv pristup kojim se olakšava validacija procjene ranjivosti podzemnih voda [27].

5. RASPRAVA

Podzemne vode su svakim danom sve više ugrožene zbog onečišćenja nastalih različitim antropogenim utjecajima. Sve se više uočava koliko je zapravo važna procjena ranjivosti i koliko je važno pravovremeno zaštititi podzemne vode i spriječiti dodatno negativno djelovanje i narušavanje kvalitete tog resursa neophodnog za ljudski život. Jedan od važnijih izazova u zaštiti je da kako javni, tako i privatni sektor uvide potrebu za zaštitom voda i da zaštitu uključe u svoje planove. U svijetu je taj problem već odavno prepoznat, zbog čega su i razvijene metode za ocjenu prirodne ranjivosti. Proučavanjem mnoštva do sada razvijenih metoda kao i samih koncepata na kojima su temeljene, uočava se potreba za prilagodbom metodologije i vrlo pažljivim odabirom najprihvatljivijeg modela jer nisu sve metode primjenjive na sva područja. Kada se na jednom promatranom području primjenjuju dvije ili više metode dobiju se dosta različiti rezultati stoga je najveća odgovornost na istražitelju da analizu dobro prilagodi postojećim podacima i smanji subjektivnost. No, kako bi se dobila rezultatna karta ranjivosti najvažnije je dobro pripremiti ulazne podatke. GIS tehnologija koja se sve više koristi u različitim djelatnostima omogućava i aktivnosti vezane za zaštitu okoliša, u ovom slučaju voda. Ulazni podaci imaju ključnu ulogu u kvaliteti jer o njima ovisi kvaliteta konačnih rezultata. Poznata je krilatica „garbage in – garbage out“ što znači da iz loših podataka ni savršenom analizom ne možemo dobiti dobar rezultat. Stoga je potrebno s velikom pažnjom formirati bazu podataka u kojoj su sadržani svi dostupni podaci prethodno provedenih istraživanja te dobro prilagoditi dostupne podloge. Potrebno je proučiti postojeće dokumente o provedenim istraživanjima, elaborate, studije i završna izvješća pohranjena u različitim arhivima, potrebno je proučiti važeću zakonsku regulativu te zakone. Također, važno je saznati sve o geološkoj i hidrogeološkoj građi područja na kojem se obavlja procjena ranjivosti, saznati sve o pedološkim, hidropedološkim karakteristikama te prikupiti podatke o oborinama, klimi, vegetaciji i tlu. Također je važno, ukoliko postoji sumnja da podaci nisu dovoljno kvalitetni, da su prestari ili da je došlo do određene promjene u zatečenoj fazi i stvarnom stanju, da se obiđe teren i utvrde sve potrebne promjene i potvrde. S lošim rezultatima konačni rezultati neće biti zadovoljavajući, a budući da se rezultati kartiranja prirodne ranjivosti koriste kao alat kod donošenja odluka vezanih uz namjenu zemljišta i zaštitu podzemnih voda kao i zaštitu izvorišta jako je važno da su rezultati pouzdani i odluke temeljene na odgovarajućem stanju.

6. ZAKLJUČAK

Potreba za pitkom vodom je svakim danom sve veća. Povećana urbanizacija, povećan gospodarski razvoj, velike količine otpadnih voda i otpada, promet i industrija te neadekvatna briga za vodu dovode do negativnih posljedica. Posebno je važno staviti naglasak na zaštitu podzemnih voda jer su nam one jedan od najvažnijih resursa i izvor vodoopskrbe. 1968. godine Margat uvodi termin ugroženosti podzemnih voda. Dvadesetak godina kasnije pokrenut je i prvi europski projekt COST 65 te nakon njega i projekt COST 620, oba vrlo važna u povijesnom razvoju i povećanju važnosti metoda procjene prirodne i specifične ranjivosti vodonosnih sustava.

Procjena ranjivosti podzemnih voda pokazala se kao dobar alat za upravljanje i zaštitu podzemnih voda na nekom području te može poslužiti kao podloga pri odlukama o korištenju, namjeni i upravljanju zemljišta. Kako bi se ranjivost što bolje procijenila od velike je važnosti prikupiti što više podataka i pripremiti odgovarajuće podloge. Izvori podataka mogu biti različiti: podaci o provedenim ranijim istraživanjima, elaborati, podaci o vremenu i klimi, podloge (topografska podloga, geološka karta, hidrogeološka karta itd.). Što su kvalitetniji podaci, kvalitetnija će biti i analiza ranjivosti.

Do problema dolazi kod primjene različitih metoda procjene ranjivosti na istom području, jer često dolazi do razlika u konačnim rezultatima. Validacija rezultata procjene ranjivosti predstavlja novi pristup kojim se nastoji utvrditi koja od primijenjenih metoda je najprikladnija za područje koje se istražuje.

Kako bi se vode u najvećoj mogućoj mjeri zaštitile od antropogenih utjecaja, važno je pravovremeno reagirati i zbog toga se smatra da bi ranjivosti podzemnih voda trebala biti integrirana u najvažnije planove, planiranja, politiku ali i strategiju zaštite podzemnih voda. Najvažniji cilj je očuvati što bolju kvalitetu vode.

7. LITERATURA

1. Hrvatske vode. *Strategija upravljanja vodama*. Dostupno na: https://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/strategija_upravljanja_vodama.pdf. Datum pristupa: 18.11.2019.
2. UNESCO, *Groundwater resources of the world and their use*. Dostupno na: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000134433>. Datum pristupa: 18.11.2019.
3. Loborec J. (2016./2017.): Materijali za kolegij Analiza rizika podzemnih voda. Varaždin, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet.
4. Vrba J. & Zaporozec A. (eds.) (1994): *Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability*, International Contribution to Hydrogeology (IAH), 131 p., Hannover.
5. COST action 620 (2004): Final report. In: Zwahlen, F. (ed): *Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers*. European Commission, Directorate-General for Research
6. Okvirna direktiva o vodama Europske unije (2000/60/EZ)
7. Loborec J. *Procjena rizika od onečišćenja podzemnih voda u kršu na području sliva izvora Jadra i Žrnovnice*. Doktorski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet. 2013.
8. Mlinarić M., Loborec J. i Biondić (2016): *Procjena postojeće zaštite podzemnih voda upotrebom SINTACS metode - primjer izvora Gradole (Hrvatska)*. INŽENJERSTVO OKOLIŠA, Vol.3 / No.1.
9. Geografija. hr, *Kartografska generalizacija kod izrade topografskih karata 1:25000*. Dostupno na: <http://www.geografija.hr teme/karte-i-gis/kartografska-generalizacija-kod-izrade-topografskih-karata-125000/>. Datum pristupa: 20.11.2019.
10. Zavod za fotogrametriju, *Topografske karte*, Dostupno na: <http://zzf.hr/index.php/usluge/topografske-karte> Datum pristupa: 20.11.2019.
11. *Topografske karte*. Dostupno na: http://www.geoskola.hr/~gsurina/10_1topografske%20karte.pdf. Datum pristupa: 22.11.2019.
12. Horvat A., *Procjena ranjivosti podzemnih voda na širem području grada Zadra*. Diplomski rad. Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, 2017.

13. *Hidrogeološka karta Europe*, dostupno na: https://www.whymap.org/EN/Themen/Wasser/Projekte/laufend/Beratung/Ihme1500/ihme1500_mosaikkarte5mio_en.html;jsessionid=F1D485EA46F9AD4F1AD567E7571BC842.2_cid292?nn=1548270. Datum pristupa: 11.12.2019.
14. Primijenjena geologija 3, *Hidrogeologija*, dostupno na: https://www.pmf.unizg.hr/_download/repository/Primijenjena_geol.3-HIDROGEOLOGIJA.ppt. Datum pristupa: 15.12.2019.
15. J. J. Van Tol, P. Le Roux, S. Lorentz, *The science of hydropedology - Linking soil morphology with hydrological processes*. 2017.
16. *Applied hydropedological map of Republic of Croatia*, dostupno na: https://www.researchgate.net/figure/Applied-Hydropedological-Map-of-the-Republic-of-Croatia-agricultural-amelioration-land_fig2_242287026. Datum pristupa: 17.12.2019.
17. Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec Tadić, M., Vučetić, M., Milković, J., Bajić, A., Cindrić, K., Cvitan, L., Katušin, Z., Kaučić, D., Likso, T., Lončar, E., Lončar, Ž., Mihajlović, D., Pandžić, K., Patarčić, M., Srnec, L., Vučetić, V. (2008): *Klimatski atlas Hrvatske, 1961. - 1990. : 1971. - 2000*. Monografija, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb
18. Marget M. *Aktualni trendovi klimatskih i meteoroloških pokazatelja na području grada Varaždina*. Završni rad. Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, 2017.
19. *Climate technology center & network*, dostupno na: <https://www.ctc-n.org/technologies/climate-change-monitoring>. Datum pristupa: 18.12.2019.
20. European Environment Agency. *Observed climate zones in the period 1975-1995 and 1996-2016*. Dostupno na: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/observed-climate-zones-in-the>. Datum pristupa: 30.12.2019.
21. Ojdanić K. *Metode hidrogeoloških istraživanja u zaštiti podzemnih voda*. Završni rad. Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, 2019.
22. Negovec L. (2016): *Uloga GIS-a u pripremi zaštite podzemnih voda u krškim vodonosnicima*. Diplomski rad. Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet.
23. Zakona o vodama (NN 153/09). *Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta*, dostupno na: <http://www.propisi.hr/print.php?id=3947>. Datum pristupa: 9.01.2020.

24. Biondić, R. (2013): *Uvod u GIS (Geografski informacijski sustav)*, skripta iz kolegija GIS, Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
25. Goldscheider, N., Hötzl, H., Fries, W. & Jordan, P. (2001): *Validation of a vulnerability map (EPIK) with tracer tests*. 7th Conference on Limestone Hydrology and Fissured Media. Besançon, Francia, 167-170.
26. Napolitano, P. & Fabbri, A.G. (1996): *Single parameter sensitivity analysis for aquifer vulnerability assessment using DRASTIC and SINTACS*. *HydroGIS 96: Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management* (Proceedings of the Vienna Conference, April 1996). IAHS Publ. no. 235, 559 – 566.
27. Loborec J., Đurin B. *Primjena višekriterijske analize u svrhu odabira optimalne metode procjene prirodne ranjivosti krških vodonosnika*. Pregledni članak. 2016.

POPIS SLIKA

Slika 1. Model „porijeklo – put – cilj“

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

Slika 3. Položaj sliva izvora Gradole

Slika 4. Karta prirodne ranjivosti vodonosnika prema standardnoj SINTACS metodi

Slika 5. Topografska karta mjerila 1:25 000

Slika 6. Međunarodna hidrogeološka karta Europe mjerila 1:5 000 000

Slika 7. Primijenjena hidropedološka karta Republike Hrvatske

Slika 8. Promatrane klimatske zone u razdoblju 1975-1995. i 1996.-2016.