Mogućnosti GIS-a kao alata za prikaz zona sanitarne zaštite

Novak, Vlatka

Master's thesis / Diplomski rad

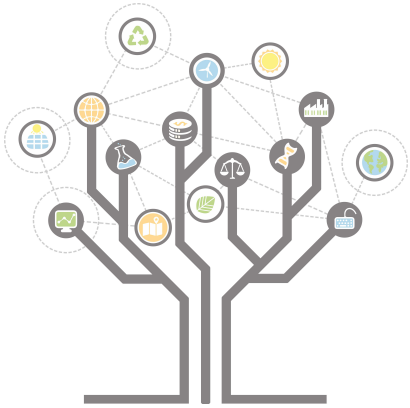
2019

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:058917

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

VLATKA NOVAK

MOGUĆNOSTI GIS-a KAO ALATA ZA PRIKAZ ZONA SANITARNE ZAŠTITE

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

MOGUĆNOSTI GIS-a KAO ALATA ZA PRIKAZ ZONA SANITARNE ZAŠTITE

KANDIDAT:
Vlatka Novak

MENTOR:
Izv.prof.dr.sc. Hrvoje Meaški

VARAŽDIN, 2019.

Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnica: VLATKA NOVAK

Matični broj: 208 - 2017./2018.

Smjer: UPRAVLJANJE OKOLIŠEM

NASLOV DIPLOMSKOG RADA:

MOGUĆNOSTI GIS-a KAO ALATA ZA PRIKAZ ZONA SANITARNE ZAŠTITE

Rad treba sadržati: 1. Uvod
2. Zaštita vodonosnika i izvorišta
3. GIS kao alat u zaštiti izvorišta i vodonosnika
4. Primjena GIS-a u zaštiti izvorišta
5. Zaključak
6. Literatura

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

Zadatak zadan: 13.05.2019.

Rok predaje: 05.09.2019.

Mentor:
Izv.prof.dr.sc. Hrvoje Meaški

Predsjednik Odbora za nastavu:
Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

REPUBLIKA HRVATSKA - GEOTEHNIČKI FAKULTET - SVEUČILIŠTE U ZAGREBU - VARAŽDIN

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom
Mogućnosti GIS-a kao alata za prikaz zona sanitarne zaštite
rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom izv.prof.dr.sc Hrvoja Meaškog.

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, 09.09.2019.

VLATKA NOVAK

Vlatka Novak

(Vlastoručni potpis)

Sažetak

Autor: Vlatka Novak

Naslov rada: Mogućnosti GIS-a kao alata za prikaz zona sanitarne zaštite

Voda je osnovni resurs za ljudski život i treba je osigurati za sadašnje i buduće generacije. U posljednje vrijeme raste svijest ljudi o važnosti očuvanja pitke vode pa se sve veća pažnja pridodaje zaštiti izvorišta koja se koriste za javnu vodoopskrbu. Nužno je očuvanje prirodne kakvoće podzemne vode i izvorišta. U te svrhe, kao i određivanja zona sanitarne zaštite, sve se više koristi Geografski informacijski sustav (GIS). Pomoću GIS alata prikupljaju se i organiziraju podaci, rade prostorne analize, preklapaju podloge i izrađuju prostorna modeliranja. Pomoću GIS-a, prostorne povezanosti i preklapanja mogu se objasniti i vizualizirati te kartografski prikazati. Također, GIS je našao opsežnu primjenu za procjene podzemnih voda zbog velike količine različitih podataka. Korištenje modela simulacije i upravljanja daje bolji uvid u stvarni svijet, stoga GIS postaje primarna tehnologija za koordinaciju upravljanja podacima i pružanje temelja za razvoj modela podzemnih voda i zaštitu izvorišta.

Ključne riječi: *GIS, zaštita izvorišta, zona sanitarne zaštite*

SADRŽAJ

1 UVOD....1
2 ZAŠTITA VODONOSNIKA I IZVORIŠTA....2
2.1 VRSTE VODONOSNIKA....2
2.1.1 Primjeri vodonosnika u svijetu....4
2.1.2 Primjeri vodonosnika u Republici Hrvatskoj....6
2.2 PRETPOSTAVKE ZA UČINKOVITU ZAŠTITU PODZEMNIH VODA....7
2.2.1 Karakterizacija resursa podzemne vode....7
2.2.2 Zaštita izvorišta i vodnih resursa....8
2.2.3 Prostorno planiranje....9
2.3 ZAŠTITA IZVORIŠTA U REPUBLICI HRVATSKOJ....10
2.3.1 Klasifikacija izvorišta i utvrđivanje zona izvorišta....10
2.3.2 Rezervacija prostora....10
3 GIS KAO ALAT U ZAŠTITI IZVORIŠTA I VODONOSNIKA....12
3.1 OSNOVNO O GIS-u....12
3.2 PRIMJENA GIS-a KOD PRIKAZA ZONA SANITARNE ZAŠTITE....13
3.2.1 GIS kao alat za prikaz zaštitnih zona....15
3.2.2 GIS kao alat za modeliranje ranjivosti u svrhu zaštite podzemnih voda....17
3.2.3 GIS kao alat za implementaciju matematičkog modela toka podzemne vode21
4 PRIMJENA GIS-a U ZAŠTITI IZVORIŠTA....25
4.1 POTREBNA STRUKTURA GIS-a....25
4.2 PRIMJENA GIS-a U OKVIRNOJ DIREKTIVI O VODAMA....27
4.3 INSPIRE DIREKTIVA I SDI....28
4.4 PLANIRANJE GIS PROJEKTA....32
4.5 PRIMJERI PRIMJENE GIS-a....33
4.5.1 Primjer UK....33

4.5.2 Primjer New Jersey 34
4.5.3 Primjer Armenija 35
5 ZAKLJUČAK 39
6 LITERATURA 40
POPIS SLIKA 44

1 UVOD

Republika Hrvatska jedna je od rijetkih zemalja koja ima značajne rezerve čiste, pitke vode. U Hrvatskoj značajno vodno bogatstvo predstavljaju podzemne voda, koje su ujedno najviše korištene za javnu vodoopskrbu. Podzemne vode i izvorišta značajan su resurs za našu zemlju stoga je važno očuvati ih.

U ovom radu opisane su vrste vodonosnika te navedeni primjeri vodonosnika u Republici Hrvatskoj i svijetu. Također opisane su metode učinkovitije zaštite vodnih resursa i izvorišta. Za kvalitetno praćenje stanja i upravljanje vodnim područjima uveliko olakšava upotreba Geografskog informacijskog sustava (GIS). U današnje vrijeme GIS je sve češće korišten alat pri donošenju odluka važnih za zaštitu voda i vodnog okoliša.

Također, spomenuta je primjena GIS-a u zaštiti vodnih resursa Europske Unije i Republike Hrvatske. Na razini EU osnovana je Okvirna direktiva o vodama koja spaja u cjelinu okolišne ciljeve, sve vodne resurse, upotrebu vode, analize i dr. Kako bi se sve informacije i podaci objedinili u projekt neophodno je napredno korištenje GIS tehnologije. GIS je alat pomoću kojeg se razvijaju metode ocjenjivanja stanja voda i upravljanje vodama na lokalnoj i nacionalnoj razini. Spomenuta je i INSPIRE direktiva kojom se uspostavlja infrastruktura za prostorne informacije u Europi za potporu politikama Zajednice za zaštitu okoliša te politike ili aktivnosti koje mogu utjecati na okoliš.

2 ZAŠTITA VODONOSNIKA I IZVORIŠTA

2.1 VRSTE VODONOSNIKA

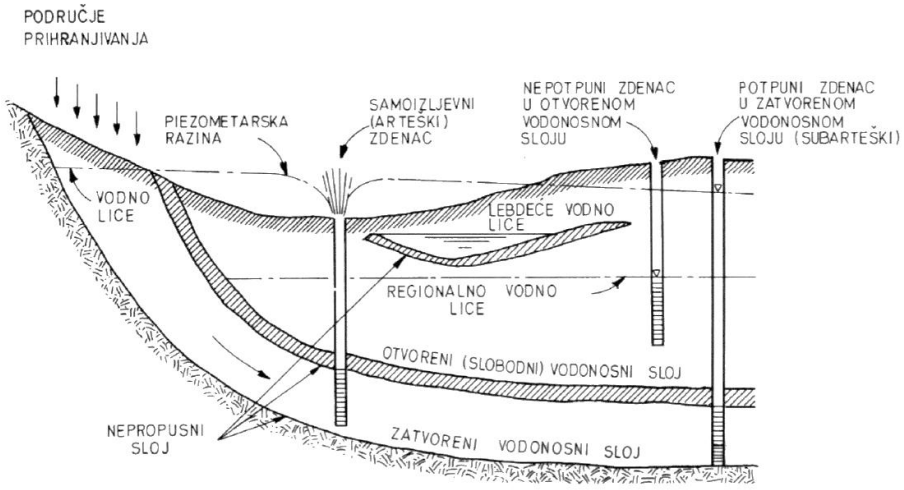
Vodonosnik je porozni medij koji vodu prima, propušta, a u nekim vodonosnicima vodu i otpušta, odnosno daje. Vodonosnici mogu biti sačinjeni od propusnih stijena ili nekonsolidiranog pijeska i šljunka koji se nalaze na nepropusnoj podlozi. Nekonsolidirani materijali, a naročito glina, mogu svoj volumen povećati, odnosno smanjiti, ovisno o tome da li se podzemna voda dodaje ili oduzima (Pollak, 1995). U svijetu su prisutna uglavnom tri tipa vodonosnika: intergranularni (međuzrnski), pukotinski te pukotinsko-kavernozni (krški).

Intergranularni (međuzrnski) vodonosnici su vodonosnici u nevezanim stijenama, odnosno u pijescima, šljuncima (aluvijalnim sedimentima) i drugim sedimentnim naslagama u kojima se može akumulirati znatna količina vode (Bačani, 2006). Međuzrnski vodonosnici vezani su za recentni hidrološki ciklus, odnosno prihranjivanje se u najvećoj mjeri odvija putem oborina koje se nakon infiltracije u podzemlje procjeđuju kroz nesaturiranu sve do saturirane zone vodonosnika.

Tijekom infiltracije u podzemlje voda se kreće prema dubljim dijelovima vodonosnika, a s obzirom na sile koje to kretanje uzrokuju razlikujemo:

- pelikularni tok – uzrokovan je molekularnim silama privlačenja između čestica tla i vode (vlažni omotač širi se oko suhih čestica tla);
- kapilarni tok – uzrokovan je molekularnim silama privlačenja čestica tla i vode te površinskom napetosti fluida;
- gravitacijski tok – odvija se uslijed hidrauličkog gradijenta (Bačani, 2006).

Karakteristika intergranularnih vodonosnika je da imaju veliku sposobnost autopurifikacije (samopročišćavanja) naročito od virusa i bakterija. Autopurifikacija je moguća zbog toga što voda pri infiltraciji u podzemlje prolazi kroz različite slojeve tla, različitih stupnjeva propusnosti i debljina (Bačani, 2006).
Važna činjenica za intergranularni vodonosnik je radi li se o otvorenom, poluzatvorenom ili zatvorenom vodonosniku (slika 1):



Slika 1. Tipovi vodonosnika
(Gupti, 1989)

a) Otvoreni vodonosnik je propusni sloj samo djelomično ispunjen vodom i leži na nepropusnoj podlozi, dok je gornja granica saturiranog dijela ujedno i vodno lice pod atmosferskim tlakom.
b) Poluzatvoreni vodonosnik je potpuno saturirani vodonosni sloj kojemu se u krovini i podini nalaze slabopropusne naslage. Voda je pod tlakom većim od atmosferskog.
c) Zatvoreni vodonosnik je potpuno saturirani vodonosni slij čiju gornju i donju naslagu čine nepropusne naslage. Tlak vode veći je od atmosferskog (Bačani, 2006).

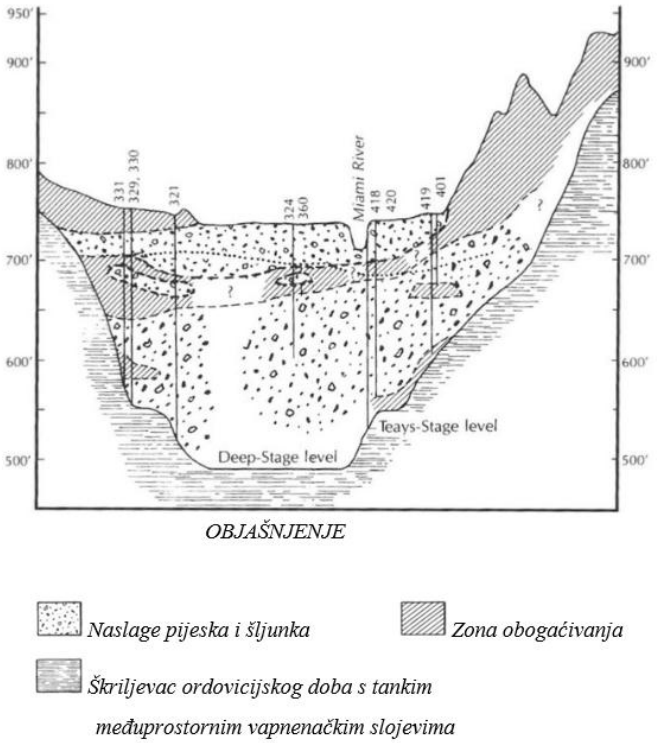
Pukotinski vodonosnici najčešći su u pješčanicima, granitima i djelomično karbonatima (Bačani, 2006). Karakteristično za pukotinske vodonosnike je brzo gubljenje vode u podzemlju zbog čega su siromašni površinskim, a bogati podzemnim vodama. Tok vode je uglavnom turbulentan a brzina toka podzemne vode je velika pa je mala mogućnost samopročišćavanja vodonosnika, a mogućnost i brzina širenja onečišćenja velika.

Pukotinsko-kavernozni (krški) vodonosnici razvijeni su pretežito u karbonatnim stijenama, vapnencima i dolomitima. Sekundarna, pukotinska poroznost osnovno je obilježje krških vodonosnika. Pukotinski sustavi disolucijskim radom vode mogu ponekad biti prošireni do dimenzija kanala pa i velikih špiljskih prostora. Krški procesi znatno mijenjaju prvotne pukotinske sustave karbonatnih masiva izgrađujući područja specifičnih obilježja. Od tih obilježja razlikuje se opći nedostatak stalnih površinskih tokova uz postojanje ponora,

krških polja i ostalih krških formi; česte pojave kaverni i podzemnih kanala; postojanje velikih krških stalnih i povremenih izvora te razvoj specifičnog okoliša koji je obično vrlo oštrih morfoloških oblika. Krški vodonosnici spadaju u visoko ranjive vodonosnike zbog tankih i nekontinuiranih pokrovnih naslaga, ponornih zona, jama, špilja, tokova u epikrškim i nesaturiranim zonama vodonosnika, velikih krških izvori što rezultira relativno laganim prodorom onečišćenja u podzemlje i brzim transportom na velike udaljenosti (Biondić B., Biondić R., 2014).

2.1.1 Primjeri vodonosnika u svijetu

Primjer intergranularnog vodonosnika, aluvijalna dolina Dayton u Ohiu u SAD- u (slika 2). Sedimentne naslage, riječni nanosi talože se u blizini rijeke. Šljunci se uglavnom talože duž glavnog toka rijeke, dok se pijesci i sitnozrnati šljunci talože duž obale (Fetter, 2018).



Slika 2. Profil preko doline Dayton (Ohio, SAD) (Fetter, 2001)

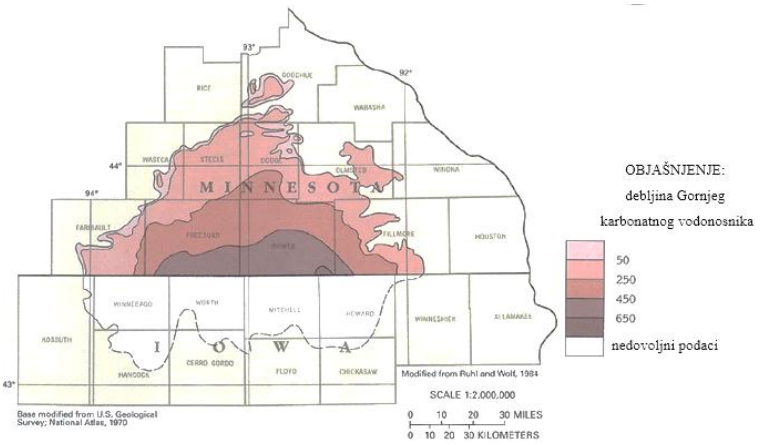
Primjer pukotinskog vodonosnika je Nubijski pješčenjak (slika 3), najveći poznati svjetski vodonosnik s fosilnom vodom. Nubijski pješčenjak nalazi se ispod istočnog kraja Saharske

pustinje i proteže se na površini od oko 2 mil. km^2, a procjenjuje se da sadrži oko 150 000 km^3 (Robinson i sur., 2006).



Slika 3. Vodonosnik Nubijski pješčenjak (Nubian Sandstone Aquifer System) (www.nsasja.org/domain_en.php)

Primjer krškog vodonosnika je *Upper carbonate aquifer*, odnosno Gornji karbonatni vodonosnik koji se nalazi u jugoistočnoj Minnesoti i u sjeveroistočnoj Iowi (slika 4). Kao što ime govori, vodonosnik se sastoji od karbonatnih stijena. Krška priroda gornjeg karbonatnog vodonosnika i odsutnost glacijalnih naslaga uz istočni rub vodonosnika čine ga osjetljivim na kontaminaciju s površine terena (USGS *Groundwater Information*, 2016).



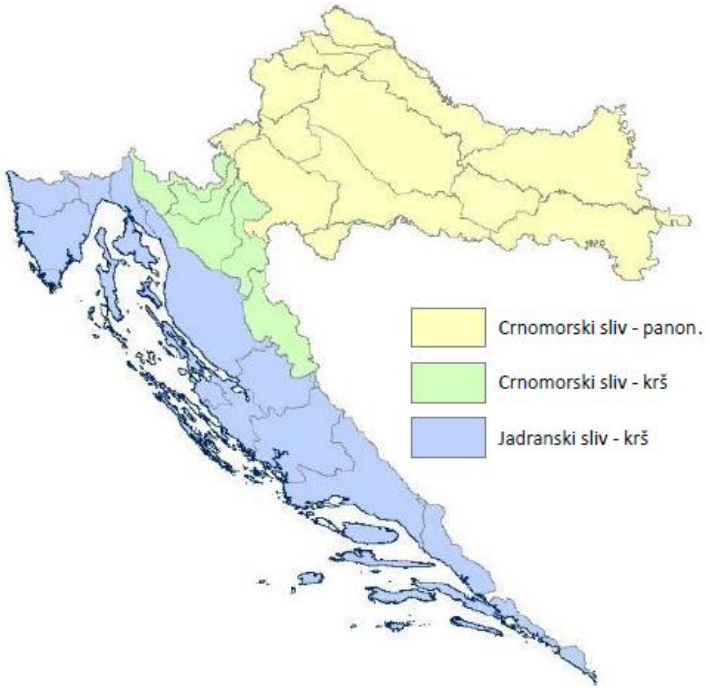
Slika 4. Gornji karbonatni vodonosnik (Minnesota, Iowa) (USGS Groundwater Information, 2016)

2.1.2 Primjeri vodonosnika u Republici Hrvatskoj

U Hrvatskoj su prisutna dva osnovna tipa vodonosnika:

- intergranularni (međuzrnski) koji prevladavaju u panonskom dijelu;
- pukotinsko-kavernozni (krški) koji se nalaze u planinskom području Dinarida te obalnom Jadranskom području (Samokovlija Dragičević, 2007).

U Republici Hrvatskoj su vodonosni sustavi i vodonosnici formirani na području crnomorskog i jadranskog sliva. Crnomorski (dunavski) sliv obuhvaća panonsko područje i dio krškog područja Dinarida, dok jadranski sliv u cijelosti obuhvaća krško područje Dinarida (slika 5) (Samokovlija Dragičević, 2007).



Slika 5. Crnomorski i jadranski sliv u RH (Meaški, 2018)

Crnomorskim slivom u panonskom području dominiraju aluvijalni vodonosnici intergranularne (međuzrnske) poroznosti formirani unutar velikih sedimentacijskih bazena rijeka Drave i Save. Između njih se prostiru brdski i brežuljkasti predjeli gdje također dominiraju intergranularni vodonosnici, a karbonatne vodonosne stijene pukotinske poroznosti nalaze se samo u najvišim dijelovima gorskih područja (Hrvatske vode, 2016).

Vodno područje rijeke Dunav obuhvaća dio kopnenog teritorija Republike Hrvatske s kojeg vode površinskim ili podzemnim putem otječu u rijeku Dunav, dok su okosnice otjecanja rijeke Sava i Drava. Primjeri intergranularnih vodonosnika su vodonosnici unutar stijena Ivanščice, Strahinščice, Papuka, Medvednice, Psunja i drugi.

Jadranski sliv obuhvaća krške (pukotinsko- kavernozne) vodonosnike. Jadransko vodno područje obuhvaća dio kopnenog teritorija Republike Hrvatske s kojeg vode površinskim ili podzemnim putem otječu prema Jadranskom moru. Vodonosnici Jadranskog sliva su vodonosnici izvora Rječine, izvora Jadro, vodonosnici rijeka Cetine i Zrmanje te drugi (Samokovlija Dragičević, 2007).

2.2 PRETPOSTAVKE ZA UČINKOVITU ZAŠTITU PODZEMNIH VODA

2.2.1 Karakterizacija resursa podzemne vode

Karakterizacija resursa podzemne vode važna je za učinkovitu zaštitu podzemnih voda. To podrazumijeva dostatnu karakterizaciju podzemnih voda i monitoring istih te razvoj sveobuhvatnih baza podataka o podzemnim vodama. Važno je bolje razumijevanje i karakterizacija postojećeg stanja, identifikacija postojećih i potencijalnih problema, uspostava prioriteta te razvoj održivih vodnih strategija i politika. Osnovni problem kod karakterizacije resursa podzemne vode su nedostatak podrške kao i sredstava potrebnih za prikupljanje podataka o kvaliteti i kvantiteti podzemnih voda, analize, istraživanje trendova i dr. S obzirom na to da podzemne vode nisu lako dostupne poput površinskih voda, mnogo je teže pratiti kvalitetu, kvantitetu i gibanje podzemnih voda. Nadalje, za uzimanje uzorka iz vodonosnika potrebno je bušenje i uzorkovanje u piezometrima, a cijeli postupak je kompliciraniji ako su vodonosnici uslojeni.

Kako bi se izbjegli problemi karakterizacije resursa podzemnih voda upravljanje podzemnim vodama treba biti dio integralnog upravljanja pripadajućim slivom, treba biti bazirano na pripadajućem vodonosniku podzemne vode. Prilikom razvoja strategija podzemnih voda treba uzeti u obzir povezanost podzemnih i površinskih resursa. Također, potrebno je hidrogeološko kartiranje i razvoj mreže opažanja podzemnih voda (Meaški, 2018).

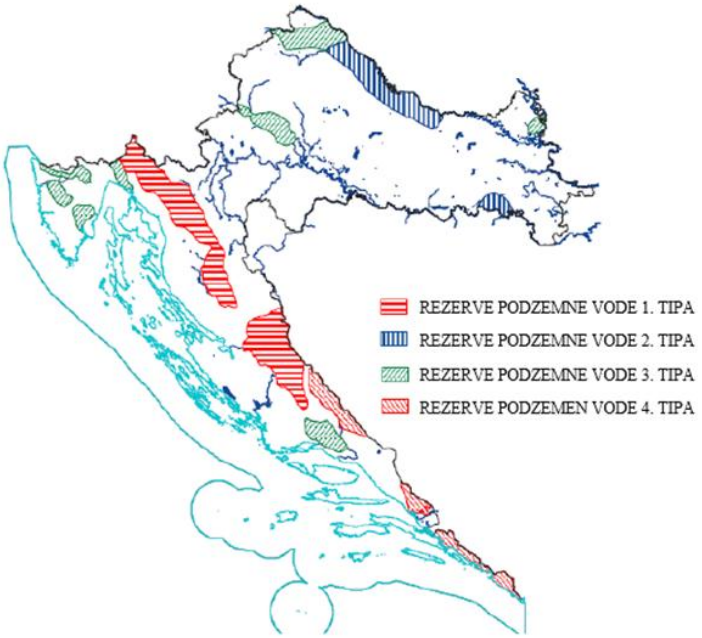
2.2.2 Zaštita izvorišta i vodnih resursa

Zaštita izvorišta i vodnih resursa nužna je za učinkovitu zaštitu podzemnih voda. U zaštiti izvorišta nužna je identifikacija izvora onečišćenja, otklanjanje prijetnji te primjena najbolje prakse u upravljanju podzemnim vodama. Valja uzeti u obzir pažljiv odabir geografskih područja koja utječu na izvor vodonosnika ili površinske vode. Neki od postojećih problema su ranjivost izvora na onečišćenja koja su posljedica antropogenih aktivnosti; troškovi remedijacije daleko veći od cijene zaštite voda, privatni i javni sektor mora uvidjeti nužnost zaštite podzemnih resursa te ih uzeti u obzir u prostornim i razvojnim planovima.

Potrebno je sprovesti delineaciju zaštitnih zona izvorišta/ vodonosnika za sva izvorišta javne vodoopskrbe, zatim u svakoj izdvojenoj zoni zaštite popisati sve moguće potencijalne izvore onečišćenja te odrediti osjetljivost svakog vodoopskrbnog izvora na pojedine izvore onečišćenja.

U većini država zaštita podzemnih voda provodi se u više razina. Uobičajene razine zaštite na tri razine su:

- zaštita strateških rezervi podzemnih voda (slika 6) – u praksi se teško provodi; zaštita ovakvih područja vrši se njihovim uključivanjem u prostorne planove i definiranjem njihove zaštite te pravilnim odabirom lokacija predviđenih za razvoj gospodarstva;
- zaštita izvorišta – u RH postoji i funkcionira kroz zaštitu priljevnih područja crpilišta i zaštitu eksploatacijskih objekata;
- zaštita vodonosnika – postoje različiti pristupi u zaštiti podzemnih voda kao empirijsko dimenzioniranje zaštitnih zona, proučavanje ponašanja svakog onečišćivača zasebno te procjena prirodne ranjivosti korištenjem multiparametarskih GIS metoda (Meaški, 2018).



Slika 6. Strateške rezerve podzemnih voda
(Strategija upravljanja vodama, 2009)

2.2.3 Prostorno planiranje

Prostorno planiranje treća je osnovna pretpostavka učinkovite zaštite podzemnih voda. Prostornim planiranjem treba osigurati dovoljne količine kvalitetne vode za potrebe različitih korisnika te gospodarski razvoj pa zbog toga i pojačati zaštitu podzemnih voda na lokalnoj razini. Javne agencije i istraživačke institucije prikupljaju i analiziraju podatke vezane uz vodu trebale bi redovito objavljivati materijale dostupne za prostorne planove.

Problemi kod prostornog planiranja nastupaju prilikom promjene upotrebe nekog zemljišta što može utjecati na promjenu hidroloških uvjeta, potencijalno izravno ili neizravno utjecati na količinu ili kvalitetu podzemnih i površinskih voda. Promjenom hidroloških ciklusa riskira se smanjenje ili gubitak vodnih resursa tijekom vremena. Kako bi se izbjegli problemi prostorno planiranje mora uzeti u obzir lokaciju, kvalitetu, izdašnost, ranjivost kao i potencijal prihranjivanja pojedinih vodonosnika te u skladu s navedenim dugoročno predvidjeti dostupnost vode na nekom području (Meaški, 2018).

2.3 ZAŠTITA IZVORIŠTA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Prema *Zakonu o vodama "izvorište je mjesto na katastarskoj čestici iz kojeg podzemna voda prirodno izvire na površinu odnosno mjesto na katastarskoj čestici s kojeg se kroz bušotinu crpi voda iz tijela podzemnih voda"* (NN 66/19). Zaštita vodnih resursa jedna je od najvažniji aktivnosti u svijetu. Svaka država zaštitu voda provodi sukladnoj svojoj legislative. U Republici Hrvatskoj zaštita voda provodi se već trideset godina. Zaštita podzemnih voda vrlo je važna jer je 90 % javne vodoopskrbe vezano upravo za podzemne vode.

Radi zaštite područja izvorišta ili drugog ležišta vode koja se koristi ili je rezervirana za javnu vodoopskrbu, uspostavljaju se zone sanitarne zaštite izvorišta. P*ravilnikom o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta* (NN 66/11, 47/13) propisuju se uvjeti za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta koja se koriste za javnu vodoopskrbu, mjere i ograničenja koja se u njima provode, rokovi i postupak donošenja odluka o zaštiti izvorišta. Ovim Pravilnikom nisu obuhvaćena izvorišta za koja se dodjeljuje koncesija za gospodarsko korištenje voda iz članka 163. Zakona o vodama te izvorišta koja se ne koriste, a nisu planirana kao pričuvna izvorišta za javnu vodoopskrbu, već sukladno koncesijskom ugovoru ili vodopravnoj dozvoli služe gospodarskom korištenju (NN 66/11, 47/13).

2.3.1 Klasifikacija izvorišta i utvrđivanje zona izvorišta

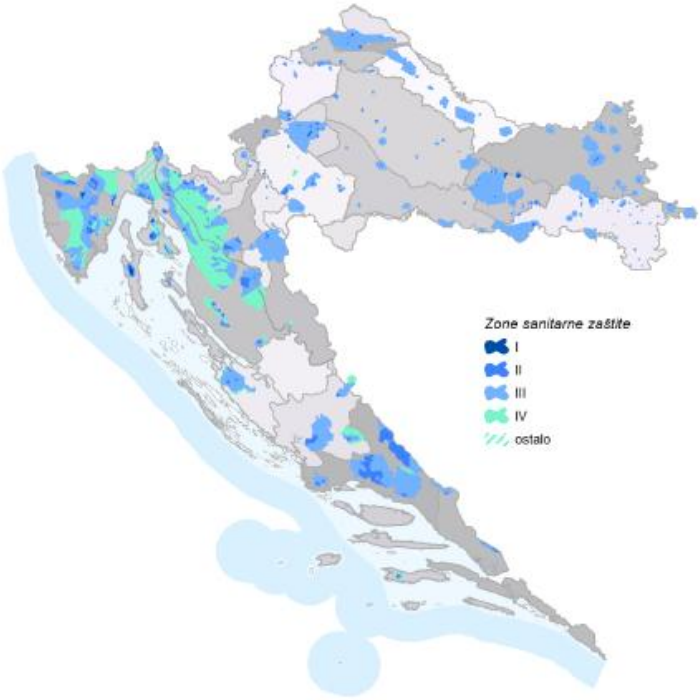
U svrhu određivanja opsega vodoistražnih radova i utvrđivanja zona zaštite izvorišta Pravilnikom (NN 66/11, 47/13) se izvorišta klasificiraju na:

- izvorišta maksimalnog kapaciteta do 20 l/s u smislu dinamike crpljenja,
- izvorišta maksimalnog kapaciteta od 20 l/s do 100 l/s u smislu dinamike crpljenja
- izvorišta maksimalnog kapaciteta većeg od 100 l/s u smislu dinamike crpljenja.

2.3.2 Rezervacija prostora

Rezervacijom prostora zone sanitarne zaštite (slika 7) unose se u planske dokumente. Rezervacija prostora vrši se temeljem elaborata zona sanitarne zaštite izvorišta, odluka županijskih skupština i temeljem propisa o prostornom uređenju i gradnji. Kod svake studije

utjecaja na okoliš potrebno je obraditi stanje podzemnih voda, utjecaj na vode tijekom građenja, korištenja i nakon korištenja objekta koji se planira (NN 66/2011, 47/2013).

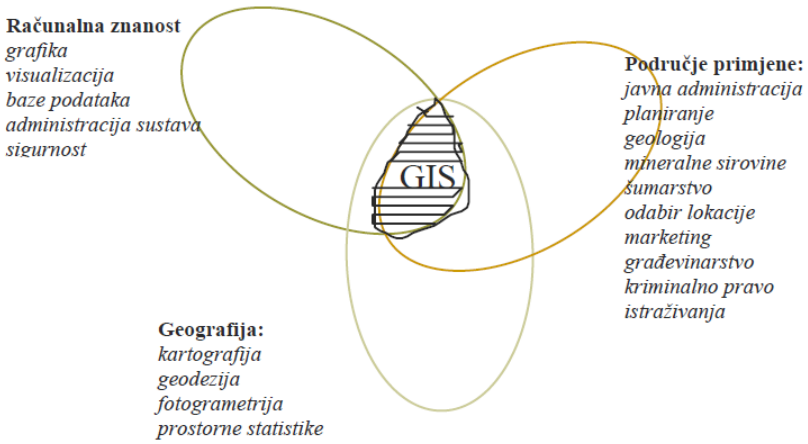


Slika 7. Zone sanitarne zaštite izvorišta vode namijenjene ljudskoj potrošnji (Hrvatske vode, 2016)

3 GIS KAO ALAT U ZAŠTITI IZVORIŠTA I VODONOSNIKA

3.1 OSNOVNO O GIS-u

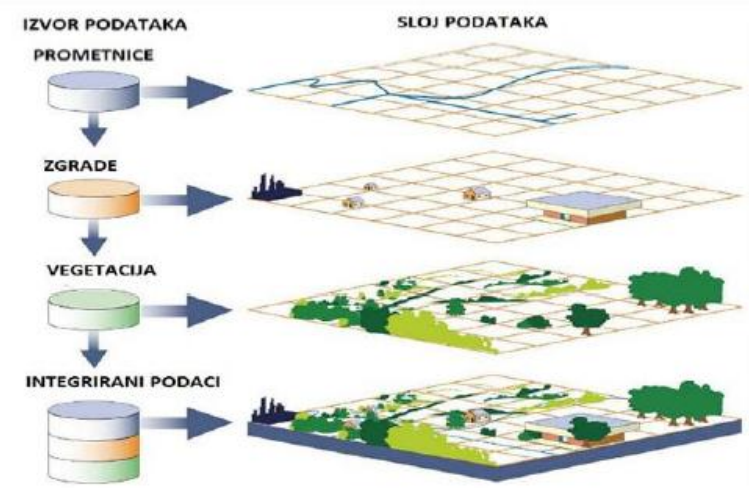
Geografski informacijski sustav (GIS) prema definiciji NCGIA (*National Center for Geograpihs Information and Analyses, USA*) je sustav hardware- a, software- a i procedura koje omogućuju management, obrade, analize, modeliranje, predstavljanje i prikaz georeferenciranih podataka sa svrhom rješavanja kompleksnih problema planiranja i gospodarenja prostorom. GIS je skup alata koji omogućuju pojednostavljenje opisa stvarnog svijeta i postavljanje takvih podataka u preglednu prostornu bazu podataka. Za razumijevanje GIS- a potrebno je preklapanje tehnologijskih i tradicionalnih disciplina (slika 8), poput računalne znanosti, geografije te znanja o području primjene odnosno struci za koju želimo primijeniti GIS (Biondić R., 2010).



Slika 8. Preklapanje tehnologijskih i tradicionalnih disciplina (Biondić, 2010)

GIS se može promatrati kao sustav upravljanja podacima koji dopušta pristup i manipulaciju prostornim podacima te vizualni prikaz podataka i rezultata analize (Johnson, 2009). GIS baze podataka smatraju se nizom zemljopisnih slojeva koji su zemljopisno referencirani i registrirani na zajedničku projekciju. GIS organizira podatke po slojevima, od kojih svaki sadrži temu podataka karte koja je logično povezana s njegovim položajem (slika 9). Svaki odvojeni dio ove tematske karte naziva se sloj, pokrivenost ili razina. Svaki sloj je točno postavljen na drugi tako da se svaka lokacija podudara s odgovarajućim mjestima na svim ostalim kartama. Donji sloj ovog dijagrama je vrlo važan, on predstavlja sustav na koji su sve

karte točno položene.



Slika 9. Preklapanje slojeva u GIS- u
(U.S. Government Accountability Office, 2012)

GIS se koristi i u hidrogeologiji. Procesi otjecanja u slivovima svojstvenog su prostornog karaktera pa se GIS koristi kao alat za organiziranje podataka i formuliranje hidroloških modela. Hidrologija površinskih voda je područje za koje se GIS najviše primjenjuje u vodnim resursima u zaštiti okoliša. Pojava digitalnih podataka i software-a za obradu prostornih informacija dovela je do promjene u načinu na koji promatramo hidrološke sustave i to je omogućilo preciznije opisivanje karakteristika slivova. GIS je našao opsežnu primjenu za procjene podzemnih voda zbog velike količine različitih podataka. Ispravna procjena resursa podzemnih voda zahtijeva temeljitu procjenu te hidrološka, geološka i hidraulička istraživanja. Korištenje modela simulacije i upravljanja, široko je rasprostranjeno u takvim studijama, a GIS postaje primarna tehnologija za koordinaciju upravljanja podacima i pružanje sučelja za razvoj modela podzemnih voda (Johnson, 2009).

3.2 PRIMJENA GIS-a KOD PRIKAZA ZONA SANITARNE ZAŠTITE

GIS je sustav, skup alata koji se može koristiti u razne svrhe i primijeniti u raznim strukama. U ovom radu bit će pobliže rečeno o GIS- u korištenom u svrhe zaštite vodnih resursa. Kako se GIS- om precizno mogu označiti područja zaštite tako se GIS sve više koristi kao obavezan alat u izradi zona sanitarne zaštite izvorišta. Prema *Pravilniku o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta „naručitelj iz članka 3. stavka 2. je u obvezi dostaviti Hrvatskim*

vodama elaborat zona sanitarne zaštite u digitalnom obliku pogodnom za daljnju obradu u GIS aplikacijama te aplikacijama za tablične kalkulacije i aplikacijama za obradu teksta, usklađenih s Informacijskim sustavom voda" (NN 66/11, 47/13). Iz Pravilnika je vidljivo da podaci moraju biti u digitalnom obliku pogodnom za daljnju obradu u GIS- u, ali nema zakonskog akta kojom je obavezno da se u odlukama o zonama sanitarne zaštite koristi GIS, koji bi trebao biti jedno od ključnih pomoći u konačnoj odluci uspostave područja kojim se protežu zone sanitarne zaštite.

Procesi planiranja i projektiranja koji se koriste u razvoju i upravljanju vodnim resursima uključuju različite podatke. Podaci se prikupljaju i koriste za karakterizaciju okoliša, a svi su svedeni do neke razine detalja koja se traži. U nastojanju da se donesu odluke o planovima i nacrtima, moraju se prikupiti podaci za opis resursa, a potrebno je razviti postupke ili modele za predviđanje promjena. Upravo takvi podaci i modeli pomažu u razumijevanju stvarnog svijeta Podaci mjerenja lokacija, udaljenosti i protoka različitim uređajima obično se obrađuju u digitalnim formatima i brzo se integriraju u prostornu bazu podataka. GIS predstavlja informacije u obliku karata i simbola značajki te je integriran s bazama podataka koje sadrže atributne podatke o značajkama. Gledanje na kartu daje uvid o tome gdje se što nalazi i kako je sve povezano. GIS također može pružiti tablična izvješća na karti značajke; stvoriti popis svih stvari povezanih u mrežu; i podržavaju simulacije riječnih tokova, vrijeme putovanja, ili raspršivanje onečišćujućih tvari. Svi skupovi podataka moraju biti uspostavljeni u zajedničkom georeferencijskom okviru tako da se pravilno preklapaju, kako bi se mogla napraviti podudarnost značajki u planiranju i fazi projektiranja (Johnson, 2009).

U ranije navedenom Pravilniku jedan od uvjeta za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta jesu i vodoistražni radovi. Prema Pravilniku „vodoistražni radovi su radovi i ispitivanja iz članka 91. stavka 2. Zakona o vodama, koji uključuju geološka, hidrogeološka, hidrološka, hidrogeokemijska i kemijska istraživanja, a osobito se odnose na utvrđivanje sljedećih značajki:

- geološke značajke i hidrogeološke odnose priljevnog područja,
- hidrološke značajke priljevnog područja,
- veličina, granice i izdašnost vodonosnika,

- tip vodonosnika s obzirom na poroznost (međuzrnska, pukotinska i pukotinsko – kavernozna),
- debljina i propusnost pokrovnih naslaga vodonosnika,
- način napajanja vodonosnika,
- način dotoka vode u akumulaciju ili jezero,
- brzina toka podzemne vode prema izvorištu,
- purifikacijski kapacitet pokrovnih naslaga i vodonosnika,
- kakvoća vode i
- analiza prirodnog sustava i ukupnog utjecaja ljudske aktivnosti.

Vodoistražni radovi uobičajeno se provode kroz nekoliko faza. Na početku se prikupljaju, reinterpretiraju i analiziraju rezultati već provedenih detaljnih vodoistražnih radova, a u drugoj fazi provode se dodatni detaljni vodoistražni radovi (NN 66/11, 47/13).

S obzirom na mogućnost obrade podataka u GIS-u, navedene značajke mogle bi se detaljno i precizno obraditi te prikazati pomoću GIS-a. Geološke značajke, debljina naslaga vodonosnika, veličina i granice vodonosnika, analiza prirodnog sustava, samo su neki od primjera za prikaz u GIS-u. Takvi podaci trebali bi se obraditi u digitalnom obliku primjerenom za GIS te pomoću slojeva koji se preklapaju razviti u konkretan model. Pomoću modela u GIS-u jednostavnije i suvremenije bi se dobio uvid u stvarno stanje na terenu odnosno okolišu.

3.2.1 GIS kao alat za prikaz zaštitnih zona

Prema *Pravilniku o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta*, zone sanitarne zaštite (slika 10) utvrđuju se prema tipu vodonosnika za izvorišta sa zahvaćanjem podzemne vode iz vodonosnika s međuzrnskom poroznosti i zone sanitarne zaštite izvorišta sa zahvaćanjem voda iz vodonosnika s pukotinskom i pukotinsko-kavernoznom poroznosti.

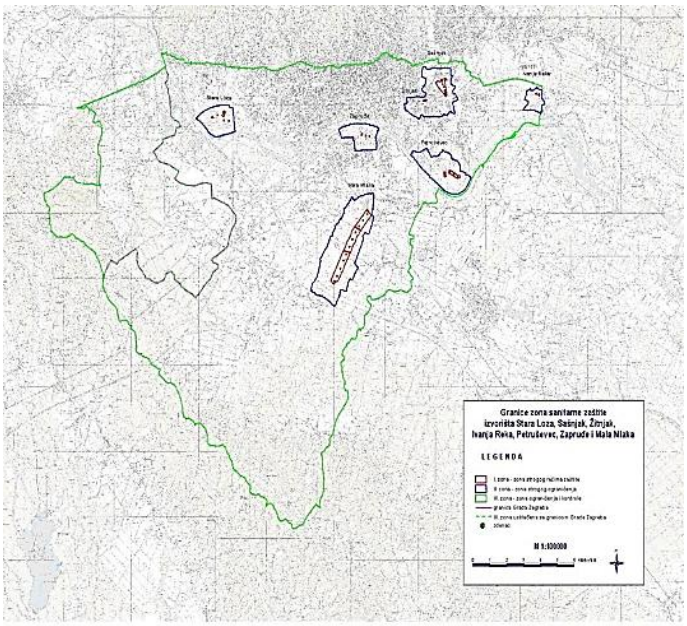
Za izvorišta sa zahvaćanjem vode iz vodonosnika međuzrnske poroznosti postoje tri zone sanitarne zaštite i to su:

- zona ograničenja i nadzora – III. zona,

- zona strogog ograničenja i nadzora – II. zona i
- zona strogog režima zaštite i nadzora – I. zona.

Za izvorišta sa zahvaćanjem voda iz vodonosnika s pukotinskom i pukotinsko-kavernoznom poroznosti postoje četiri zone sanitarne zaštite i to su:

- zona ograničenja – IV. zona,
- zona ograničenja i nadzora – III. zona,
- zona strogog ograničenja i nadzora – II. zona i
- zona strogog režima zaštite i nadzora– I. zona.

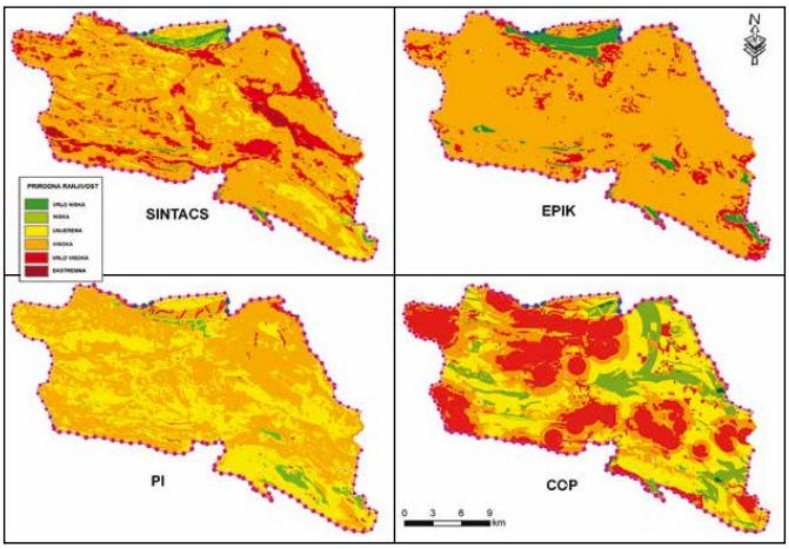


Slika 10. Granice zona sanitarne zaštite izvorišta grada Zagreba (Grad Zagreb službene stranice, 2019)

U spomenutom Pravilniku od naručitelja se traži da Hrvatskim vodama dostavi elaborat zona sanitarne zaštite u digitalnom obliku pogodnom za daljnju obradu u GIS aplikacijama. U Republici Hrvatskoj za sada je to jedini zakonski akt prema kojem je obavezno korištenje GIS sustava. Implementacija GIS-a u zakone svakako je potrebna radi boljeg prikaza i praćenja zaštitnih zona.

3.2.2 GIS kao alat za modeliranje ranjivosti u svrhu zaštite podzemnih voda

Metode procjene ranjivosti postaju uobičajeni alat za zaštitu voda u svijetu. Zaštita izvorišta pitke vode u Republici Hrvatskoj uobičajeno se provodi definiranjem različitih zona unutar kojih su propisane aktivne mjere zaštite. Metode procjene prirodne ranjivosti temelje se na pretpostavci da prirodna fizička, kemijska i biološka obilježja vodonosnog sustava mogu pružiti određeni stupanj zaštite podzemne vode od onečišćenja (Loborec i Đurin, 2016). Primjena različitih metoda procjene ranjivosti na istom području daju velike razlike u konačnim rezultatima koje su posljedica subjektivnosti u procjenama te problem dostupnih podataka. Zbog navedenog problema sve se više pažnje posvećuje primjeni odgovarajućih metoda verifikacije rezultata procjene ranjivosti, a sve počinje odabirom optimalne metode (slika 11).



Slika 11. Karte ranjivosti dobivene primjenom metoda SINTACS, EPIK, PI i COP (Loborec i Đurin, 2016)

Za zaštitu izvorišta važno je spomenuti zaštitu eksploatacijskih objekata i zaštitu priljevnih područja crpilišta. Zaštita eksploatacijskih objekata predstavlja neposrednu zaštitu objekta, odnosno podzemne vode i sprječava izravni prodor onečišćivala u izvorište. Zaštita se provodi pravilnim lociranjem, projektiranjem te izvedbom zdenca, a važno je provođenje zaštitnih mjera tijekom izvedbe i eksploatacije zdenca. Zaštitu priljevnih područja crpilišta određuje se temeljem hidrogeoloških značajki, pri čemu su posebno važni: tip vodonosnika (otvoreni, poluzatvoreni, zatvoreni), dominantan način napajanja (infiltracija padalina ili

rijeke), smjer i brzina podzemne vode prema crpilištu te purifikacijski kapacitet krovine i vodonosnika. Za priljevna područja crpilišta uobičajeno se provodi uspostavljanje zona sanitarne zaštite, a moguće je i korištenje različitih metoda procjene prirodne ranjivosti (Nakić, 2007).

Najveći problem s kojim su se suočili europski hidrogeolozi u posljednjem desetljeću bila je potreba da se zaštiti kvaliteta i količina resursa podzemnih voda. Stoga je Europska okvirna direktiva o vodama (ODV, 2000) uključila države članice da razviju i provedu planove za održavanje i poboljšanje vodnog okoliša. Deklaracija Ministarskog sastanka o podzemnim vodama održanog u Hagu 1991. godine istakla je potrebu poduzimanja akcije radi izbjegavanja dugoročnog pogoršanja stanja kakvoće i količina slatke vode te pozvala na provedbu programa akcija do 2000. godine, usmjerenog na održivo upravljanje i zaštitu slatkovodnih resursa. Jedan od ciljeva Direktive je postizanje dobrog stanja voda u svakom riječnom slivu, tako da se omogući koordiniranje mjera za površinske i podzemne vode koje pripadaju istom ekološkom, hidrološkom i hidrogeološkom sustavu. Zemlje članice trebaju uspostaviti zajedničke definicije stanja voda glede kakvoće i, gdje je to relevantno za zaštitu okoliša, količine. Također, moraju težiti postizanju cilja barem dobrog stanja voda, utvrđujući i provodeći potrebne mjere u sklopu integralnih programa mjera, vodeći računa o postojećim potrebama EU Zajednice. Tamo gdje je stanje voda već sada dobro, treba ga održavati, a kada se radi o podzemnim vodama, uz zahtjev za dobrim stanjem, svaki značajni trend porasta koncentracije onečišćenja treba utvrditi i zaustaviti (ODV, 2000).

Okvirna direktiva o vodama stavlja u kontekst rad projekta COST 620 čiji je glavni zadatak bio razviti opći, neobjektivni pristup kartiranju ranjivosti. Pristup projekta primjenjiv je za krške i druge vodonosnike te izvorišta. Projekt obuhvaća metode specifičnog mapiranja ranjivosti, mapiranja opasnosti i rizika te validaciju podataka. Razlikuje se unutarnja i specifična ranjivost. Unutarnja ranjivost podzemne vode uzima u obzir geološke, hidrološke i hidrogeološke karakteristike područja, dok specifična ranjivost obuhvaća svojstva određenog onečišćenja. Neke od najčešćih metoda u svijetu su SINTACS, EPIK, PI, COP, VULK, Time-Input, LEA, Njemačka metoda, i dr. (Zwahlen, 2004). U nastavku će biti opisane neke od navedenih metoda.

SINTACS metoda ranjivost procjenjuje preko sedam parametara: dubina do podzemne vode (S), utjecaj efektivne infiltracije (I), kapacitet zadržavanja u nezasićenoj zoni (N), kapacitet zadržavanja u tlu (T), hidrogeološke karakteristike vodonosnika (A), raspon koeficijenta hidrauličke vodljivosti (C) i hidrogeološka uloga nagiba terena (S). Svaki parametar ima vrijednosti između 1 i 10, gdje veća vrijednost označava veću ranjivost. SINTACS metoda nudi pet mogućih scenarija površinskih uvjeta: "normalni uvjeti", "veliko opterećenje“, "procjeđivanje", "krš" i "raspucale stijene", koji omogućavaju primjenu SINTACS metode na različitim tipovima vodonosnika. Konačni indeks ranjivosti je zbroj svih parametara pomnoženih s pripadajućim težinskim koeficijentima (Civita i De Maio, 2000).

EPIK metoda temelji se na proučavanju četiri osnovne značajke krških sustava: epikrška zona (E), pokrovne zaštitne naslage (P), uvjeti infiltracije (I) i stupanj okršenosti sustava (K). Svaka od opisanih značajki predstavlja jedan parametar E, P, I K u procjeni prirodne ranjivosti vodonosnika. Zbroj svih parametara pomnoženih s pripadajućim težinskim vrijednostima ulazi u izračunu konačnog zaštitnog faktora (Doerflinger i sur., 1999).

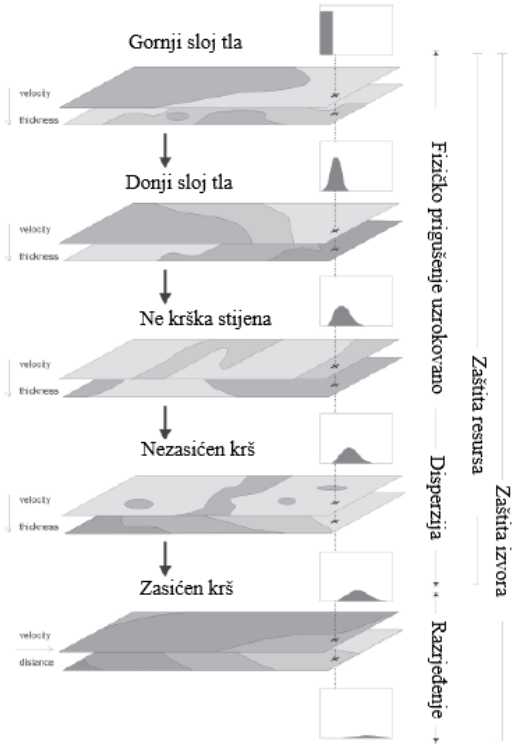
PI metoda procjenjuje samo dva parametra, funkciju zaštitnog pokrova (P) i infiltracije uvjetima (I) pa na prvi pogled djeluje kao najjednostavnija metoda. Međutim, to je vrlo detaljno razrađena metoda koja uključuje više podfaktora. Prirodna ranjivost PI metodom dobiva se množenjem pojedinačnih faktora P i. Kao umnožak predstavljen je faktor zaštite – π, s rasponom vrijednosti od 0 do 5, gdje veće vrijednosti prikazuju veću prirodnu zaštitu, odnosno manju ranjivost vodonosnika od onečišćenja s površine (Goldscheider, 2005).

COP metoda potpuno je usklađena (metodološki i terminološki) sa smjernicama predloženima projektom COST 620. Zasniva se na vrednovanju tri parametra koja opisuju ranjivosti vodonosnika: krovinske naslage (O), koncentracija toka (C) i režim oborina (P). Parametar O predstavlja zaštitnu ulogu, a faktori C i P smanjuju taj stupanj zaštite. Konačni indeks COP dobiva se množenjem ta tri faktora (Vías i sur., 2006).

Na slici 11 prikazan je primjer karata ranjivosti dobivenih primjenom četiri opisane metode

na jednom slivu u dinarskom kršu.

VULK je analitički računalni program koji je razvijen u okviru COST 620 kao alat za procjenu unutarnje ranjivosti. Skraćenica VULK označava ranjivost i krš. Konceptualni model VULK obuhvaća jednostavnu metodu za mapiranje vremena prijenosa (slika 12), za ranjivost resursa i izvora. Računalni program omogućuje izračunavanje transporta onečišćivala na odabranim točkama. Kada se VULK metoda spoji s GIS-om moguće je stvoriti karte koje prikazuju maksimalnu koncentraciju potencijalnog onečišćenja.



Slika 12. Metodologija preslikavanja vremena prijenosa VULK metodom (Zwahlen, 2004)

Koncentracije protoka i specifičnih transportnih procesa provodi se u model. VULK model služi za procjenu unutarnje i specifične ranjivosti izvora i resursa te mapiranje karata ranjivosti koje su napravljene drugim metodama. Prilikom korištenja VULK metode kod onečišćenja u slivu važno je njome prikazati vrijeme prijenosa od ispuštanja onečišćivala do dolaska u sliv, kolika je koncentracija onečišćivala u slivu i koliko dugo će se onečišćenje zadržati u slivu (Zwahlen, 2004).

TIME – INPUT metoda pruža novu metodu za procjenu ranjivosti podzemnih voda posebno u planinskim područjima na temelju Europskog pristupa. Glavni faktori ove metode su vrijeme putovanja (TIME) od površine do podzemne vode (60 %) koje se uvećava količinom oborina koje se unose kao dodatno prihranjivanje podzemnih voda (INPUT; oko 40 %). Za razliku od drugih sustava procjene, ranjivost je izražena u realnom vremenu s ulaznim vrijednostima u stvarnim količinama umjesto bezdimenzionalnih brojeva. Ni te vremenske vrijednosti ne pokazuju točno srednje vrijeme putovanja do podzemne vode, ali njezini relativni brojevi daju vjerodostojnije rezultate (Zwahlen, 2004).

3.2.3 GIS kao alat za implementaciju matematičkog modela toka podzemne vode

Danas u svijetu prijetnje kvaliteti podzemnih voda postaju sve ozbiljnije, s obzirom na povećanu ovisnost o zalihama podzemnih voda i dugim periodom potrebnim za čišćenjem od onečišćenja. GIS je našao opsežnu primjenu za procjene podzemnih voda, jer postoje mnoge vrste i velike količine podataka. Ispravna procjena resursa podzemnih voda zahtijeva temeljitu procjenu hidrološka, geološka i hidraulička istraživanja. Korištenje modela simulacije i upravljanja podzemnim tokovima široko je rasprostranjeno, a GIS postaje primarna tehnologija za koordinaciju upravljanja podacima i pružanje sučelja za razvoj modela podzemnih voda (Johnson, 2009). Iako je model aproksimacija stvarnosti, veoma je koristan.

S obzirom na to da je model približan prikaz nekog sustava ili procesa, koji služi za razumijevanje sustava te njegovo mijenjanje ili upravljanje njime, neophodno je da modeli budu jednostavni, ali da ipak služe svrsi za koju su namijenjeni. Modelima se složeni procesi mogu razdvojiti na jednostavnije što čini jednostavniju obradu i razumijevanje promatranog procesa. Matematički modeli podrazumijevaju matematički opis sustava tečenja podzemne vode. Glavni razlozi korištenja matematičkih modela podzemnih voda su predviđanje ponašanja vodonosnika zbog antropogenih ili prirodnih promjena te opisivanje sustava sa svrhom analiziranja raznih pretpostavki. Model toka podzemne vode koristi se za potrebe određivanja zaštitnih zona, a odabir računalnog programa ovisi prvenstveno o numeričkom načinu rješavanja problema. Danas se uobičajeno koriste tri načina/ software-a: metoda konačnih diferencija (MODFLOW), metoda konačnih elemenata (FEFLOW) i metoda

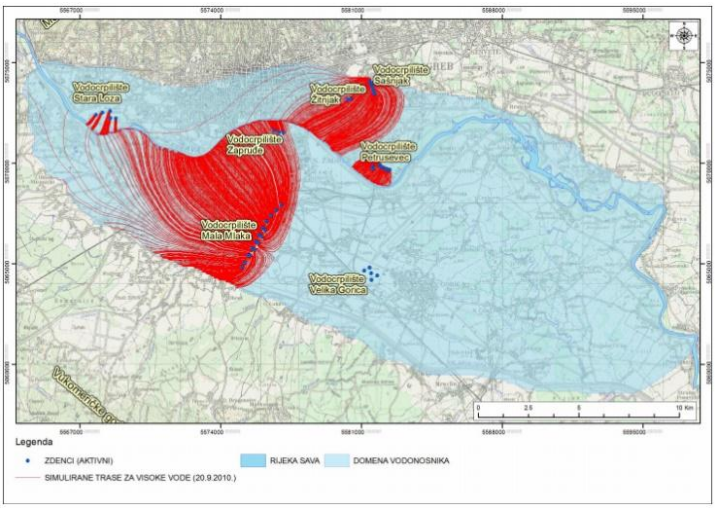
konačnih volumena (MODFLOW-USG) (Johnson, 2009).

Najpopularniji računalni model numeričkog tipa je modularni model MODFLOW razvijen u *US Geological Survey*. MODFLOW je dizajniran da simulira sustave vodonosnika u kojima postoje uvjeti zasićenog protoka, primjenjuje se Darcyjev zakon, gustoća podzemnih voda je konstantna i glavni smjerovi horizontalne hidrauličke vodljivosti ili transmisivnosti ne mijenjaju se unutar sustava. Za takve sustave, MODFLOW može simulirati širok raspon hidroloških značajki i procesa. Program praćenja čestica, MODPATH, je program za naknadnu obradu MODFLOW modela, za procjenu putova protoka i vremena putovanja u sustavima podzemnih voda (Johnson, 2009).

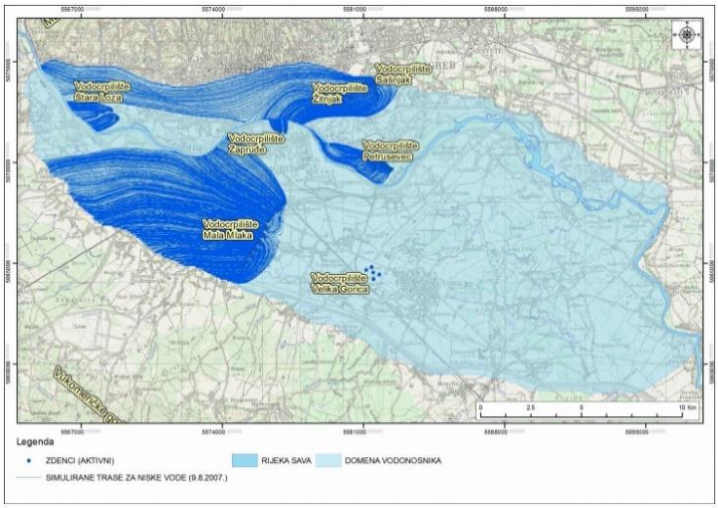
Primjer modela toka MODFLOW programom u ovo radu bit će prikazan na vodocrpilištu grada Zagreba. Za simulacije toka podzemne vode odabran je MODFLOW program, a za simulacije trasiranja čestica odabran je MODPATH program. Programi MODFLOW i MODPATH sastavni su dio programskog paketa *Visual Modflow* koji je korišten za potrebe izrade ovog zadatka, a koji predstavlja grafičko sučelje uz pomoć kojeg se vrši unos ulaznih podataka i kreiranje ulaznih datoteka za MODFLOW i MODPATH programe, provođenje simulacija te prikaz i statistička obrada rezultata simulacija (Bačani i Posavec, 2014).

Model toka podzemne vode u ovom slučaju kreiran je za potrebe simulacija toka podzemne vode i trasiranja čestica s ciljem određivanja zaštitnih zona vodocrpilišta grada Zagreba. S obzirom na to da su zone zaštite vodocrpilišta određivane za razdoblje visokih i niskih voda, kod simulacija trasiranja čestica korištene su raspodjele efektivnih brzina toka podzemne vode na dan visokih i na dan niskih voda (slika 13, slika 14). Rezultati simulacije toka i trasiranja čestica korišteni su za procjenu druge i treće zaštitne zone vodocrpilišta kako je to definirano *Pravilnikom o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta* (NN 66/11, 47/13). Konceptualni model zagrebačkog vodonosnog sustava definiran je korištenjem baze podataka i baze znanja projekta Evidencija i gospodarenje podzemnim vodama (EGPV i EGPV-GIS). U radu je korišten ArcView GIS program u čijim projektima je integrirana EGPV baza podataka i baza znanja zajedno s grafičkim vektorskim i rasterskim podlogama. Kriterij za odabir računalnog programa bio je da njegove mogućnosti odgovaraju zadatku i

karakteristikama zagrebačkog vodonosnog sustava. Program je trebao opisati mehanizme toka u litostratigrafskim i hidrološkim okolnostima (Bačani i Posavec, 2014).



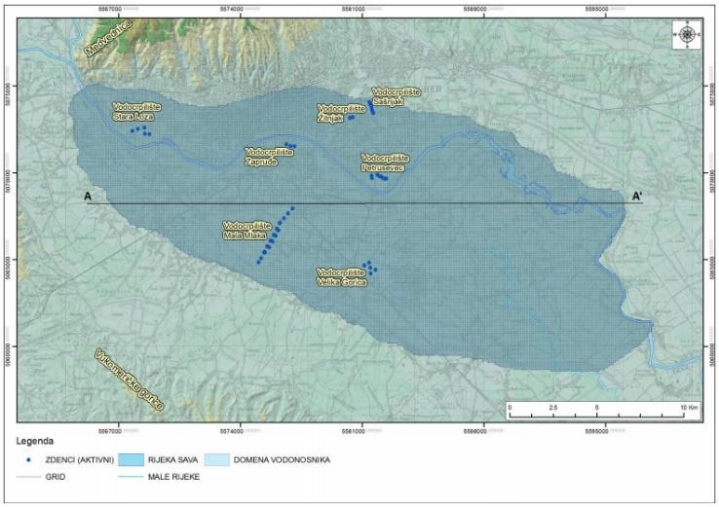
Slika 13. Simulirane trase za visoke vode (Bačani i Posavec, 2014)



Slika 14. Simulirane trase za niske vode (Bačani i Posavec, 2014)

Domenu modela zagrebačkog sustava podzemnih voda uvjetuju holocenski sedimenti prve i druge savske terase (šljunci, pijesci, gline) te aluvijalni nanosi Save i većih vodotoka (šljunci i pijesci) koji se protežu duž Save. Diskretizacijom (slika 15) se domena modela zagrebačkog vodonosnog sustava podijelila na niz manjih cjelina odnosno ćelija pravokutnog oblika. Ovakvu diskretizaciju uvjetuje MODFLOW koji tok podzemne vode simulira koristeći

pristup konačnih diferencija, a diskretizacija je primarno omogućila definiranje heterogenosti sustava (Bačani i Posavec, 2014).



Slika 15. Horizontalna diskretizacija modela zagrebačkog vodonosnika (Bačani i Posavec, 2014)

4 PRIMJENA GIS- a U ZAŠTITI IZVORIŠTA

4.1 POTREBNA STRUKTURA GIS- a

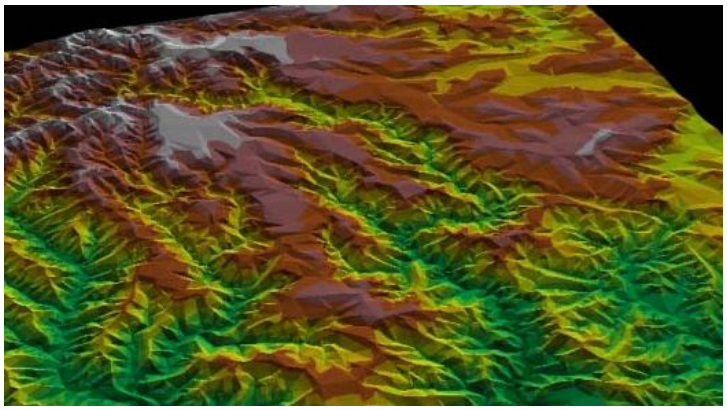
Da bi se kreirao uspješan i koristan model podzemne vode važna je dostupnost visokokvalitetnih podataka. Pomoću GIS-a prostorne povezanosti i preklapanja mogu se objasniti i vizualizirati te obrađivati, transformirati i analizirati te prezentirati u kartama. Također se mogu razviti prostorni scenariji, evaluirati međudjelovanja te modeliranjem doći do optimalnog rješenja. Kod GIS-a su važne višedimenzionalnost i interdisciplinarnost koje u kombinaciji s grafičkim sposobnostima omogućavaju sintetiziranje i kombiniranje informacija koje pripadaju istim ili komplementarnim područjima u vremenu i prostoru (Grizelj Šimić, 2014).

Neki od glavnih podataka koji se zahtijevaju u hidrologiji su: hidrografi bušotina i povijesne karte vodonosnika (vodostaja) za vodonosnike; podaci o padalinama; podaci o isparavanju; podaci o protoku strujanja, uključujući mjerenja dobitka i gubitka protoka između mjernih stanica; zatim sezonski protok; procjene ukupnog ispuštanja podzemnih voda u potoke; podaci o mjerenju površinskih voda i povratnih tokova; količina utrošene podzemne vode za svaku vrstu uporabe i prostornu raspodjelu povratnih tokova i mnogi drugi. Neki podaci poput padalina lako su dostupni, dok su neki drugi podaci i informacije, kao što su geološke i hidrogeološke karte, teški za prikupljanje (Johnson, 2009).

U hidrologiji postoji cijeli niz primjena GIS tehnologije koje se prije svega odnose na detaljnije analize prostornih značajki. Postupci koji se provode u GIS okruženju, kao što su određivanje hidroloških elemenata, analiza povezanosti i proračun parametara, služe kao ulazni podatci za hidrološko modeliranje. Primjeri takvog modeliranja su kretanja onečišćenja u vodotoku, određivanje poplavnih područja, modeliranje procesa otjecanja sa sliva i dr. Unapređuje se proračun značajki sliva, statistike tečenja i vjerojatnosti pojave te se olakšava razgraničavanje slivova upotrebom modela terena. Za navedene proračune, statistike i vjerojatnosti potreban su standardizirani skupovi podataka o pokrovu, sastavu tla, klimatskim varijablama i lokacijama mjernih postaja.

Za GIS model u primjeni su dvije vrste modela terena, DEM i TIN. Za oba modela terena potrebna je priprema konzistentnog skupa ulaznih podataka i generiranje modela, čime se omogućava proračun odabranih fiziografskih parametara sliva. Kombinacija korištenja oba modela često daje najbolje rezultate (Grizelj Šimić, 2014).

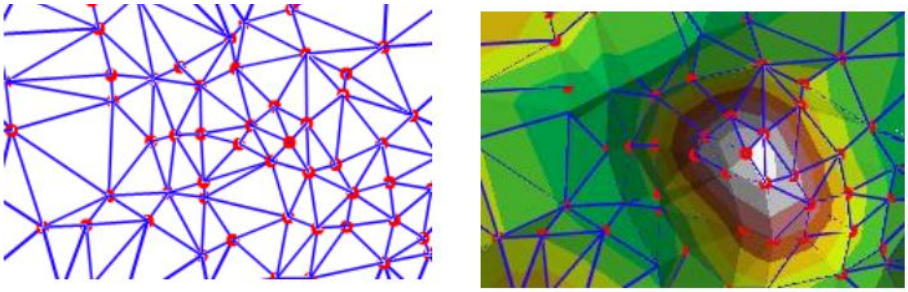
DEM (eng. *Digital Elevation Model*) model (slika 16) je rasterski tip podatka pa teren prikazuje rasterom, a često se naziva još i *gridnom* (rešetkastom) strukturom podataka. *Gridne* ćelije su obično u obliku kvadrata čiji vrhovi predstavljaju visinske točke tako da ćelija na cijeloj svojoj površini ima istu visinsku vrijednost (Grizelj Šimić, 2014). Iz tako definiranog rastera može se procijeniti nadmorska visina za bilo koju točku na površini terena. Prednosti DEM modela su što je konceptualni model rasterskih podataka jednostavan, spremanje podataka je vrlo kompaktno, a nadmorske visine podataka u rasterskom formatu su prilično dostupne. Neki od nedostataka su što kruta struktura grida nije u skladu s prirodnom promjenjivosti terena i što se izvorni podaci ne održavaju kada se interpoliraju na pravilno postavljeni grid (Grizelj Šimić, 2014).



Slika 16. Prikaz DEM modela terena (http://vro.agriculture.vic.gov.au/dpi/vro/vroimages.nsf/Images/3D_Digital_Elevation_Model/$File/digital.jpg)

TIN (eng. *Triangular Irregular Network*) model (slika 17) predstavlja mrežu točaka i karakterističnih strukturnih i lomnih linija površine terena. TIN je vektorski model koji se sastoji od triangularne nepravilne mreže točaka koje su linijama povezane u trokute. Ovaj model omogućava bolju aproksimaciju terena s naglim promjenama nadmorskih visina (Grizelj Šimić, 2014). Prednost TIN-a je što heterogene površine koje u pojedinim područjima naglo variraju, a u drugim slabije, mogu se preciznije modelirati trokutastom

površinom nego s rasterom. To je zato što se mnogo točaka može smjestiti tamo gdje je površina terena vrlo promjenjiva, a manje točaka gdje je površina manje varijabilna (Booth i Mitchell, 1999).



4.2 *Slika 17. Prikaz TIN modela terena (www.planet.botany.uwc.ac.za/NISL/GIS/spatial/images/pic003.jpg)*

4.3 PRIMJENA GIS- a U OKVIRNOJ DIREKTIVI O VODAMA

Na razini Europske unije razvoj GIS-a detaljno je specificiran, a tome svjedoče Okvirna direktiva o vodama te INSPIRE direktiva. GIS je kompatibilan s potrebama izvješćivanja, uz navođenje potrebnih GIS slojeva, vremenskog rasporeda izvješćivanja, općih aspekata kvalitete podataka, geometrije podataka i dokumentiranja podataka.

Okvirnom direktivom o vodama (eng. Water Framework Directive uspostavlja osnovna načela vodne politike, uzimajući u obzir načela održivog razvoja i načela integralnog upravljanja vodama (slika 18). Koncepti koji zagovara direktiva je integracija okolišnih ciljeva, svih vodnih resursa, upotreba vode, funkcija i vrijednosti, analiza, kombinirajući hidrologiju, hidrauliku, ekologiju, kemiju, pedologiju, procjenu opterećenja i utjecaja na vodne resurse i identifikaciju mjera i mnoge druge znanosti. Za pomoć ostvarenju navedenih koncepata neophodno je napredno korištenje GIS tehnologije kroz integraciju podataka i aplikacija u jedinstven sustav za upravljanje informacijama. Izradom planova upravljanja vodnim područjima u skladu s Okvirnom direktivom o vodama uvode se GIS i njegova primjena u hidrologiji i suvremenom vodnogospodarskom planiranju.

U vodnom gospodarstvu uvode se nove obveze kao npr. procjena opterećenja i ocjena ekološkog stanja. Upravo je GIS alat pomoću kojeg se razvijaju metode ocjenjivanja stanja

voda i upravljanje vodama na lokalnoj i nacionalnoj razini. U okviru plana upravljanja vodnim područjima vrši se izdvajanje vodnih tijela kao najmanjih jedinica za upravljanje vodama za opisivanje stanja voda, definiranje ciljeva u zaštiti voda, definiranje problema i mjera za ostvarenje postavljenih ciljeva, definiranje programa monitoringa, praćenje i izvještavanje o rezultatima provedbe. Za definiranje navedenog neizostavno je korištenje GIS tehnika za izradu različitih informacijskih slojeva poput značajki vodnih područja i vodnih tijela, kemijsko i ekološko stanje voda i sl. (Grizelj Šimić, 2014).



Slika 18. Upravljanje vodnim resursima Okvirnom direktivom o vodama (World Wide Fund For Nature, 2019)

4.4 INSPIRE DIREKTIVA I SDI

INSPIRE direktiva (eng. *Infrastructure for Spatial Information in Europe*) je direktiva kojom se uspostavlja infrastruktura za prostorne informacije u Europi za potporu politikama Zajednice za zaštitu okoliša te politike ili aktivnosti koje mogu utjecati na okoliš, a na snagu je stupila 2007. godine (European Commission, Infrastructure for spatial information in Europe, 2019). Osnovna načela INSPIRE direktive ukazuju na potrebu harmonizacije prostornih podataka na način koji omogućava:

- njihovo pohranjivanje i održavanje na najprikladnijoj razini,
- povezivanje prostornih podataka iz različitih izvora diljem Europske unije te korištenje od strane različitih korisnika i aplikacija,

- razmjenu između državnih tijela bez obzira jesu li sudjelovali u njihovom pribavljanju ili stvaranju,
- jednostavno pronalaženje raspoloživih prostornih podataka i ocjenu njihove prikladnosti za ostvarivanje ciljeva te
- uvid u uvjete korištenja.

Na INSPIRE direktivi temelji se okvir u kojem se razvija GIS. Detaljniji tehnički uvjeti za pojedina tematska područja definiraju se provedbenim propisima i tehničkim specifikacijama. U području politike voda ističu se: Vodič za implementaciju GIS elemenata u području politike voda i INSPIRE smjernice za hidrografiju (Grizelj Šimić, 2014). Vodič za implementaciju GIS elemenata u području politike voda usklađen je s INSPIRE direktivom i prilagođen razvoju europskog informacijskog sustava o vodama. U Vodiču su obrađena pitanja vezana za kvalitetu, geometrije i način pohranjivanja podataka. Također su opisane sve zahtijevane karte i povezane s GIS slojevima za izvješćivanje. GIS slojevi mogu se sistematizirati u tri glavne skupine: osnovne informacije i značajke vodnog područja, monitoring mreža i informacije o statusu površinskih i podzemnih vodnih tijela i zaštićenih područja. Posebna pažnja posvećena je modeliranju podataka zbog izrade baze podataka. Pripremljena baza podataka, zajedno s definiranim GIS slojevima, služi za pripremu svih potrebnih karata za izvješćivanje (Grizelj Šimić, 2014).

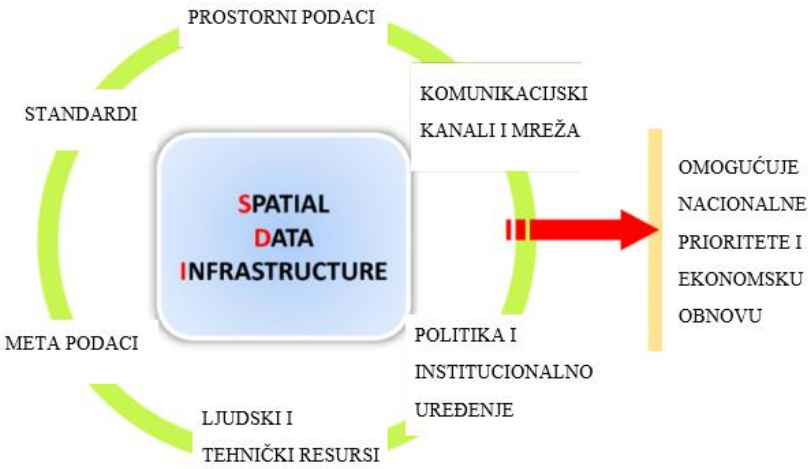
INSPIRE smjernice za hidrografiju detaljno opisuju strukturu podataka koja se koristi u hidrografiji, a služe za izradu karata, modeliranje i izvješćivanje. Hidrografska specifikacija je izrazito opsežna te je zbog toga sistematizirana u tri odvojene aplikacijske sheme temeljene na INSPIRE predlošku. To su ukupnost voda, model mreže i elementi za izvješćivanje. Aplikacijska shema ukupnosti voda koristi se za kreiranje osnovnih karata koje opisuju hidrografiju. Za potrebe izrade karata ili modeliranje podataka vrši se selekcija podataka u klase. Formiraju se sljedeće skupine objekata: vodne cjeline (hidrološka mreža sastavljena od tekućica, stajaćica, močvara i dr.), objekti koji razdvajaju vodne cjeline (morska obala, obala rijeka, jezera i dr.), priljevna područja (vodna područja/slivovi), prirodne hidrografske točke koje utječu na tečenje (slapovi, izvorišta i dr.) i sve umjetne građevine od utjecaja na vodni režim (Grizelj Šimić, 2014).

Po uzoru na Europsku uniju s obzirom na mogućnost GIS alata, podaci o hidrološkim i hidrogeološkim uvjetima vodonosnika mogli bi se detaljno i precizno obraditi te modelirati pomoću GIS-a i u Republici Hrvatskoj. Tako bi se dobio uvid u stvarno stanje vodonosnika u prirodnom okruženju, a što je prikaz realniji to se efikasnije može upravljati vodonosnicima. U Republici hrvatskoj upotreba GIS-a spominje samo u *Pravilniku o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta*. Pomoću GIS-a mogla bi se modelirati osjetljiva i ranjiva područja vodonosnika. GIS bi se mogao iskoristi u zaštiti strateških rezervi podzemne vode, kod zaštite izvorišta i zaštite vodonosnika. Modelom se može prikazati onečišćenje i putovi kretanja onečišćivala, što bi se moglo povezati s onečišćenjem iz poljoprivrede i sl. GIS bi mogao biti jedna od ključnih pomoći u nadzoru i upravljanju vodnim područjima u Republici Hrvatskoj, stoga bi se trebao uvesti u zakone i pravilnike koji se tiču zaštite voda i vodnog okoliša.

SDI

Infrastruktura prostornih podataka (*Spatial Data Infrastructure* - SDI) (slika 19) osnovalo je američko Nacionalno istraživačko vijeće, 1993. godine, radi označavanja okvira tehnologija, politika i institucionalnih aranžmana koji zajedno olakšavaju stvaranje, razmjenu i upotrebu geoprostornih podataka i srodnih informacijskih izvora preko zajednica za razmjenu informacija. Takav okvir može se koristiti za razmjenu geoprostornih informacije unutar organizacije ili se može koristiti na nacionalnoj, regionalnoj ili globalnoj razini. SDI proširuje GIS osiguravajući geoprostorne podatke, a standardi se koriste za stvaranje autoritativnih skupova podataka i politike koje to podržavaju (Esri, 2010).

Europska unija osigurava da države članice koriste zajednički napor u izgradnji SDI-a za prostorne informacije u Europi. SDI tehnologija pruža usluge i rješenja koja su u skladu s INSPIRE i zahtjevima država članica. Esri nudi bitne građevne blokove za autorstvo i upravljanje sadržajem, izdavačke usluge, otkrivanje i razmjena geoprostornih informacija, umrežavanje usluga i primjenu SDI-a koji INSPIRE direktiva predviđa. Litva i Hrvatska su dvije zemlje koje koriste SDI tehnologiju za izgradnju vlastitih SDI-ova sukladnih INSPIRE direktivi.



Slika 19. Prikaz što čini SDI (www.researchgate.net/figure/Components-Of-A-Spatial-Data-Infrastructure_fig7_306105573)

Republika Hrvatska koristi internetski višenamjenski, prostorni, informacijski Geoportal sustav (slika 20) za pojednostavljenje pristupa zemljopisnim podacima širom zemlje. Geoportal je bitna komponenta državnog projekta organiziranog zemljišta, koji pojednostavljuje i uređuje upis nekretnina u zemlji u republici. Prosječno vrijeme obrade promjena zemljišna titula pala je s 400-dnevnog prosjeka na 37 dana (Esri, 2010).



Slika 20. Sučelje Geoportal sustava (Esri, 2010)

Litvanska geografska informacijska infrastruktura (LGII) osigurava interoperabilnost skupova podataka s vladine institucije i državnih poduzeća. Nacionalni geoportal omogućuje

pristup metodološkim dokumentima poput poslovnih modela, podataka specifikacije i norme te relevantne pravne akte (Esri, 2010).

Esri je dugo razvijao tehnologiju za stvaranje rješenja koja doprinose izgradnji i pozicioniranju svjetskih geoprostornih izvora informacija za odgovornu i učinkovitu uporabu. U posljednja četiri desetljeća, automatizirano mapiranje, GIS, prostorni podaci te komunikacijske tehnologije koje je razvio Esri implementirane su u cijelom svijetu, doprinoseći značajnom globalnom prikupljanju geoprostornih informacija. Esri ArcGIS sustav GIS software-a i rješenja, pruža integriranu i otvorenu platformu za razvoj i rad SDI-a. Ova platforma može biti i dalje proširena kako bi zadovoljila specifične zahtjeve korištenjem specijaliziranih SDI rješenja. Esri software i rješenja čine SDI cjelokupnom uslugom dostupnom svakoj organizaciji (Esri, 2010).

4.5 PLANIRANJE GIS PROJEKTA

Procesu stvaranja GIS projekta prethodi određivanje cilja dotičnog projekta tako da se utvrdi koji se zadatak rješava, ustanovi postoje li alternativni načini rješavanja koristeći GIS, definira što je konačni proizvod (izvještaj, karta, prezentacija) te identificira korisnik (broj, kategorija) (Grizelj Šimić, 2014).

U GIS projektu postoje različiti zadaci koji se mogu grupirati u tri osnovna koraka. U prvom se koraku kreira baza podataka (eng. *database*), čija cjelovitost i točnost definira razinu kvalitete analiza i konačni rezultat, a uključuje:

- utvrđivanje koordinatnog sustava, obuhvata, potrebnih slojeva, značajki i pripadajućih atributa, unos prostornih podataka u bazu podataka (digitaliziranje ili konvertiranje podataka iz drugih sustava),
- omogućavanje korištenja prostornih podataka (verifikacija/kontrola upotrebljivosti podataka i kreiranje tipologije/obilježja),
- dodavanje atributnih podataka u bazu podataka (unos i povezivanje s prostornim značajkama),
- kontrola upotrebljivosti baze podataka (provjera tipologije za obuhvat, provjera točnosti lokacije svih značajki, provjera atributnih tablica, značajki i vrijednosti,

stavljanje prostornih podataka u koordinatni sustav, spremanje povezanih obuhvata u zajednički koordinatni sustav, prostorno referenciranje značajki u povezanim obuhvatima) (Grizelj Šimić, 2014).

Drugi korak podrazumijeva analizu podataka. Analiza podataka u GIS-u varira od jednostavnog mapiranja do stvaranje složenih prostornih modela.
Prostorni model uključuje primjenu jedne ili više kategorija funkcija GIS-a za neke prostorne podatke. Te funkcije su:

- funkcije geometrijskog modeliranja - izračunavanje udaljenosti, izračunavanje površina i perimetara;
- funkcije modeliranja slučajnosti - preklapanje skupova podataka na mjestima gdje se vrijednosti podudaraju;
- funkcije modeliranja susjedstva -alokacija, pronalaženje puta i preraspodjela.

Pomoću GIS-a brzo se mogu izvršiti analize koje bi bile nemoguće ili iznimno dugotrajne ukoliko bi se radile ručno. Mogu se stvoriti alternativni scenariji promjenom metoda ili ponovno pokrenuti analiza (Booth i Mitchell, 1999).

Treći korak je predstavljanje rezultata analize. U većini slučajeva, rezultate GIS analize najbolje je prikazati na karti. Osim kartom, rezultati se mogu prikazati grafikonima i izvješćima (Booth i Mitchell, 1999). Prikazani postupak je potrebno prilagoditi specifičnostima pojedinog zadatka. Konačan proizvod je izravno povezan s ciljevima kao i sa specifičnim korisnikom koji se utvrđuju na početku projekta (Grizelj Šimić, 2014).

4.6 PRIMJERI PRIMJENE GIS- a

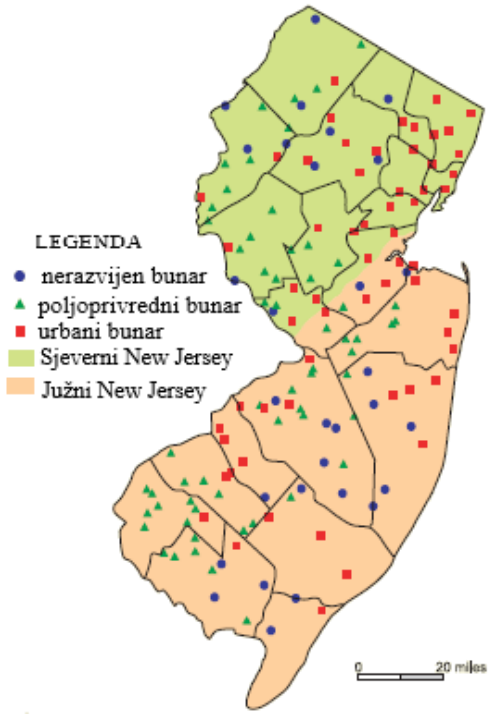
4.6.1 Primjer UK

Ujedinjeno Kraljevstvo je otočna država smještena na sjeverozapadnoj obali kontinentalne Europe, okružena Sjevernim morem, Engleskim kanalom i Atlantskim oceanom. Ujedinjeno Kraljevstvo obuhvaća države Englesku, Wales, Škotsku te Sjevernu Irsku.

Jedna od organizacija u UK za upravljanje vodama je Agencija za okoliš (eng. *Environment Agency,* EA). Agencija za zaštitu okoliša vodeće je javno tijelo za zaštitu i poboljšanje okoliša u Engleskoj i Walesu. Zadaća EA je rješavanje problema poplava, onečišćenja, smanjenje utjecaja industrije na okoliš, čišćenje rijeka, čišćenje onečišćenih zemljišta te poboljšanje staništa divljih životinja. Agencija za zaštitu okoliša izvorno je objavila prvu verziju *Groundwater Source Protection Zones - Review of Method* 1996. U narednim godinama došlo je do napretka u raspoloživim tehnikama i do korištenja Geografskog informacijskog sustava (GIS). To je povezano s povećanom dostupnosti prostornih podataka u elektroničkim formatima i razvojem nacionalne baze podataka u GIS- u za vodne resurse. Zaštitna zona izvorišta (*source protection zones*; SPZ) čini ključni dio politike Agencije za okoliš i pristup kontroli rizika podzemnih voda od potencijalnog onečišćenja i slučajnih ispuštanja onečišćujućih tvari (Carey i sur., 2009).

4.6.2 Primjer New Jersey

Monitoring mreža za praćenje kakvoće podzemne vode New Jerseyja uglavnom je usredotočena na utvrđivanje kvalitete podzemne vode kao funkciju geologije u cijeloj državi. Ciljevi nedavno završenog redizajna monitoring mreže su odrediti stanje i trendove kakvoće plitke podzemne vode. Većina plitkih bunara koja je korištena, napravljena je od strane New Jersey *Geological Survey* (NJGS) kako bi se ispunili ciljevi iz redizajnirane mreže. Monitoring mreža (slika 21) sastoji se od 150 bunara koje se uzorkuju 30 puta godišnje u petogodišnjem ciklusu. Kemijski i fizikalni parametri analizirani iz svake bušotine uključuju: pH, specifičnu provodljivost, otopljeni kisik, temperaturu vode, alkalnost, glavne ione i elemente u tragovima (metali), aktivnost čestica radionuklida, isparljive organske spojeve, hranjive tvari i pesticide. Kakvoća podzemne vode, kao i punjenje podzemnih voda, prati se pomoću GIS- a, koji pokriva 20 vodnih gospodarstava. Punjenje podzemne vode odnosi se na vodu koja se infiltrira u tlo i stigne do vodonosnika. Područja punjenja vodonosnika prate se preklapanjem tri sloja: tlo, kategorija korištenja zemljišta i općine. Ti se podaci koriste za izračun vrijednosti punjenja, a određuju se faktor i konstanta punjenja unakrsnim tabelama korištenja i pokrivanja zemljišta i nizova tla (Ground Water Protection Council, 2007).

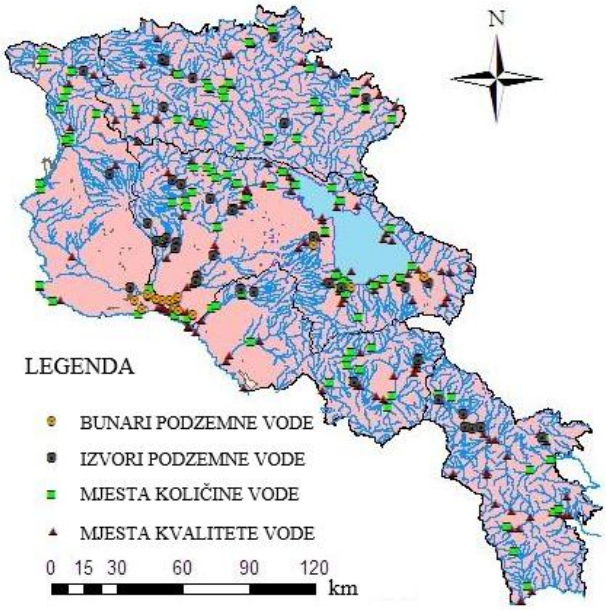


Slika 21. Lokacije bunara za opažačku mrežu podzemne vode New Jerseyja (Ground Water Protection Council, 2007)

4.6.3 Primjer Armenija

Republika Armenija je država na južnom Kavkazu. Zbog visokog reljefa, Armenija na svom teritoriju ima znatne resurse slatkih podzemnih voda. Zakon o nacionalnom programu za vode iz Republike Armenije od 2006. godine zahtijeva uspostavljanje programa monitoringa podzemnih voda u roku od četiri godine nakon usvajanja zakona, kao jedne od prioritetnih mjera. Prema ovom zakonu provest će ga Ministarstvo zaštite prirode koje je odgovorno tijelo za uspostavu i rad nacionalne referentne mreže (slika 22) za praćenje vodnih resursa. Nadzorna mreža obuhvaća oko 100 točaka za monitoring podzemnih voda. Takva mreža će uspostaviti osnovnu (referentnu) situaciju kako bi se omogućilo utvrđivanje trendova uzrokovanih ljudskim ili prirodnim utjecajima. Uz potporu Američke agencije za međunarodnu suradnju vodnog programa, procjena stanja prethodno korištenih točaka za monitoring podzemne vode provedena je u veljači 2006. godine. Za obnovu i ponovno uspostavljanje nacionalne referentne mreže, preporučene su 73 točke nadzora, koje čine 49 prirodnih izvora, 22 bunara (bušotina) i 2 bunara podzemne vode. Šezdeset devet od 73

odabrana izvora i bunara sanirana su uz potporu Američke agencije za međunarodnu suradnju vodnog programa (Tonoyan, 2011).

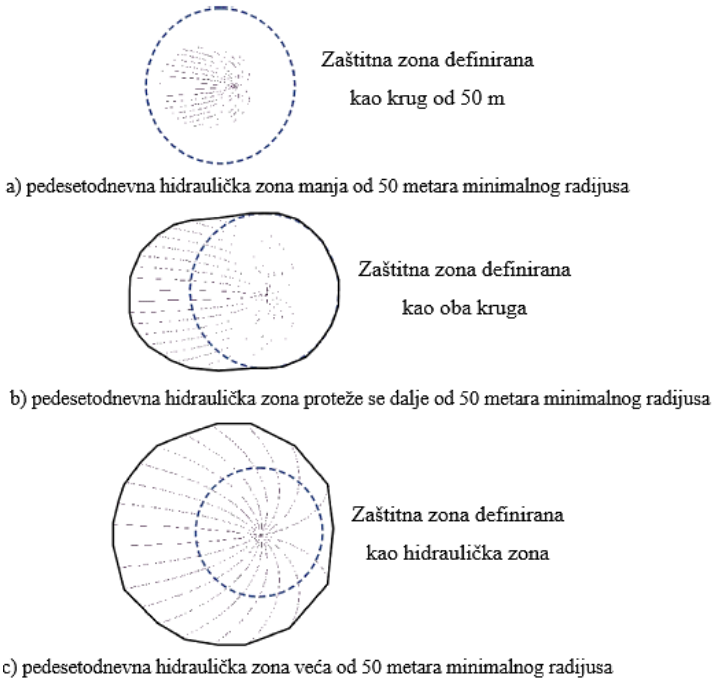


Slika 22. Mreža za nadgledanje količine i kvalitete podzemne vode (Tonoyan, 2011)

Zona zaštite izvora

SPZ1 je unutarnja zaštitna zona definirana vremenom putovanja od 50 dana od bilo koje točke ispod razine vode do izvora ili polumjera najmanje 50 metara od izvora (slika 23). Nalazi se u neposrednoj blizini bunara. SZP1 namijenjena je zaštiti od brzog prijenosa razgradivih otrovnih kemikalija i nekih bolesti koje se prenose vodom. Politika zaštite podzemnih voda Agencije za okoliš određuje najteže kontrole ljudske aktivnosti u ovoj zoni. SPZ2 je vanjska zona zaštite definirana se kao vrijeme putovanja od 400 dana s minimalnim radijusom od 250- 500 metara.

SPZ3 je zona zaštite izvora sliva definirana kao područje potrebno za potporu zaštićenom prinosu iz podzemnih voda koje se dugoročno prihranjuju. Prve dvije zone temelje se na vremenu putovanja potencijalnih onečišćivala kroz zasićene zone, dok SPZ3 predstavlja područje prihranjivanja vodonosnika (Carey i sur., 2009).



Slika 23. Izmjene hidrauličkih zona u skladu s minimalnim kriterijima udaljenosti (Carey i sur., 2009)

Za razvoj konceptualnog modela zaštite izvorišta važna je priprema planova, konturnih karata, presjeka i dijagrama. To često naglašava nedostatke podataka i nedosljednosti te daje metodu provjere da li pretpostavke postojećih podataka imaju smisla. Vodič za dobru praksu razvoja konceptualnih modela je odabir i primjena matematičkih modela transportnih procesa onečišćujućih tvari u podzemne vode i modeliranje resursa podzemnih voda. Konceptualni model treba uključivati: tekstualni opis; dijagrame protoka i transporta podzemnih voda, integriranu kartu podataka (koja sadržava razine podzemne vode za glavne vodonosne sustave; zahvaćanja i ispuštanja površinskih i podzemnih voda; smjer toka podzemne vode; pojedinosti izvornih bušotina…) i dr. (Carey i sur., 2009).

Prijenos podataka u GIS

Bilo da se radi o modeliranju, praćenju čestica ili analitičkom izračunu, podatke je potrebno prenijeti u GIS sustav. Prijenos podataka u GIS omogućuje:

- daljnje izmjene u granicama zona kao dio konačnog SPZ-a;
- pohranjivanje informacija u standardiziranom obliku i

- jednostavnost objave SPZ-a.

Konačna definicija SPZ- a

Prijelaz s izračuna na definiciju konačnih SPZ-a važan je korak. Izračunato područja treba pažljivo ispitati, a konceptualni model i skupovi prostornih podataka ponovno se razmatraju zbog potencijalne izmjene zone prije donošenja konačne definicije SPZ-a.
Razlozi za izmjenu izračunatih područja prilikom konačnog definiranja SPZ- a uključuju:

- izmjene kako bi se osiguralo da SPZ1 (unutarnja) i SPZ2 (vanjska) zadovoljavaju minimalni kriterij naveden u njihovim definicijama;
- podešavanje granica hidrauličkih zona zahvata gdje su dostupni dodatni geološki i / ili hidrogeološki podaci (npr. geološke granice, rezultati testova praćenja, itd.);
- praktične promjene (npr. uklanjanje preklapanja nakon ponovnog izračuna jednog izvora) ili, ako je potrebno proširenje, kako bi obuhvatilo svo područje između dvije zone.

Ispitivanje izračunatih područja i usporedba s drugim skupovima prostornih podataka najlakše je dovršiti u GIS-u. Stoga se preporučuje sve prilagodbe za konačno donošenje zaštitne zone izvorišta izraditi u GIS- u. Agencija za zaštitu okoliša razvila je GIS alate za pomoć u procesu prilagodbe i dokumentiranja (Carey i sur., 2009).

5 ZAKLJUČAK

Voda je osnovni resurs za ljudski život, a kako raste svijest čovječanstva o važnosti očuvanja pitke vode, sve se više razvija zaštita vodnih resursa i izvorišta. Republika Hrvatska jedna je od rijetkih zemalja koja ima značajne rezerve podzemne vode i izvorišta s dobrom prirodnom kakvoćom.

U svrhe očuvanja prirodnih vodnih resursa sve se češće primjenjuje upotreba Geografskog informacijskog sustava (GIS). Također, uz pomoć GIS-a određuju se zone sanitarne zaštite te izrađuju karte prirodne i specifične ranjivosti. GIS alatom se prikupljaju i organiziraju podaci, rade prostorne analize, preklapaju podloge i izrađuju prostorna modeliranja. Korištenje modela simulacije i upravljanja podacima daje bolji uvid u stvarnost, stoga GIS postaje primarna tehnologija za pružanje temelja za razvoj modela podzemnih voda i zaštitu izvorišta.

Za mapiranje ranjivosti postoje brojne korisne metode u svijetu. U ovom radu opisane su SINTACS, EPIK, PI, COP, VULK i Time-Input metode. Navedena je zaštita izvorišta i vodnih resursa u Republici Hrvatskoj i Europskoj Uniji. Na razini EU osnovana je Okvirna direktiva o vodama i INSPIRE direktiva te obje za zaštitu vodnih resursa napominju korištenje GIS tehnologije. Prema tome obje direktive su dobra smjernica za učestaliju i bolju primjenu GIS tehnologije za zaštitu voda u Republici Hrvatskoj.

U Republici Hrvatskoj upotreba GIS- a za zaštitu voda i vodnog okoliša nije dovoljno razvijena. Smatram da bi se GIS zakonski trebao ozbiljnije uzeti u obzir te da bi ga trebalo uvrstiti pod obavezan sustav za obradu podataka i modeliranje. Tako bi se vjernije pratile promjene u vodonosnicima te opasnosti od potencijalnog onečišćenja.

6 LITERATURA

Bačani, A. (2006). *Hidrogeologija I.* Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet, str. 51

Bačani, A.; Posavec, K. (2014). *Elaborat o zonama zaštite izvorišta Grada Zagreba.* Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko-naftni fakultet Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

Biondić B.; Biondić, R. (2014). *Hidrogeologija Dinarskog krša u Hrvatskoj*. Sveučilišni udžbenik. Varaždin: Sveučilište u Zagrebu Geotehnički fakultet. Str. 341.

Biondić, R. (2010). *Uvod u GIS.* Skripta iz predmeta geografski informacijski sustav. Varaždin: Sveučilište u Zagrebu Geotehnički fakultet. Str. 1.

Booth, B.; Mitchell, A. (1999). *Getting Started with ArcGIS.* USA: ESRI. Str. 47- 70.

Carey, M.; Hayes, P.; Renner, A. (2009). *Groundwater Source Protection Zones- Review of Methods.* Environment Agency UK

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). Str. 226.

Doerfliger N; Jeannin P.Y.; Zwahlen F. (1999). *Water vulnerabiliy assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multiattribute approach and GIS tools (EPIK method)*. Environmental Geology 39 (2). Str. 165-176.

European Commission, Infrastructure for spatial information in Europe. (2019). *INSPIRE Directive.* [Online]. Dostupno na: https://inspire.ec.europa.eu/inspire-directive/2 [11.07.2019.]

Esri. (2010). *Spatial Data Infrastructure.* [Online]. Dostupno na: https://www.esri.com/library/brochures/pdfs/spatial-data-infrastructure.pdf [15.08.07.2019.]

Fetter, C.W. (2018). *Applied Hydrogeology*. University of Wisconsin- Oshkosh

Fetter, C.W. (2001). *Geology of Groundwater Occurrence*. [Online]. Dostupno na: https://slideplayer.com/slide/14625864/ [03.07.2019.]

Goldscheider, N. (2005). *Karst graundwater vulnerability mapping: application of a new method in the Swabian Alb, Germany*. Hydrogeology Journal 13. Str. 555-564.

Grad Zagreb službene stranice. (2019). *Poljoprivredna proizvodnja na vodozaštitnim područjima.* [Online]. Dostupno na: https://www.zagreb.hr/poljoprivredna-proizvodnja-na-vodozastitnim-podruc/4967 [10.07.2019.]

Grizelj Šimić, V. (2014). *GIS i njegova primjena u hidrologiji i suvremenom vodnogospodarskom planiranju*. Hrvatske vode. Str. 119-125.

Ground Water Protection Council. (2007). *Ground Water Report to the Nation: A Call to Action.*

Gupti, R.S. (1989). *Shema klasifikacije akvifera.* [Online]. Dostupno na: http://www.voda.ba/uimages/Ferid%20Skopljak,%20Hazim%20Hrvatovic%20ZR.pdf 02.09.2019]Hrvatski sabor. (2009). *Strategija upravljanja vodama*. Hrvatske vode, Zagreb

OKVIRNA DIREKTIVA O VODAMA (ODV) 2000/60/EC (2000): Water Framework Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy

Hrvatske vode. (2016). *Plan upravljanja vodnim područjima 2016- 2021.*

Johnson, L. E. (2009). *GIS in water resources engineering*. Taylor & Francis Group, LLC.

Loborec, J.; Đurin, B. (2016). Primjena višekriterijske analize u svrhu odabira optimalne metode procjene prirodne ranjivosti krških vodonosnika. *Hrvatske vode.* Str. 193- 197.

Meaški, H. (2018): Materijali s predavanja iz kolegija *Zaštita podzemnih voda* u ak. godini 2018./ 2019. Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Varaždin.

Nakić, Z. (2007). *Zakonska regulativa na području zaštite izvora i zaliha pitke vode u RH*. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, ZagrebNarodne novine 66/11 (2011). *Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta.*

Narodne novine 66/11 (2011). *Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta.*

Narodne novine 47/13 (2013). *Pravilnik o izmjenama Pravilnika o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta.*

Narodne novine 66/19 (2019): *Zakon o vodama*

Pollak, Z. (1995). *Hidrogeologija za građevinare*. Zagreb: "Poslovna knjiga"; Građevinski fakultet sveučilišta u Zagrebu; Osijek: građevinski fakultet sveučilišta u Osijeku. Str. 216.

Robinson, C.A.; Werwer A.; El-Baz F.; El-Shazly, M.; Fritch, T.; Kusky, T. (2006). *The Nubian Aquifer in Southwest Egypt.* Hydrogeology Journal 15. Str. 33–45.

Samokovlija Dragičević, J. (2007). *Rezerve i kakvoća podzemnih voda u Hrvatskoj*. Građevinar 59. Str. 925-926.

Tonoyan, V. (2011). *Armenia Country Report.* European Environment Agency

USGS Groundwater Information (2016). *Upper carbonate aquifer (Minnesota and Iowa).* [Online]. Dostupno na: https://pubs.usgs.gov/ha/ha730/ch_j/J-text7.html [04.07.2019.]

Using GIS for assessing, monitoring and protecting the river basins and ground water resources of Armenia. [Online] Dostupno na: https://www.unisdr.org/2003/campaign/english/Others/Armenia3.doc [01.09.2019.]

U.S. Government Accountability Office. (2012). *Geospatial Information* [Online]. Dostupno na: https://www.gao.gov/assets/660/650293.pdf [08.07.2019.]

Vías, J.M; Andreo, B; Perles, M.J; Carrasco, F; Vadillo, I. i Jiménez, P. (2006). *Proposed method for groundwater vulnerability mapping in carbonate (karstic) aquifers: the COP method*. Hydrogeology Journal, 14, 912-925

Zwahlen, F. (2004). *COST Action 620 Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers.* Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. Str. 5-158.

World Wide Fund For Nature. (2019). *Fighting to protect water.* [Online]. Dostupno na: http://www.wwf.eu/what_we_do/water/ [28.07.2019.]

POPIS SLIKA

Slika 1. Tipovi vodonosnika 3
Slika 2. Profil preko doline Dayton (Ohio, SAD) 4
Slika 3. Vodonosnik Nubijski pješčenjak (Nubian Sandstone Aquifer System) 5
Slika 4. Gornji karbonatni vodonosnik (Minnesota, Iowa) 5
Slika 5. Crnomorski i jadranski sliv u RH 6
Slika 6. Strateške rezerve podzemnih voda 9
Slika 7. Zone sanitarne zaštite izvorišta vode namijenjene ljudskoj potrošnji 11
Slika 8. Preklapanje tehnologijskih i tradicionalnih disciplina 12
Slika 9. Preklapanje slojeva u GIS- u 13
Slika 10. Granice zona sanitarne zaštite izvorišta grada Zagreba 16
Slika 11. Karte ranjivosti dobivene primjenom metoda SINTACS, EPIK, PI i COP 17
Slika 12. Metodologija preslikavanja vremena prijenosa VULK metodom 20
Slika 13. Simulirane trase za visoke vode 23
Slika 14. Simulirane trase za niske vode 23
Slika 15. Horizontalna diskretizacija modela zagrebačkog vodonosnika 24
Slika 16. Prikaz DEM modela terena 26
Slika 17. Prikaz TIN modela terena 27
Slika 18. Upravljanje vodnim resursima Okvirnom direktivom o vodama 28
Slika 19. Prikaz što čini SDI 31
Slika 20. Sučelje Geoportal sustava (Esri, 2010) 31
Slika 21. Lokacije bunara za opažačku mrežu podzemne vode New Jerseyja 35
Slika 22. Mreža za nadgledanje količine i kvalitete podzemne vode 36
Slika 23. Izmjene hidrauličkih zona u skladu s minimalnim kriterijima udaljenosti 37