Izrada pojednostavljenog hidrogeološkog modela Varaždinskog vodonosnika upotrebom GIS-a

Labaš, Tomislav

Master's thesis / Diplomski rad

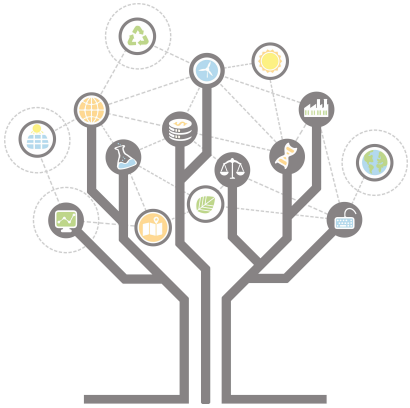
2019

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:130:456573

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



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

TOMISLAV LABAŠ

IZRADA POJEDNOSTAVLJENOG HIDROGEOLOŠKOG MODELA VARAŽDINSKOG VODONOSNIKA UPOTREBOM GIS-a

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

IZRADA POJEDNOSTAVLJENOG HIDROGEOLOŠKOG MODELA VARAŽDINSKOG VODONOSNIKA UPOTREBOM GIS-a

KANDIDAT:
Tomislav Labaš

MENTOR:
Izv. prof. dr. sc. Hrvoje Meaški

KOMENTOR:
Doc. dr. sc. Jelena Loborec

VARAŽDIN, 2019.

Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik: TOMISLAV LABAŠ

Matični broj: 199 - 2017./2018.

Smjer: UPRAVLJANJE OKOLIŠEM

NASLOV DIPLOMSKOG RADA:

IZRADA POJEDNOSTAVLJENOG HIDROGEOLOŠKOG MODELA VARAŽDINSKOG VODONOSNIKA UPOTREBOM GIS-a

Rad treba sadržati:
1. Uvod
2. Osnovne značajkę Varaždinskog vodonosnika
3. Geografski informacijski sustav (GIS)
4. Mogućnosti primjene GIS-a u prikazu modela
5. Izrada modela Varaždinskog vodonosnika
6. Zaključak
7. Literatura

Popis slika

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

Zadatak zadan: 12.06.2019. Rok predaje: 02.12.2019.

Mentor:	Drugi mentor/komentor:	Predsjednik Odbora za nastavu:
Izv.prof.dr.sc. Hrvoje Meaški	Doc.dr.sc. Jelena Loboreo	Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

REPUBLIKA HRVATSKA
GEOTEHNIČKI FAKULTET
VARAŽDIN
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom

Izrada pojednostavljenog hidrogeološkog modela varaždinskog vodonosnika upotrebom GIS-a,

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 i komentorstvom 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, 16. prosinca 2019.

Tomislav Labaš



(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK

Ime i prezime: Tomislav Labaš

Naslov rada: Izrada pojednostavljenog hidrogeološkog modela varaždinskog vodonosnika upotrebom GIS-a

Sažetak rada:

Podzemna voda kao glavni resurs te njezina kvaliteta i kakvoća, prema Strategiji prostornog uređenja Države od strateške je važnosti za širu regiju sjeverozapadne Hrvatske. Varaždinska županija jedna je od rijetkih u Republici Hrvatskoj s bogatim i izdašnim količinama pitke vode iz podzemlja, odnosno varaždinskog vodonosnika. Varaždinski vodonosnik je izgrađen od šljunaka i pijeska kvartarne starosti i nalazi se u tzv. Varaždinskoj depresiji. Geografski informacijski sustav (GIS) je danas neizbježan alat u izradi hidrogeoloških modela i u ostalim istraživanjima povezanim s vodnim resursima. GIS kao moćan okvir prikuplja i organizira podatke, prostornim analizama povezuje i kombinira slojeve te na kraju kao rezultat formira kartografski prikaz i model vodonosnika. Mogućnosti GIS-a u pogledu izrade modela su raznovrsne, od praćenja stanja razine podzemnih voda, kretanja onečišćivala, izdašnosti izvora, do izrade raznih karata ranjivosti, rizika i opasnosti od poplava, karata vodoopskrbnog sustava, itd. Izradom modela varaždinskog vodonosnika dobivamo bolji uvid u stanje podzemnih voda, način na koji ih možemo zaštiti od vanjskih utjecaja te kako najracionalnije iskorištavati taj neprocjenjiv resurs. Bez GIS tehnologije bilo bi jako teško vizualizirati procese koji se zbivaju ispod Zemljine površine, stoga je potrebno razvijati tu tehnologiju i implementirati različite modele i metode kako bi GIS mogli koristiti što učinkovitije.

Ključne riječi: *Varaždinski vodonosnik, GIS, podzemne vode, hidrogeološki model*

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. OSNOVNE ZNAČAJKE VARAŽDINSKOG VODONOSNIKA 2
2.1. Geološke značajke varaždinskog vodonosnika 3
2.2. Hidrogeološke značajke varaždinskog vodonosnika 5
3. GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SUSTAV (GIS) 7
3.1. Osnovno o GIS-u 7
3.2. Svrha i primjena GIS-a 8
3.3. Funkcioniranje GIS-a 9
3.4. Metode prikupljanja podataka 12
3.5. Kreiranje GIS projekta 13
3.6. Spatial Data Infrastructure (SDI) 16
4. MOGUĆNOSTI PRIMJENE GIS-a U PRIKAZU MODELA 18
4.1. GIS u upravljanju poplavnim rizicima 18
4.2. GIS u održavanju kanalizacijskog sustava 21
4.3. GIS u određivanju zona sanitarne zaštite 23
5. IZRADA MODELA VARAŽDINSKOG VODONOSNIKA 25
5.1. Potrebne podloge za izradu modela vodonosnika 25
5.2. Izrada modela varaždinskog vodonosnika 26
5.3. Korisnički GIS projekt 36
6. ZAKLJUČAK 40
7. LITERATURA 41
POPIS SLIKA .....

1. UVOD

Voda za piće jedan je od najvažnijih resursa čovječanstva. Mnoge se zajednice sve više oslanjaju na podzemne vode kao glavni izvor pitke vode. Danas su resursi podzemnih voda, koje su vrlo važna komponenta hidrološkog ciklusa, ugroženi zbog povećane potražnje, nedovoljno učinkovite uporabe, prodora slane vode i onečišćenja. Stoga resursi podzemnih voda zahtijevaju učinkovito upravljanje podzemnim vodama radi postizanja dobrog kvantitativnog i kvalitativnog stanja.

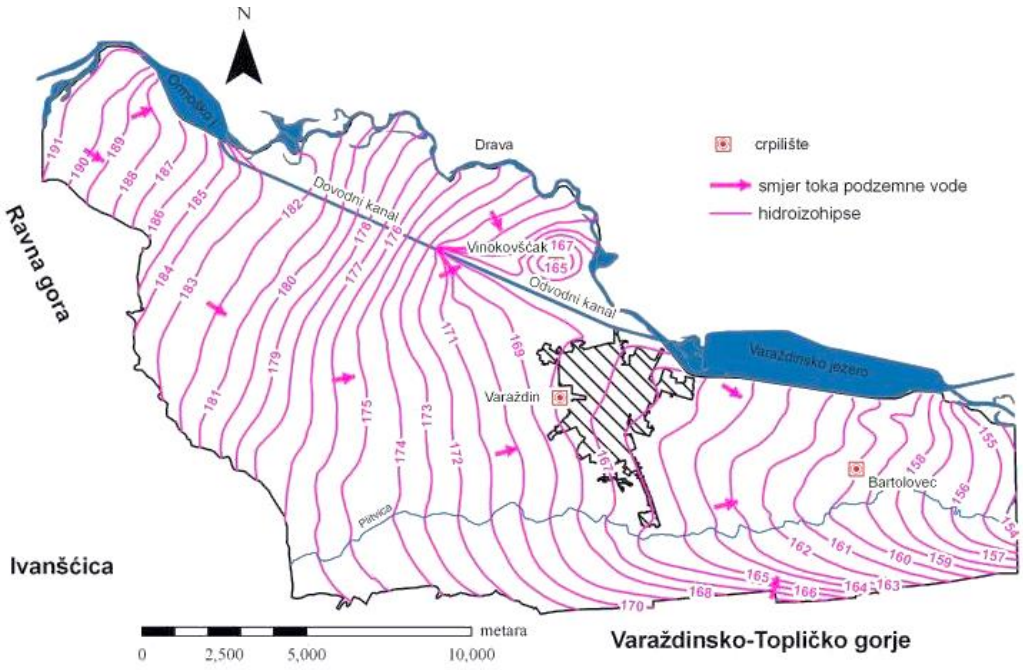
U sjeverozapadnoj Hrvatskoj, točnije u Varaždinskoj županiji, najveći postotak pitke vode dolazi od podzemnih voda. Kako bi bolje razumjeli fenomen podzemnih voda i vodonosnika, u ovome radu je prikazan opis varaždinskog vodonosnika upotrebom GIS-a (geografskog informacijskog sustava), tehnologije pomoću koje je napravljen trodimenzionalni hidrogeološki model vodonosnika. Dodatno su prikazani i neki primjeri korištenja GIS-a u izradi modela u hidrogeologiji, odnosno u upravljanju vodnim resursima.

Gotovo svi podaci kojima se svakodnevno služimo imaju prostornu komponentu. Promatranje, pohrana, upravljanje, manipulacija, analiza te prikaz podataka s prostornom komponentom zadaci su GIS-a. Pomoću GIS-a se mogu objasniti i vizualizirati prostorne povezanosti i preklapanja, mogu se obrađivati, transformirati i analizirati te prezentirati na kartama. Također se mogu razviti i prostorni scenariji, procjenjivati međudjelovanja te modeliranjem doći do optimalnog rješenja. Važne značajke GIS-a su višedimenzionalnost i interdisciplinarnost, koje u kombinaciji s grafičkim sposobnostima omogućavaju sintetiziranje i kombiniranje informacija koje pripadaju istim ili komplementarnim područjima u vremenu i prostoru (ISEPEI 2017). Te značajke su doprinijele širenju primjene GIS-a i stalnom porastu broja korisnika, od istraživačkih instituta, državnih institucija, organizacija i agencija, pa sve do privatnih tvrtki i drugih korisnika. GIS se primjenjuje u gotovo svim granama ljudskog djelovanja i znanosti za sagledavanje prirodnih i društvenih pojava.

Kao osnova suvremenog vodnogospodarskog planiranja GIS tehnologija je danas naišla na široku primjenu, naročito u hidrogeološkim modeliranjima pri rješavanju problema visokog stupnja složenosti.

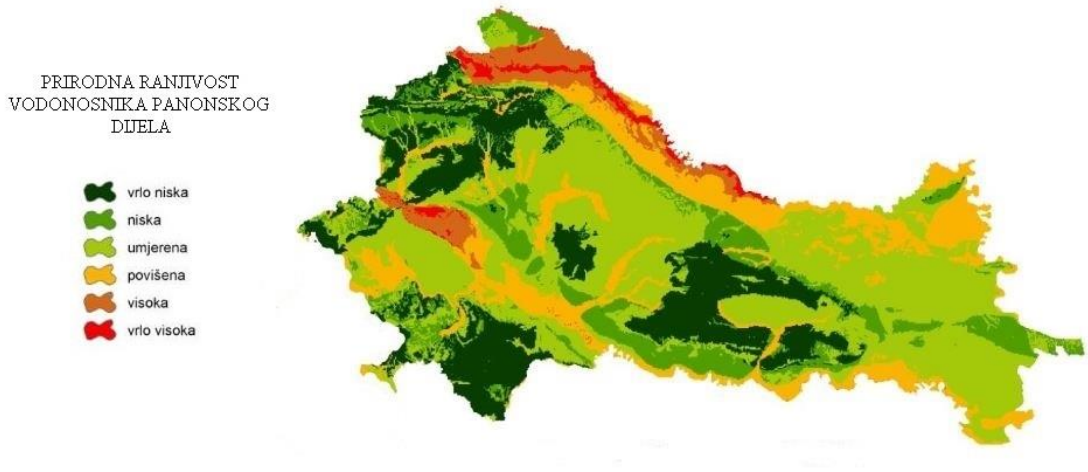
2. OSNOVNE ZNAČAJKE VARAŽDINSKOG VODONOSNIKA

Varaždinski vodonosnik (Slika 1) nalazi se u nizinskom području u tzv. Varaždinskoj depresiji. Predstavlja rubni dio vodonosnog sustava dravske doline u kojem je prirodni režim podzemnih voda narušen eksploatacijom podzemnih voda za vodoopskrbu te izgradnjom protočnih hidroenergetskih postrojenja (Hlevnjak i sur. 2015). Sa sjevera je omeđen brežuljcima gornjeg Međimurja, sa zapada Viničkim gorjem, a na jugu sjevernim obroncima Varaždinsko-topličkog gorja i Kalnika. Osim nizinskog područja dravske doline, brdski predjeli planine Ivanščice i Ravne Gore također čine značajan resurs pitke vode koja je sadržana u karbonatnim masivima. Na Ivanščici, koja se sastoji od kvartarnih stijena sekundarne pukotinske poroznosti, nalaze se kaptirani izvori Bistrica, Beli Zdenci, Žgano vino i Šumi . No, za vodoopskrbu Županije većim dijelom se koristi podzemna voda dravske doline i to iz pet crpilišta koji se nalaze na području Varaždinske i Međimurske županije. Na varaždinskom području su tri crpilišta: Varaždin, Bartolovec i Vinokovščak, a na međimurskom dva: Nedelišće i Prelog (Varaždinska županija 2014).



Slika 1. Varaždinski vodonosnik s crpilištima Varaždin, Bartolovec i Vinokovščak (Brkić i sur. 2012)

Količinski gledano, zalihe vode zadovoljavaju trenutne i buduće potrebe stanovništva u Varaždinskoj županiji. Podzemne vode koje se koriste za vodoopskrbu u nizinskom području više su izložene prodoru onečišćenja s površine nego one u planinskom dijelu Ivanščice te nisu svugdje jednake i zadovoljavajuće kvalitete (Varaždinska županija 2014). Varaždinsko područje gotovo se u cijelosti nalazi u kategoriji vrlo visoke i visoke ranjivosti, odnosno 94 % izloženosti (Slika 2). Visoka izloženost je karakteristična za aluvijalne vodonosnike vrlo dobrih hidrauličkih svojstava gdje je mala dubina do podzemne vode te slaba zaštitna funkcija nesaturirane zone i tla. Mogućnost infiltracije i širenja onečišćivala kroz ovakve vodonosnike je veoma visoka (Hrvatske vode 2016). Prema tome, potrebno je osigurati maksimalnu zaštitu podzemnih voda od mogućih onečišćenja, odnosno od utjecaja urbanizacije i poljoprivrede.



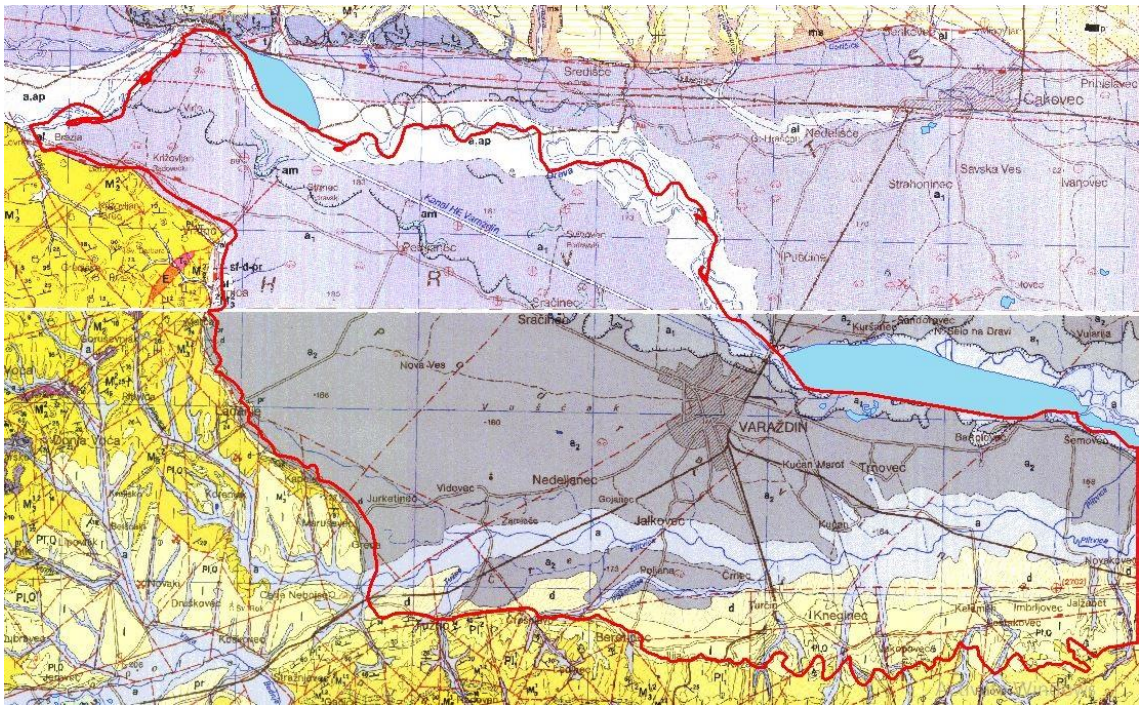
Slika 2. Karta prirodne ranjivosti vodonosnika panonskog dijela (vodnog područja rijeke Dunav) (Hrvatske vode 2016)

2.1. Geološke značajke varaždinskog vodonosnika

Varaždinski vodonosnik izgrađen je od šljunka i pijesaka kvartarne starosti (Slika 3). Najstarije naslage na površini nalaze se oko Vinice i Voće, u južnom Prigorju. Radi se o pješčenjacima, šejlovima, laporima, vapnencima, dolomitima i dolomitnim brečama mezozojsko-trijaske starosti. Transgresivne naslage miocenske starosti taložene su izravno na njima, a radi se pretežito o konglomeratima, pješčenjacima, vapnencima, laporima, laporovitim vapnencima, a na nekim mjestima i tufovima i vulkanskim brečama (Šimunić i sur. 1982, 1982a). Paralelno slijede naslage pontske starosti, dok su

u dubljim intervalima taloženi lapori s proslojcima pješčenjaka i pijeska, a u plićim pijesci i pješčenjaci te leće pijesaka, glina i šljunaka (Urumović i sur. 1990).

Varaždinski vodonosnik najmanju debljinu ima između Križovljana i Ormoža – od 5 m uz sjeverni rubni rasjed (kod Ormoškog mosta) do preko 15 m prema jugu uz južni rub. Debljina postupno raste prema istoku te se kod Svibovca (HE Varaždin) kreće oko 30 m, dok je kod Nedelišća i sjeverozapadno od Varaždina oko 40, odnosno 60 m. Jugoistočno od HE Čakovec debljina naslaga iznosi 112 m, a južno od Preloga 150 m, dok se nizvodno od Svete Marije (HE Dubrava) smanjuje na 60 m. Smanjenje debljine se nastavlja kod Legradskog praga gdje iznosi 50 m, uz sjeverni rub današnjeg korita kod Legrada 14 m i kod Đelekovca 12 m (Bačani 2008).



Slika 3. Geološka karta varaždinskog vodonosnika (listovi OGK Varaždin i Čakovec u mjerilu 1:100 000) (Šimunić i sur. 1982, 1982a)

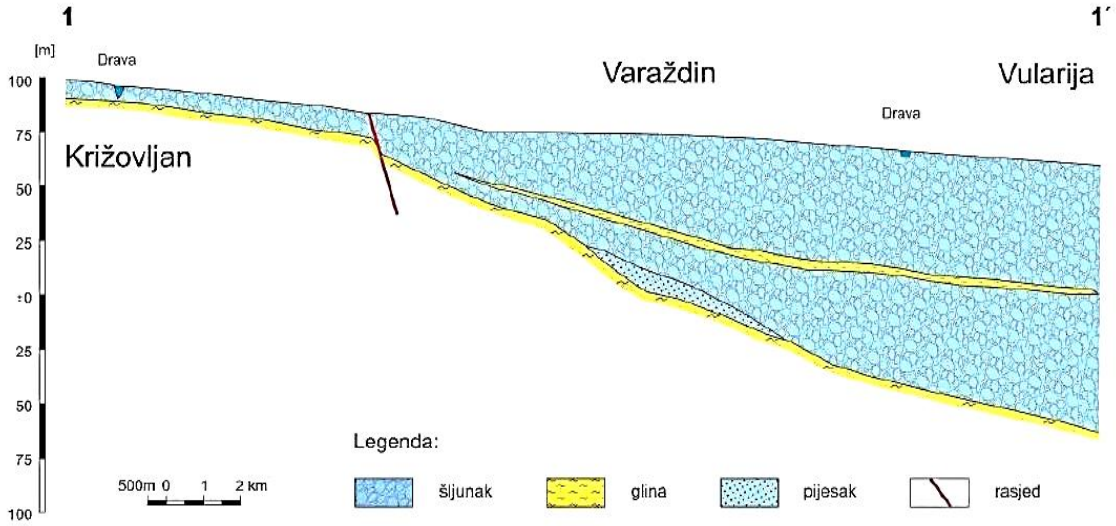
Granulometrijskim sastavom vodonosnika dominiraju valutice šljunka s različitim postotkom pijeska. Od zapada prema istoku u prosjeku se postupno smanjuje veličina zrna, a raste njihova sortiranost. U zapadnom dijelu vodonosnika promjer zrna je najveći i iznosi oko 80 mm dok je u Varaždinu uglavnom oko 30 mm. Na većem dijelu područja profila vodonosnika pojavljuje se proslojak praha, gline, prašinastog pijeska i na mjestima treseta koji dijeli vodonosnik u dva sloja, na gornji i donji vodonosnik. Taj proslojak je najdublji kod crpilišta Bartolovec i to na dubini od oko 52 m, zatim kod

Varaždina oko 40 m i kod Vinokovščaka oko 25 m dubine (Urumović i sur. 1990). Taloženjem praha, gline i prašinastog pijeska koji predstavljaju krovinu vodonosnika završava ciklus sedimentacije. Debljina krovine vodonosnika je uglavnom manja od 0,5 m i ne premašuje 5 m. Izuzetak su jugoistočni rubni predjeli u kojima debljina prelazi i 10 m. Kod izostanka krovine u tankom humusu se pojavljuju valutice šljunka.

Geotektonski gledajući, Varaždinski vodonosnik spada u Mursku potolinu koja pripada zapadnom rubnom dijelu Panonskog bazena. Granicu prema Dravskoj potolini čini Legradski prag kao nastavak Kalnika. Varaždinska depresija i Međimurske gorice (antiklinorij) su dvije tektonske jedinice koje čine Mursku potolinu. Smjer pružanja Varaždinske depresije ima alpski pravac, odnosno istok-zapad. Sjevernu granicu depresije čini Čakovečki rasjed, istočnu Kalnik-Legradski prag, zapadnu antiklinala Ravne Gore i Ormoško-Selnička antiklinala (Ormoški prag), a južnu rubni rasjed Murske potoline (Urumović i sur. 1990).

2.2. Hidrogeološke značajke varaždinskog vodonosnika

Najznačajnija hidrogeološka značajka varaždinskog vodonosnika je visoka hidraulička vodljivost šljunaka te povećanje debljine naslaga od zapada prema istoku (Urumović i sur. 1990). Sustav varaždinskog vodonosnika čine dva vodonosna sloja između kojih se nalazi slabopropusni međusloj od gline i praha (Slika 4).



Slika 4. Shematski uzdužni litološki profili duž varaždinskog vodonosnika trasom Križovljan – Varaždin – Vularija, trasa profila 1 – 1´ (Hlevnjak i sur. 2015)

Krovina vodonosnog sustava se sastoji od humusa i prašinasto-glinovito-pjeskovite naslage, tzv. sprud. Na području crpilišta Bartolovec krovina se kreće od 0,3 do 2,0 m, na području crpilišta Varaždin od 0,0 do 1,6 m, a od 0,0 do 2,0 m na području crpilišta Vinokovščak (Bačani 2008). Podinu vodonosnog sustava čine glina, prah i lapor.

U prvom (gornjem) vodonosnom sloju prevladavaju šljunkovito-pjeskovite naslage koje se na području crpilišta Vinokovščak protežu do dubine od 27 m. Dva kilometra zapadno od crpilišta sloj se proteže do dubine od 20 m, a prema jugoistoku na preko 32 m dubine. Na području crpilišta Varaždin sloj ide do dubine od 42 m, a prema zapadu opet istanjuje i to na području Nove Vesi Petrijanečke do 18,3 m te kod Šijanca do 19,7 m dubine (Bačani 2008). Kod crpilišta Bartolovec sloj ide do 52 m dubine. Na temelju podataka pokusnog crpljenja na području Bartolovca vrijednost hidrauličke vodljivosti iznosi 300 m/dan (Urumović i sur. 1990).

Slabopropusni međusloj sastoji se od gline, praha i prašinastog pijeska. Kod Svibovca zaliježe oko 20 m, a na području Varaždina na 42 do 55 m dubine (Hlevnjak i sur. 2015). Posljedica je formiranje slabopropusnog međusloja koji dijeli vodonosnik na dva vodonosna sloja (gornji i donji).

Drugi (donji) vodonosni sloj također se sastoji od šljunka i pijeska, ali sadržava više sitnozrnatog materijala. Na području crpilišta Bartolovec zaliježe od 55 pa sve do preko 100 m, a na području crpilišta Varaždin od 46 do 64 m. Zapadno od crpilišta Varaždin sloj isklinjava. Na sjeverozapadnom dijelu područja crpilišta Vinokovščak sloj se proteže na dubini od 22 do 28 m te na jugoistočnom dijelu od 35 do 50 m. Prosječne vrijednosti hidrauličke vodljivosti određene su pokusnim crpljenjima. Na području Bartolovca hidraulička vodljivost iznosi 140 m/dan, na području Varaždina 90 m/dan, a na području Vinokovščaka 55 m/dan (Bačani 2008). Prema prosječnim vrijednostima možemo zaključiti da se hidraulička vodljivost smanjuje od zapada prema istoku zbog pojave veće količine sitnije frakcije.

3. GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SUSTAV (GIS)

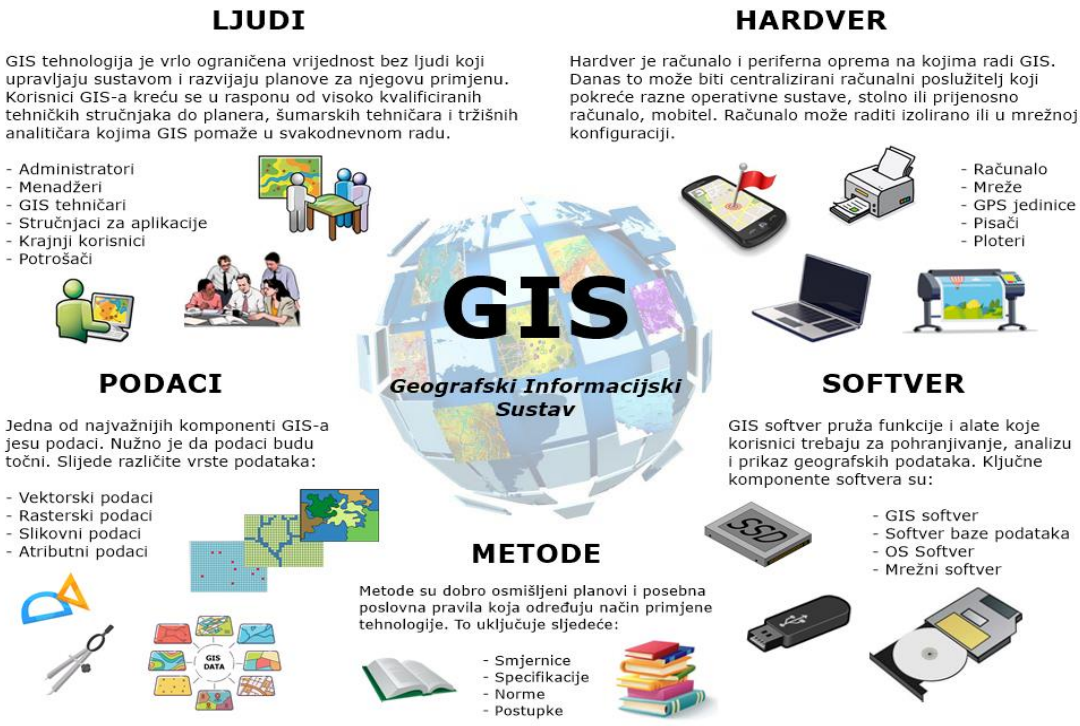
3.1. Osnovno o GIS-u

Svakog dana milijune odluka pokreće GIS te utječe na naše živote makar toga nismo ni svjesni. Stotine tisuća organizacija u gotovo svim poljima djelovanja koristi GIS za razumijevanje onoga što se događa i što će se dogoditi u geografskom prostoru. Definicija GIS-a s vremenom se mijenjala kao odgovor na razne aplikacije za koje se sada koristi i kao odgovor na definiciju promatranu kroz objektiv krajnjeg korisnika. Ukratko, geografski informacijski sustav predstavlja kombinaciju hardvera, softvera i podataka koji omogućava prikupljanje, analiziranje, upravljanje, pohranjivanje, izdvajanje, transformiranje, modeliranje i vizualiziranje geoprostornih (geografski referenciranih) podataka.

GIS se također definira kao veoma koristan okvir koji obuhvaća tehnologije, politike, standarde, ljudske resurse i srodne aktivnosti potrebne za stjecanje, obradu, distribuciju, upotrebu, održavanje i očuvanje prostornih podataka (GIStandards 2018). Iz raznih definicija vidljivo je da je došlo do prelaska s gledanja na GIS kao računalnog sustava za određenu aplikaciju na općenitiji i sofisticiraniji skup hardverskih i softverskih alata.

Pojam GIS sastoji se od riječi geografski, informacijski i sustav (Biondić 2010):

- geografski – odnosi se na prostorne podatke koji se na neki način odnose na lokacije na Zemlji te se mogu izraziti geografskim koordinatama (većinom geografska dužina i širina),
- informacijski – podaci unutar GIS-a su organizirani tako da se iz njih mogu dobiti nova korisna saznanja,
- sustav – više međusobno povezanih komponenti (Slika 5) koje pružaju različite funkcije, a to su podaci, hardver, softver, ljudi i metode.



Slika 5. Komponente GIS-a (CGP 2012)

3.2. Svrha i primjena GIS-a

Danas je GIS značajan alat koji ovom svijetu može pružiti više nego ikad prije. Iako su mogućnosti mnogo veće, izrada karata jedno je od najkorištenijih obilježja. Svakodnevno mnogo ljudi, tvrtki, organizacija dijele svoj rad na GIS-u i stvaraju tisuće karata te otkrivaju obrasce, trendove i odnose o svim mogućim stvarima. Ova jedinstvena mogućnost omogućava korisnicima dublji uvid u podatke i samim time donošenje pametnijih i boljih odluka. Mnoge poslove čini lakšim, bržim i pomaže ljudima da rade više stvari u istom vremenskom razmaku, bez obzira na vrijeme ili mjesto (GIStandards 2018). GIS se razvija svakodnevno, a tehnologija je iz dana u dan sve jeftinija, kao i memorija sustava koja se širi, što znači da je moguća obrada mnogo većih skupova podataka. Primjena GIS-a je zaista široka i raznolika. Obuhvaća područja različitih struka, od upravljanja i zaštite okoliša, energetike, poljoprivrede, šumarstva, građevinarstva, prometa do arheologije, zdravstva, demografije, vojske i mnogo drugih.

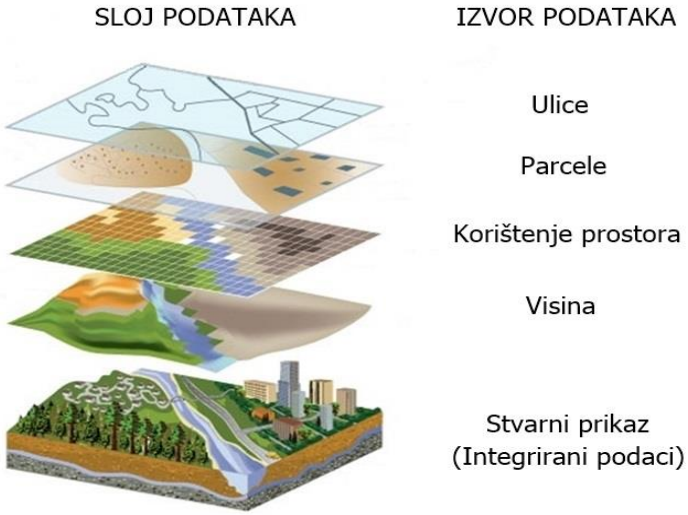
Kod upravljanja i istraživanja vodnih resursa, GIS je sveobuhvatan okvir za modeliranje podzemnih voda i vodonosnika u slivovima, za izradu podloga za vodoopskrbne, urbanističke i razvojne planove te za razne procjene utjecaja na okoliš. Zatim, za definiranje lokacija odlagališta komunalnog i industrijskog otpada, uređaja za

pročišćavanje otpadnih voda, zaštitnih zona vodonosnika i trasa za promet opasnim teretima obzirom na položaj prometnica u slivu i zaštitnim zonama (Biondić 2010).

Najveća snaga GIS-a je pružanje informacija kroz interaktivne karte na osobnim računalima, mobitelima i GPS stanicama. Karte se kombiniraju pomoću računalne grafike i povezuju s bazama podataka koje zatim omogućavaju prikaz i analizu prostornih podataka. Kod ažuriranja baze podataka dolazi i do automatske promjene na kreiranim kartama. Ta interakcija omogućava pristup informacijama koje prije nisu bile vidljive na tiskanim kartama.

3.3. Funkcioniranje GIS-a

Funkcioniranje GIS-a je složen proces koji se odvija u nekoliko faza. Te faze su povezivanje informacija, prikupljanje podataka i upravljanje prikupljenim podacima. GIS omogućuje snimanje karata s geoprostornim referencijskim sustavom poput zemljopisne dužine i širine te dodavanje dodatnih slojeva drugih podataka. Povezuje slojeve, tzv. teme, koje preklapaju različite vrste prostornih informacija i tvore kartografski prikaz te omogućuju daljnje obrade i modeliranja (Slika 6). Svaka tema sadrži kategoriju informacija kao što su vodotoci, prometnice, izvori ili šume (Biondić 2010).

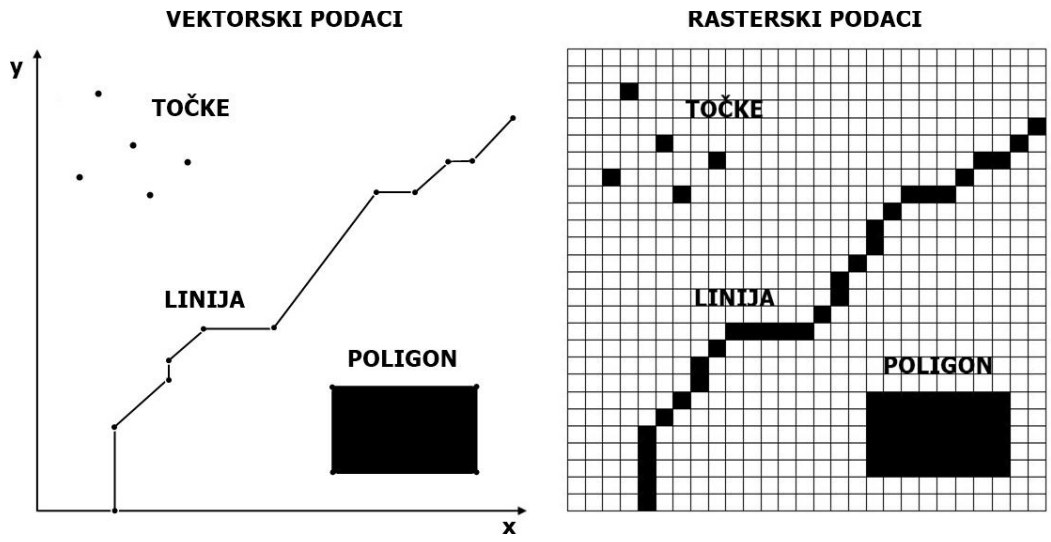


Slika 6. Preklapanje slojeva u GIS-u (NOAA 2019)

Model GIS-a se sastoji od ulaznog dijela koji čine baze podataka (statički i dinamički podaci), vektorski i rasterski podaci. Slijede brojni alati koji obrađuju zahtjeve korisnika i izlazni dio koji služi kao podloga za praćenje sustava (monitoring podzemnih voda), modeliranje, kartografski prikaz i rezultate obrade, odnosno analize.

Baze podataka su organizirane zbirke podataka spremljene na sistematski način tako da računalni program može poslati određeni upit bazi podataka na koji ona odgovara. Služe za bolju dostupnost i razvrstavanje podataka. Pomažu u organizaciji informacija u logičkom smislu, da bismo mogli brzo doći do željenih podataka. Upisivanje, promjena, brisanje i čitanje podataka obavlja se posredstvom posebnog softvera, sustava za upravljanje bazom podataka, gdje se korisnici referenciraju na neku idealiziranu logičku strukturu baze. Razne vrste podataka koji se unose u bazu podataka mogu se vezati uz geografske objekte iz stvarnog svijeta. Ti podaci mogu biti prostorni, atributni, vremenski i metadata podaci. Prostorni podaci sadrže podatke o lokaciji, geometriji objekta i topologiji. Atributni podaci mogu biti opisni i kartografski. Opisni podaci se odnose na opis objekta, a kartografski sadrže kodove ili opise na temelju kojih se kreiraju kartografski prikazi te su smješteni u tablicama. Kao četvrta dimenzija se ponekad opisuju vremenski podaci, ali su obično promatrani kao slijedeći atribut podataka. Metadata podaci se opisuju kao podaci o podacima i odnose se na kvalitetu i izvor podataka koji se nalaze u bazi podataka. U baze podataka spremaju se dvije osnovne vrste podataka, neprekinuti podaci i podaci vezani uz objekt (Biondić 2010).

GIS podaci mogu se pohraniti i analizirati na više načina. Dva najrelevantnija pristupa (Wieczorek i Delmerico 2009) su geoprostorni podaci (prostorni podaci predstavljaju podatke koji se odnose na lokacije na Zemlji) i atributni podaci (bilo koje vrste dodatnih informacija koje su povezane ili mogu biti povezane s prostornim podacima, obično su u tabelarnom obliku). Prostorni podaci mogu se grupirati na vektorske i rasterske podatke (Slika 7). Osnovna sposobnost GIS softverskih aplikacija je njihova sposobnost manipuliranja i analiziranja vektorskih i/ili rasterskih podataka.



Slika 7. Primjer vektorskih i rasterskih podataka (Bolstad 2002)

Vektorski podaci koriste koordinate (x,y) za predstavljanje geoprostornih podataka i mogu biti točke, linije ili poligoni. Svi navedeni segmenti su formirani od osnovnih prostornih jedinica: točke su bezdimenzionalne apstrakcije definirane njihovim koordinatama (x,y reference na lokacije na Zemljinoj površini), linije su skupovi povezanih točaka, dok su poligoni skupovi povezanih linija. Podaci koje označujemo točkama su npr. izvori, bušotine, linijama prometnice, vodotoke, a poligonima šume, poplavna područja. Odnos između tih segmenata nazivamo topologija (Bolstad 2002). Topologija vektorskom modelu daje „inteligenciju“, tj. GIS može prepoznati međusobno povezane segmente i odrediti susjedne poligone. Vektorski model je najbolji za prikaz linearnih oblika.

Rasterski modeli apstrakcija su stvarnog svijeta u kojem su prostorni podaci organizirani brojem piksela (ćelija) u formatu pravilnih redaka i stupaca koji čine mrežu. Pikseli (ćelije) moraju biti kvadratnog oblika, sadržavati lokaciju (koordinate) i atributnu vrijednost pridruženu toj lokaciji. Broj piksela može biti poprilično velik, posebno za sliku visoke rezolucije što je bitan podatak jer o tome ovisi točnost i kvaliteta budućih analiza. Rasterski podaci izuzetno su korisni za kontinuirano predstavljanje podataka poput nagiba, visina, kvantitativnu analizu i modeliranje površina, posebno s velikim skupovima podataka (GIStandards 2018). Uobičajeni rasterski podaci su zrakoplovne i satelitske snimke, skenirane topografske podloge i digitalni modeli terena. Formati zapisa rasterske slike najčešće su JPEG, GIF, TIFF, BMP i GRID format.

3.4. Metode prikupljanja podataka

Nakon definiranja projekta i potrebnih podloga za projekt, prikupljanje podataka je korak koji uzima najviše vremena i najsloženiji je dio GIS-a. Prije procesa unosa podataka potrebno je postaviti strukture baza podataka, mjerilo konačnog prikaza, raspored slojeva, strukturu osnovnih baza podataka po slojevima i definirati kojom metodom će se pojedina podloga unositi u GIS. Neke od metoda prikupljanja podataka su: skeniranje, daljinska istraživanja (engl. *Remote sensing*), GPS (engl. *Global Positioning System*), unos atributnih podatka pomoću baza podataka te potrebe i mogućnosti povezivanja takvih podataka gdje se dolazi do cjelovitih podataka potrebnih za GIS projekt (Biondić 2010). U sljedećim koracima dan je opis nekih navedenih metoda.

Skeniranje je metoda koja se koristi kod kartografskih podloga koje će kasnije služiti kao podloga za digitaliziciju. Skeniranjem, karta na papiru pretvara se u digitalni rasterski prikaz. Proces se odvija u različitim rezolucijama, bojama i nijansama što ovisi o potrebi projekta (Biondić 2010). Za potrebe GIS projekata koriste se skeneri velikih formata (A0, A1).

Daljinska istraživanja (engl. *Remote Sensing*) se definiraju kao metoda prikupljanja podataka o objektima ili pojavama u okolišu bez fizičkog dodira mjernog instruments s objektom ili pojavom istraživanja (Biondić 2010). Udaljenost između senzora kojim se snima i objekta koji snimamo može biti od nekoliko centimetara do više tisuća kilometara. Daljinska istraživanja možemo još razvrstati ovisno o vrsti senzora i načinu snimanja podataka (aktivni i pasivni podaci) te dijelu spektra u kojem se vrši snimanje. Nekada su snimke koje su se dobivale ovom metodom bile analogne, no razvojem tehnologije u Hrvatskoj se od 2009. godine (DGU 2019) koriste digitalne snimke. Velik dio daljinskih istraživanja čine snimanja iz zraka, tzv. aerofotogrametrija, pomoću aviona, helikoptera, satelita ili svemirskog broda kojima se tijekom snimanja opažaju valne duljine izvan vidljivog spektra. Za snimanje vidljivog dijela spektra, koji čini manji dio istraživanja, koriste se ortofoto slike. Kod istraživanja vodnih resursa koriste se satelitski snimci različitih rezolucija i područja elektromagentskog spektra za određivanje granica poplavnih područja, registriranje rasjeda, determinaciju priobalnih izvora (termički snimci), eliminaciju utjecaja kiše, magle, oblaka (radarski snimci), itd (Biondić 2010). Cilj ove metode je brzo i ekonomično prikupljanje podataka i

informacija zadovoljavajuće preciznosti koje omogućuju praćenje prirodnih pojava kao što su poplave, požari, onečišćenje okoliša, eksploataciju mineralnih sirovina, itd.

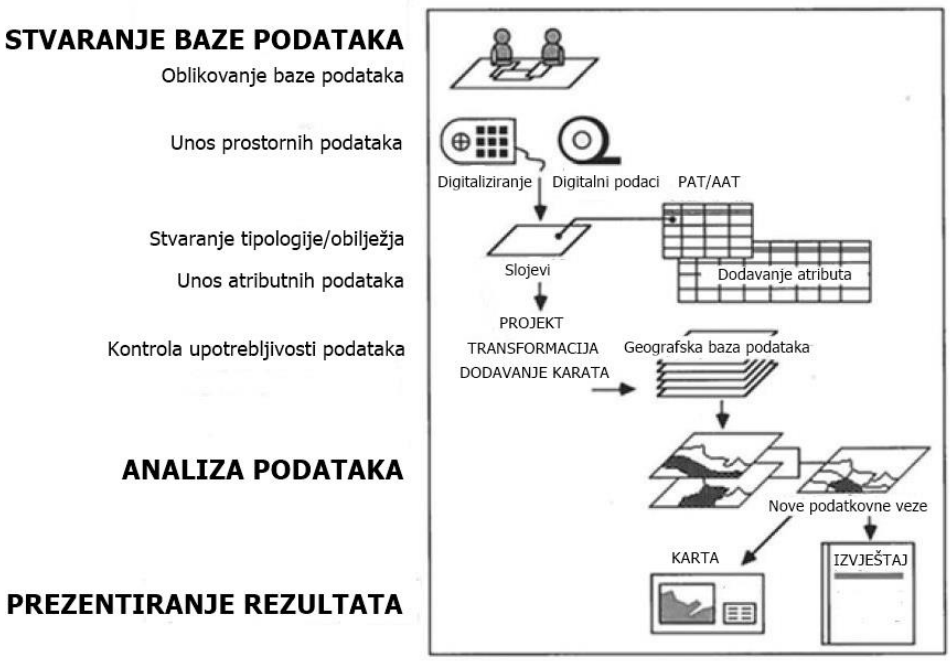
U tu svrhu se danas najviše koristi LiDAR (*engl. Light Detection And Ranging*) sustav koji osigurava brzo, učinkovito i jeftino prikupljanje prostornih podataka. LiDAR sustav se temelji na modernim tehnologijama prikupljanja prostornih podataka kao što su inercijalna tehnologija, lasersko skeniranje i 3D pozicioniranje GPS tehnologijom (AGI 2019). Budućnost prikupljanja prostornih podataka uvelike ovisi o razvoju LiDAR sustava.

GPS (engl. *Global Positioning System*) je mreža satelita koja kontinuirano odašilje kodirane podatke kojima precizno identificiramo loakcije na Zemlji mjerenjem udaljenosti od satelita. Glavni elementi GPS-a su svemirski, kontrolni i korisnički segment. Svemirski segment se sastoji od 24 satelita smještenih u 6 orbita koji odašilju radiofrekvencijske (RF) valove utvrđene strukture. Kontrolni segment je sustav stanica na Zemlji koje upravljaju i nadgledaju satelitskim sustavom i vremenom. Korisnički segment uključuje opažačku opremu s prijamnicima koji prate satelite kako bi se odredio položaj u globalnom koordinatnom sustavu (Biondić 2010). GPS prijamnici mogu biti ručni uređaji poput Garmin-a, ArcPad-a, auto navigacija, mobiteli, laptopi, itd. Europska zajednica je 1994. godine lansirala Galileo, nezavisni sustav za satelitsku navigaciju. Za razliku od GPS-a ovaj sustav je zamišljen da bude neovisan o neeuropskim navigacijskim sustavima, interoperabilan s drugim sustavima i pod civilnim nadzorom.

3.5. Kreiranje GIS projekta

Kako bi mogli riješiti neki projektni zadatak koji je povezan s prostornim podacima kao cjelovit i složen posao, danas je neizostavan korak i izrada GIS projekta. Prije nego kreiramo GIS projekt trebamo definirati cilj projekta. Odnosno, utvrditi koji se zadatak (pitanje) rješava, provesti analizu efikasnosti do sad korištenih rješenja, ustanoviti postoje li alternativni načini rješavanja koristeći GIS, utvrditi finalni proizvod (karta, izvještaj, prezentacija) te identificirati korisnika (broj, kategorija).

Razvoj GIS projekta opisan je nizom radnji koje se mogu podijeliti u tri koraka kao što je prikazano na slici 8.



Slika 8. Koraci u stvaranju GIS projekta (ESRI 1992)

Stvaranje baze podataka je jedan od osnovnih elemenata u formiranju GIS projekta. Cjelovitost i točnost baze podataka definira razinu kvalitete analiza i konačni rezultat.

Uobičajeno uključuje (Grizelj Šimić 2014):

- utvrđivanje koordinatnog sustava, obuhvata, potrebnih slojeva, značajki i pripadajućih atributa, unos prostornih podataka u bazu podataka (digitaliziranje ili pretvaranje 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).

GIS učinkovito provodi analitički postupak, a alternativni scenariji se lako razvijaju uz manje intervencije u analitičku metodu. Prezentacija rezultata analize, ostvaruje se stvaranjem prilagođenih karata i izvješća. Zbog svega navedenog, GIS projekte je potrebno prilagođavati prema specifičnostima pojedinog zadatka. Konačan proizvod je izravno povezan s ciljevima kao i sa specifičnim korisnikom koji se utvrđuju na početku projekta. Sposobnost prezentacije rezultata određuje utjecaj analize na proces odlučivanja. Sustav u kojemu opsežna stručna baza podataka može udovoljiti potrebama različitih korisnika u određenoj geografskoj sredini (području, površini) nazivamo GIS aplikacijski sustav (Slika 9).



Slika 9. Stvaranje GIS aplikacijskog sustava (ESRI 1992)

Prvi korak u kreiranju GIS aplikacijskog sustava je pristup potrebama korisnika, nakon kojeg slijedi faza kreiranja sustava. Početna postavka identificira nedostajuće elemente u bazi podataka koji se u sljedećim koracima ispravljaju i razvijaju, a proces završava automatizacijom glavne baze podataka.

Različita ministarstva i agencije su odgovorne za pojedine podatkovne cjeline, ali nadležnost nad ukupnom bazom im je zajednička. Na taj način se izbjegava dupliranje napora (rada) i podataka te stvaranje nedoslijednih dokumenata. Adekvatno planiran i proveden aplikacijski sustav omogućuje korištenje različitim korisnicima, s različitim pogledom na bazu podataka, a ujedno umanjuje ili uklanja preopširnost i nedoslijednost.

3.6. Spatial Data Infrastructure (SDI)

Infrastruktura prostornih podataka (engl. *Spatial Data Infrastructure - SDI*) inicijativa je namijenjena stvaranju okruženja u kojem svi dionici mogu surađivati jedni s drugima i komunicirati s tehnologijom, kako bi postigli ciljeve na različitim političkim i administrativnim razinama (Rajabifard i Williamson 2003). Infrastruktura olakšava otkrivanje, pristup, upravljanje, distribuciju, ponovnu upotrebu i očuvanje digitalnih geoprostornih resursa. Ti resursi mogu uključivati karte, podatke, geoprostorne usluge i alate (Hu i Li 2017). SDI-i su postali vrlo važni u određivanju načina na koji se prostorni podaci koriste u organizaciji, naciji, različitim regijama i svijetu te omogućuje korisnicima uštedu resursa, vremena i napora prilikom pokušaja stjecanja novih skupova podataka izbjegavajući umnožavanje troškova povezanih sa stvaranjem i održavanjem podataka i njihovom integracijom s ostalim skupovima podataka (Rajabifard i Williamson 2003).

Postoji mnogo infrastruktura prostornih podataka uspostavljenih na različitim geografskim razinama. Na globalnoj razini postoji Globalni sustav za promatranje Zemlje (GPS 2019) koji objedinjuje napore više od 70 zemalja na razmjeni podataka o okolišu. Na kontinentalnoj razini u Europskoj zajednici postoji tzv. INSPIRE direktiva (engl. *Infrastructure for Spatial Information in Europe*) infrastruktura za prostorne informacije koja omogućuje razmjenu geoprostornih informacija među javnim organizacijama diljem Europe (Hu i Li 2017).

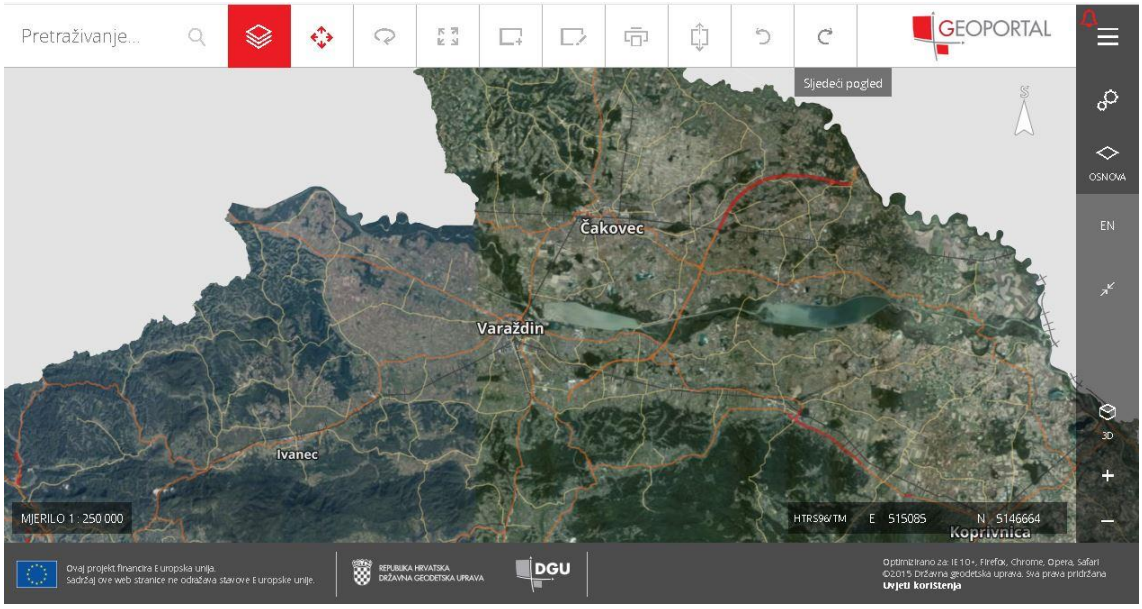
Osnovna načela INSPIRE direktive (NIPP 2015) su:

- prostorni podaci se pohranjuju, raspoloživi su te se održavaju na najprikladnijoj razini,
- omogućiti dosljedno kombiniranje prostornih podataka iz različitih izvora diljem Europske zajednice i njihovo zajedničko korištenje između različitih korisnika i aplikacija,
- prostorni podaci prikupljeni na jednoj razini državne vlasti dijele se s drugim državnim tijelima,
- prostorni podaci moraju biti raspoloživi pod uvjetima koji bezrazložno ne ograničavaju njihovu širu uporabu, omogućiti lako otkrivanje raspoloživih

prostornih podataka, ocijeniti njihovu prikladnost za ostvarenje cilja i saznati uvjete koji se primjenjuju za njihovu uporabu.

Okvir u kojem se razvija GIS ima temelj u INSPIRE direktivi. Dva su dokumenta koji se ističu u području politike voda, a to su Vodič za implementaciju GIS elemenata u području politike voda (CIS 2009) i INSPIRE smjernice za hidrografiju (EC 2014). U Vodiču su dane detaljne specifikacije za razvoj sustava, obrađena su pitanja vezana za način pohrane, kvalitete i geometrije podataka te je dan opis svih karata povezanih s GIS slojevima za izvještavanje. GIS slojevi se dijele u tri skupine: osnovne informacije i značajke vodnog područja, monitoring mreža i informacije o statusu površinskih i podzemnih vodnih tijela i zaštićenih područja. Kao prvom zahtjevu u izradi baze podataka, posebna pažnja je posvećena modeliranju podataka. Kod INSPIRE smjernica za hidrografiju detaljno su opisane strukture podataka koje se koriste u hidrografiji, a služe za modeliranje, izradu karata i izvjštavanje. Zbog opsežnosti hidrografska specifikacija je kategorizirana u tri aplikacijske sheme: ukupnost voda, model mreže i elementi za izvještavanje.

Na državnoj razini Litva i Hrvatska koriste tehnologiju Esri SDI (ESRI 2010) za izgradnju vlastitih SDI-a sukladno INSPIRE direktivi. U Hrvatskoj je to Geoportal Državne geodetske uprave (Geoportal DGU 2015) koji predstavlja prostorne skupove podataka, usluge i web aplikacije i jedan je od temeljnih elemenata Nacionalne infrastrukture prostornih podataka (Slika 10).



Slika 10. Izgled Geoportala Državne geodetske uprave (Geoportal DGU 2015)

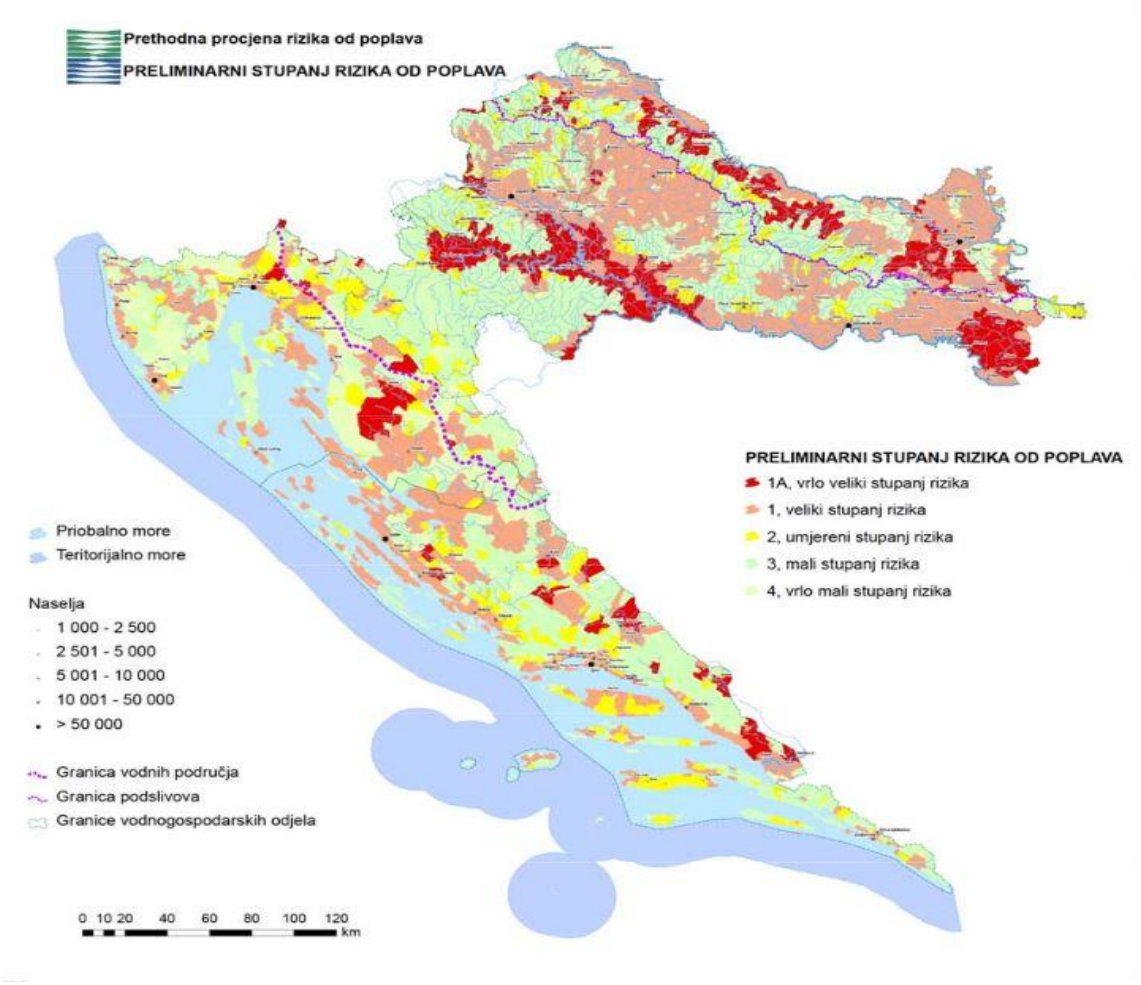
4. MOGUĆNOSTI PRIMJENE GIS-a U PRIKAZU MODELA

Kako bi model bio prikazan, GIS zahtijeva brojne različite skupove podataka. GIS u procesu modeliranja koordinira prikupljenim podacima, pruža sveobuhvatne operacije baze podataka, provodi funkcije prostornih analiza te prikazuje rezultate modela u različitim formatima. Dvodimenzionalni modeli korisni su za proučavanje punjenja vodonosnika, u upravljanju poplavnim rizicima, ravnoteže vode u sustavu te transport onečišćivala između sustava površinskih i podzemnih voda. Fokus ovog modela je na točkama interakcije rijeka i podzemnih voda. Sve navedeno obuhvaćeno je i trodimenzionalnim modelom pri čemu arhitektura vodonosnika, geološkog profila i bušotina unutar sustava podzemnih voda pruža napredne mogućnosti analiziranja i pogleda na stanje vodonosnika (Johnson 2009).

U sljedećim poglavljima opisane su neke mogućnosti primjene GIS-a u prikazu nekog od navedenih modela.

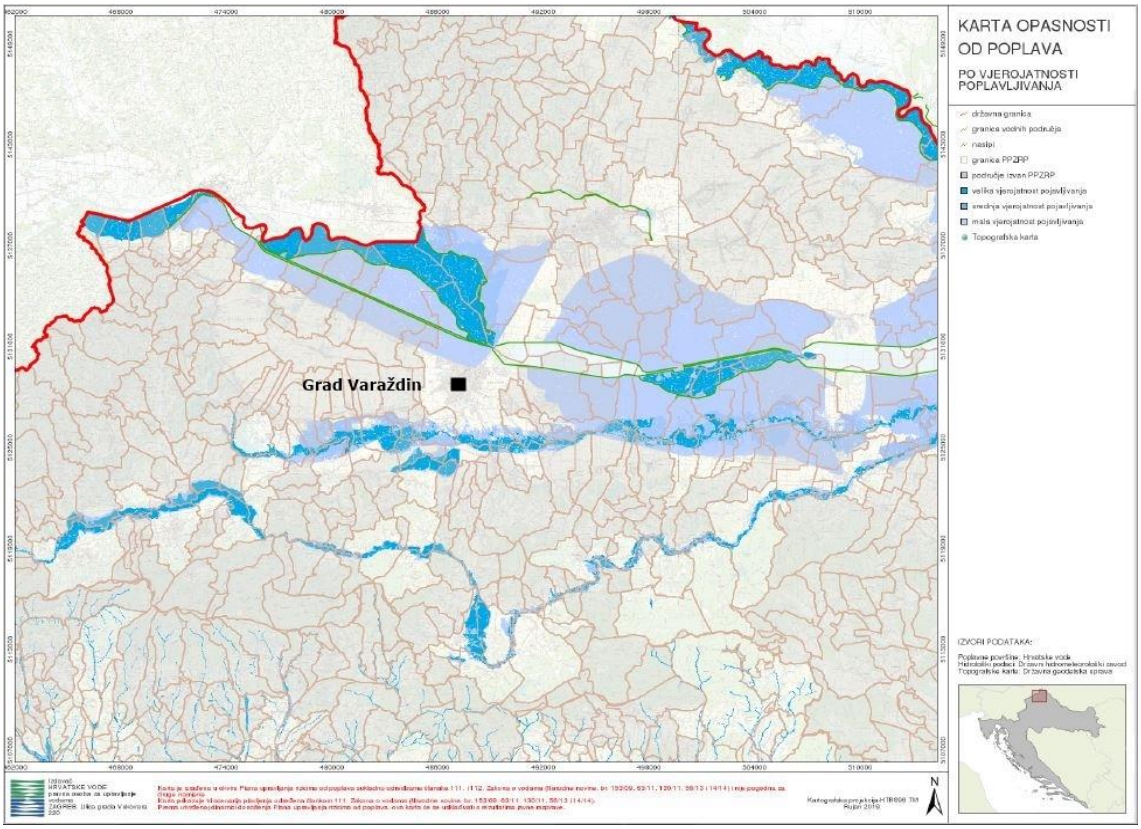
4.1. GIS u upravljanju poplavnim rizicima

Tijekom 2012. godine u Hrvatskim vodama je provedena prva aktivnost zahtijevana Direktivom o procjeni i upravljanju poplavnim rizicima, izrada prethodne procjene rizika od poplava. Pomoću GIS tehnologije određen je preliminarni stupanj rizika od poplava (Slika 11), a analizirana su područja za koja je procijenjeno da pripadaju u jedan od sljedećih kriterija: učestalo plavljena područja, potencijalno plavljenja područja, područja pod utjecajem poplava nastalih rušenjem objekata obrane od poplava, povijesne poplave i područje pod utjecajem poplava od bujica (Hrvatske vode 2012).



Slika 11. Prethodna procjena rizika od poplava – preliminarni stupanj rizika od poplava za Republiku Hrvatsku (Hrvatske vode 2012)

Osnovni kriteriji za proglašavanje određenog područja područjem sa značajnim rizicima od poplava prilagođeni su potrebama operativne obrane od poplava i različitom pristupu efikasnom, okolišno osjetljivom i financijski prihvatljivom rješavanju zaštite od poplava. Tako su u tzv. područja sa značajnim rizicima od poplava uključena sva područja za koje je prethodnom procjenom ocijenjen vrlo veliki (1A), veliki (1) i umjereni (2) rizik od poplava.



Slika 12. Karta opasnosti od poplava po vjerojatnosti pojavljivanja na području varaždinskog vodonosnika (Hrvatske vode 2014)

Karte rizika od poplava prikazuju moguće štetne posljedice povezane sa scenarijima (male, srednje i velike vjerojatnosti) i iskazane u odnosu na broj potencijalno ugroženog stanovništva, vrstu gospodarske aktivnosti i ostale informacije koje država članica smatra korisnima (Hrvatske vode 2012). Uz pomoć GIS alata razvijaju se metode procjene rizika od poplava temeljene na hidrološkim i hidrauličkim modelima, informacijama o korištenju zemljišta te socioekonomskim podacima. Arc GIS Spatial Analyst sadrži specijalizirane alate pomoću kojih se izdvajaju/stvaraju nove informacije iz hidroloških i krajobraznih informacija te se kao takve koriste za izradu prognostičkih modela za procjenu rizika (analiza utjecaja na područje i prioriteta za sanaciju šteta). Karte prethodnih procjena rizika od poplava, opasnosti od poplava i rizika od poplava možemo promatrati na interaktivnoj karti Hrvatskih voda. Za promatrano područje varaždinskog vodonosnika dan je prikaz karte opasnosti od poplava po vjerojatnosti pojavljivanja (Slika 12).

4.2. GIS u održavanju kanalizacijskog sustava

Uspješno održavanje kanalizacijskog sustava važno je za racionalno gospodarenje ovom infrastrukturom, za dobre sanitarne uvjete u gradskoj sredini i dobru zaštitu okoliša. Preduvjet je za održivi razvoj i zdravstveni standard neke urbane sredine. Razvojem upravljanja kanalizacijskim sustavom, GIS je postao neprocjenjiv alat zbog pružanja informacija kao što su: lokacija, promjeri cijevi, vrste materijala, datumi izgradnje i slično (Haines 2006). GIS modelima omogućuje komunalnim poduzećima bolje praćenje i prilagodbe zakonima i propisima uz jednostavne, brze preglede i analize te donošenje pravilnih odluka vezanih za razvoj i rekonstrukciju sustava odvodnje.

Upravljanje i evidencija objekata koji čine sustav odvodnje otpadnih voda, njihov oblik, položaj te svojstva koja posjeduju je glavna zadaća GIS-a odvodnje. U slučaju odvodnje otpadnih voda GIS se koncentrira prvenstveno na prostornu komponentu sustava i objekte sustava (Kolarek 2010). Zajednički, prostorna i atributna komponenta te međusobna topološka povezanost mrežnog tipa, tvore sustav koji može zabilježiti oblik i stanje objekata, upravljati promjenama nad objektima, prikazivati objekte i sustav u cjelini te provoditi analize i scenarije. Osnovni objekti sustava (Halapija i sur. 2008) su: slivnici, revizijska okna, preljevi, crpne stanice, ispusti, tlačni vodovi, uređaji za pročišćavanje otpadnih voda i ostali objekti sustava. Svi oni posjeduju svoju prostornu, uporabnu i sadržajnu komponentu, međusobno su povezani te zajedno omogućuju sustavu ispunjenje svoje osnovne zadaće.

Na primjeru slučaja GIS-a kanalizacije Slavonskog Broda (Šperac i sur. 2012), primijenjen je hibridni model koji čine skenirani i geokodirani geodetski planovi i karte sustava odvodnje (Slika 13).



Slika 13. Karta sustava odvodnje grada Slavonskog Broda (Šperac i sur. 2012)

Geodetski planovi starijeg datuma i ostale geodetske podloge su vektorizirani i geokodirani te zajedno uklopljeni u Hrvatski terestrički referentni sustav za epohu 1955.55 i projekcijski koordinatni referentni sustav poprečne Mercatorove projekcije (HTRS96/TM) (DGU 2011). Geodetske podloge starijeg datuma nadopunjene su podacima novije geodetske izmjere u vektorskom obliku. GIS omogućava odabir nekog kanalizacijskog objekta te dobivanje informacija koji su upisani ili vezani uz taj objekt, zatim različite analize i upite vezane uz prostorne podatke. Točne, brze i pregledne analize relevantnih podataka koji se vežu uz kanalizacijski sustav predstavlja osnovnu podlogu za održavanje i utvrđivanje smjernica daljnjeg razvitka (Šperac i sur. 2012). Iz mrežne topologije mogu se prikazati različiti podaci o sustavu poput statistike sustava (broj revizijskih okna, broju kanala, njihove duljine, itd.), najkraćeg mogućeg puta između dvije odabrane točke (okna), najbolji put tečenja između dva odabrana okna, i dr.

Razvojem urbanih područja, a paralelno s time i kanalizacijskih sustava, tradicionalni pristup održavanja kanalizacije je postao nedostatan i stoga se javila potreba za

uvođenjem GIS-a koji će omogućiti efikasniji i ekonomičniji pristup rješavanju problema.

4.3. GIS u određivanju zona sanitarne zaštite

U Republici Hrvatskoj su prema Pravilniku o uvjetima određivanja zona sanitarne zaštite izvorišta (NN 66/11, NN 47/13) propisani uvjeti za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta koja se koriste za javnu vodoopskrbu, mjere i ograničenja koja se provode u njima. U Pravilniku stoji da se zone sanitarne zaštite mogu utvrditi:

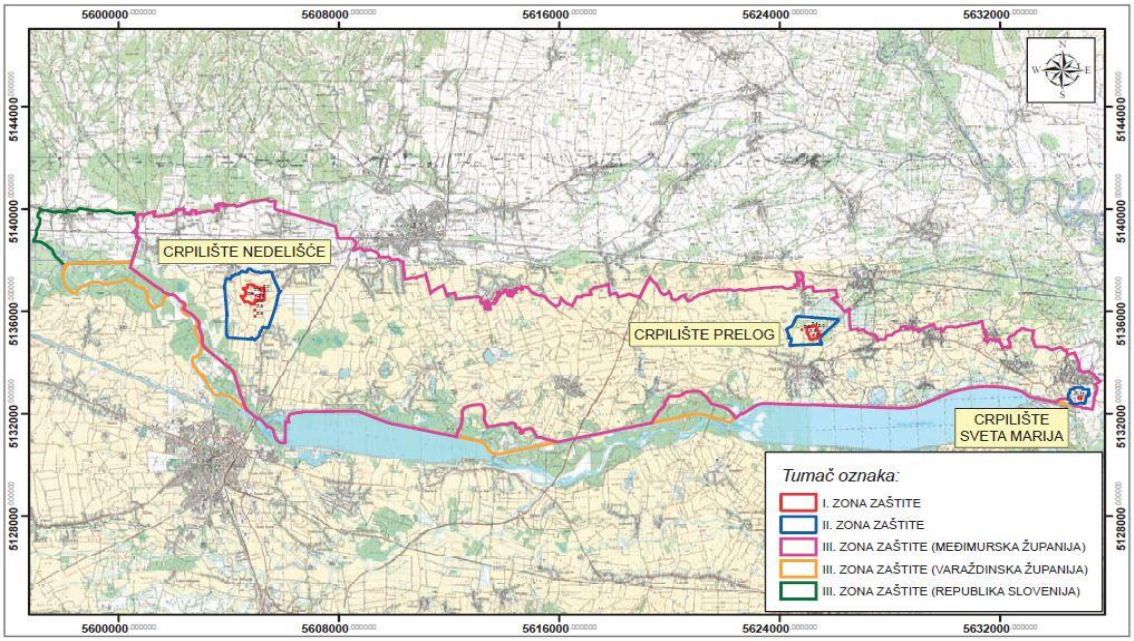
- ako su provedeni vodoistražni radovi,
- ako je izrađen elaborat zona sanitarne zaštite.

Naručitelj vodoistražnih radova za nova izvorišta za javnu vodoopskrbu su Hrvatske vode, dok su za postojeća izvorišta jedinice lokalne samouprave odnosno jedinice područne (regionalne) samouprave. Na temelju vodoistražnih radova izrađuje se elaborat zona sanitarne zaštite gdje se naručitelj obvezuje dostaviti Hrvatskih 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.

Zone sanitarne zaštite dijele se na tri zone i to na zonu ograničenja i nadzora, zonu strogog ograničenja i nadzora te zonu strogog režima zaštite i nadzora (NN 47/13). GIS nam omogućava precizno definiranje različitih zona zaštite unutar kojih su propisane razne mjere zaštite i obavezan je alat u izradi zona zaštite podzemnih voda.

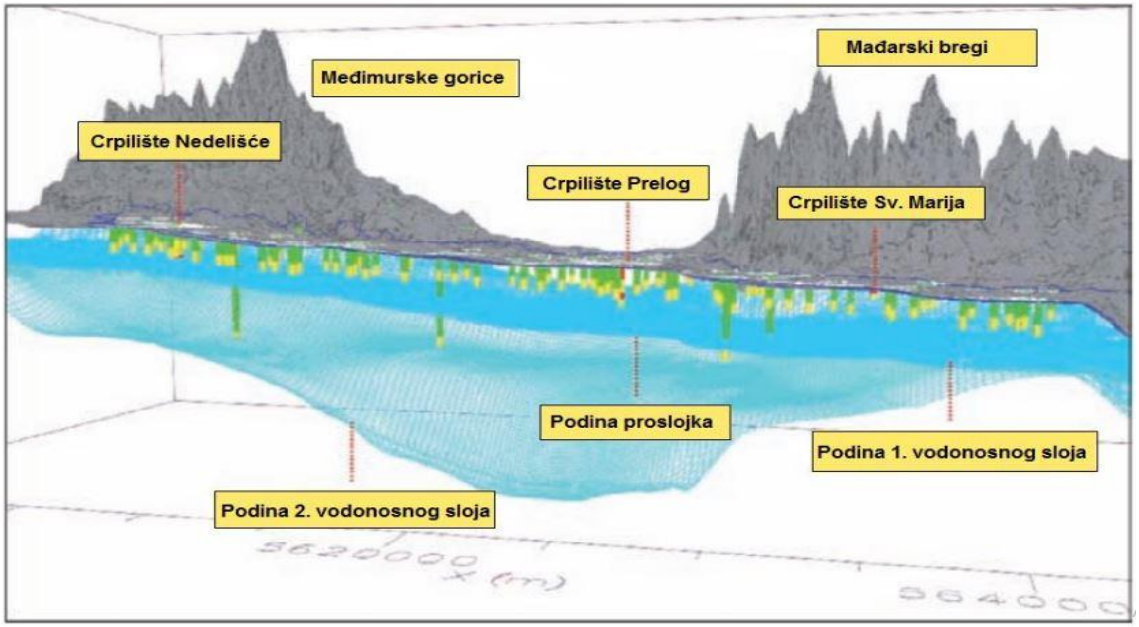
Kao primjer uzete su zone sanitarne zaštite međimurskih vodocrpilišta (Posavec i Mustač 2008). Zone sanitarne zaštite vodocrpilišta Nedelišće, Prelog i Sveta Marija novelirane su primijenjujući 3D numerički model toka podzemne vode i trasiranje čestica Međimurskog vodonosnog sustava. Za simulacije toka podzemne vode korišten je program MODFLOW (McDonald i Harbaugh 1988), dok je za simulaciju trasiranja čestica korišten program MODPATH (Pollock 1989). Rezultati tih simulacija uzeti su za procjenu druge i treće zaštitne zone vodocrpilišta kako je to definirano Pravilnikom. U izradi konačnog prijedloga II. i III. zone zaštite (Posavec i Mustač 2008) postavljene su smjernice prema kojima zone zaštite ne smiju biti manje od zona dobivenih simulacijama trasiranjem čestica za niske i visoke vode, niti smiju znatnije odstupati od njih te prema kojima granice zona zaštite trebaju pratiti prometnice, putove, građevinska

područja naselja i katastarske čestice zbog mogućnosti lakšeg označavanja i uočavanja oznaka. Na temelju informacija dobivenih simulacijom toka podzemne vode i trasiranjem čestica, upotrebom GIS-a implementirana su područja zaštite na postojeću kartu (Slika 14).



Slika 14. Prijedlog zona sanitarne zaštite vodocrpilišta Nedelišće, Prelog i Sveta Marija (Posavec i Mustač 2008)

Za potrebe definiranja geometrije vodonosnog sustava izrađene su karte izohipsi reljefa na osnovi kojih je kreiran digitalni model reljefa, karte izostrata podine prvog vodonosnog sloja, podine proslojka te podine drugog vodonosnog sloja (Posavec i Mustač 2008). Ovi podaci su poslužili kao osnova za izradu trodimenzionalnog modela međimurskog vodonosnog sustava pomoću GIS-a kao što je prikazano na slici 15.



Slika 15. Trodimenzionalni sustav međimurskog vodonosnika (Posavec i Mustač 2008)

5. IZRADA MODELA VARAŽDINSKOG VODONOSNIKA

5.1. Potrebne podloge za izradu modela vodonosnika

Postojeće i različite tematske karte važan su izvor podataka za različite sustave GIS-a. S topografskih karata najčešće se digitaliziraju osnovni topografski podaci, a s različitih tematskih karata se digitalizira tematski sadržaj u obliku geoloških, pedoloških ili vegetacijskih svojstava. S topografskih i tematskih karata koje se rabe kao podloga za digitalizaciju, pridružuju se digitaliziranim objektima i neke opisne informacije (atributi), npr. nadmorska visina, elementi legende tematskih karata, itd.

Podloge koje su korištene u ovom radu:

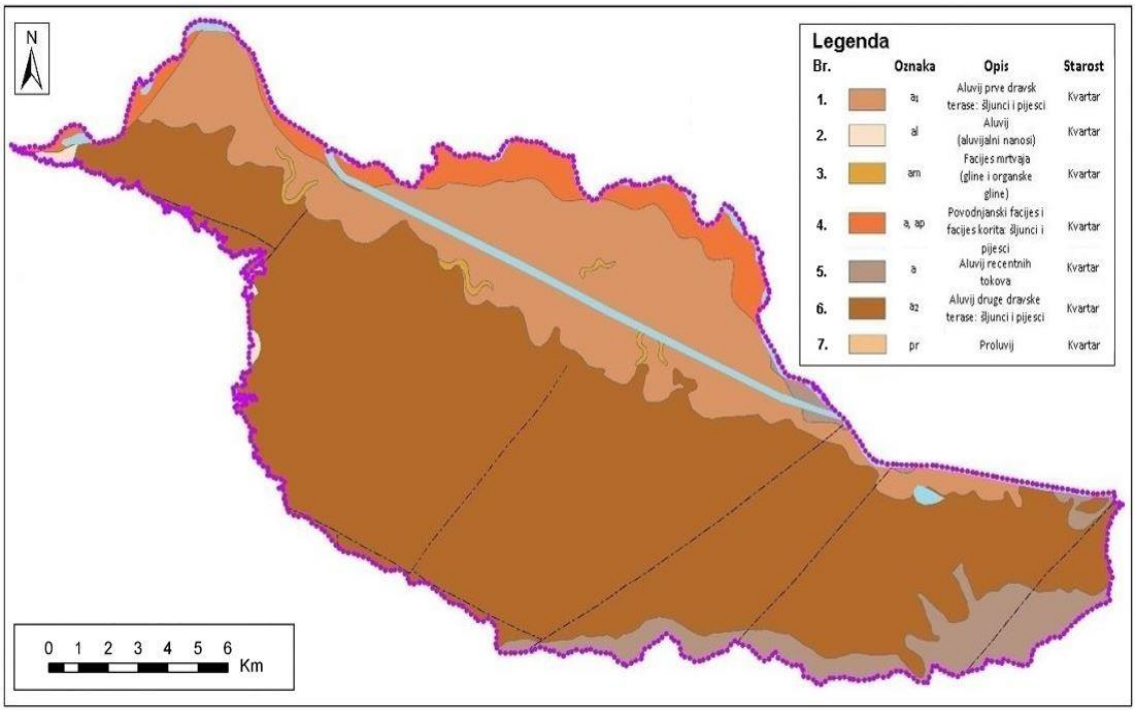
- Osnovna geološka karta, listovi Varaždin i Čakovec u mjerilu 1:100 000 (Šimunić i sur. 1982, 1982a),
- Topografska karta u mjerilu 1:25 000 (TK25) (DGU 2019a),
- Topografska karta u mjerilu 1:100 000 (TK100) (DGU 2019b),
- Izostrate podine prvog vodonosnika (Bačani 2008),
- Izostrate podine proslojka (Bačani 2008),
- Izostrate podine drugog vodonosnika (Bačani 2008).

5.2. Izrada modela varaždinskog vodonosnika

Za izradu modela varaždinskog vodonosnika korišten je softver ArcGIS Desktop, aplikacije ArcMap i ArcScene, verzija 10.1. Da bi mogli krenuti u postupak izrade i modeliranja potrebno je prikupiti pouzdane ulazne podatke. Ukoliko ulazni podaci nisu u digitalnom obliku, potrebno ih je preoblikovati u digitalni zapis. Skenirane karte ili slike treba postaviti u odgovarajući koordinatni sustav i projekciju, odnosno potrebno ih je georeferencirati. Nakon toga korištenjem alata za uređivanje podaci se mogu digitalizirati te potom prostornim analizama prikazivati u prostoru (na karti).

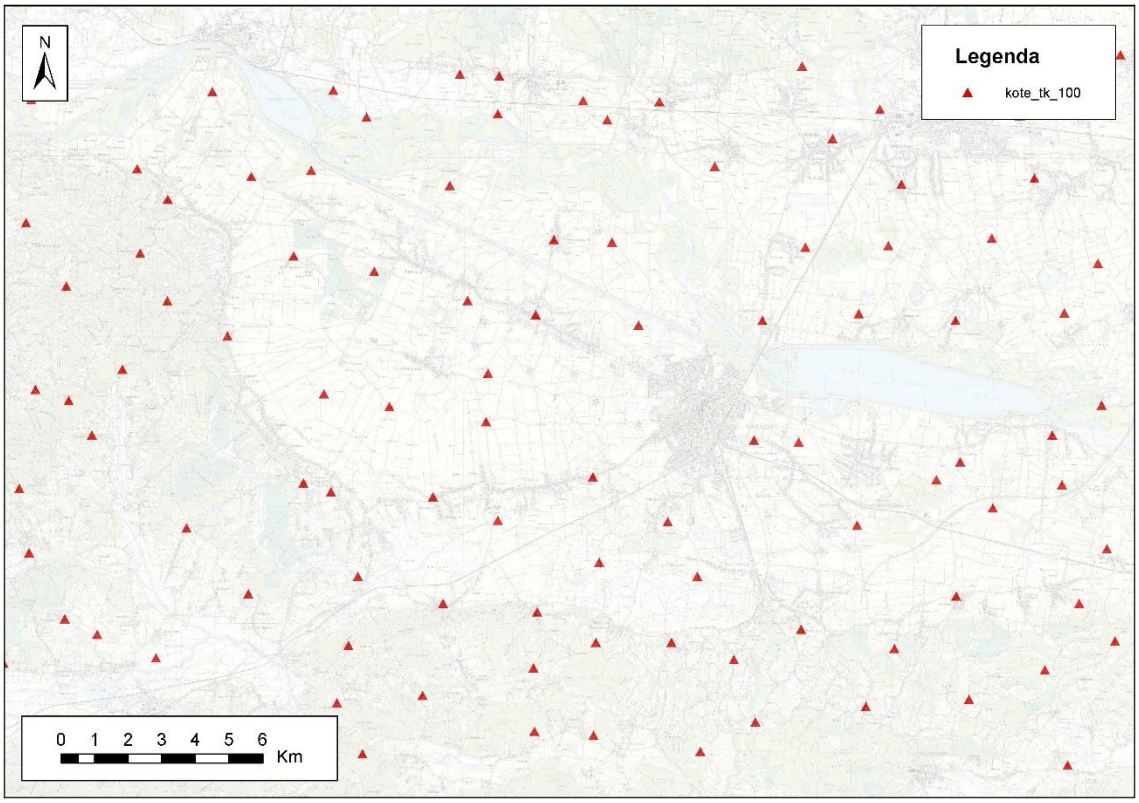
Svaki postupak izrade nekog modela ili karte započinje stvaranjem baze podataka. Dio tog koraka je postupak georeferenciranja. To je postupak u kojem se skenirana podloga (slika ili karta) smješta u odgovarajući koordinatni sustav. Topografske podloge TK100 i TK25 georeferencirane su u koordinatni sustav HTRS96/TM (Hrvatski terestrički referentni sustav za epohu 1955.55 i projekcijski koordinatni referentni sustav poprečne Mercatorove projekcije) (DGU 2011). Isto je napravljeno i s Osnovnom geološkom kartom Varaždina i Čakovca. Važno je da su podloge ispravno smještene u željeni koordinatni sustav kako bi se nakon krajnje obrade ispravno preslikavale u realnom svijetu. Tako georeferencirane podloge spremne su za daljnju obradu. Prva faza izrade modela vodonosnika obuhvaća izradu područja prikaza (granice područja i vodonosnika), izradu digitalnog modela terena (kote i vodne pojave) i geometrije vodonosnika (interpolacija izostrata podina).

Nakon georeferenciranja slijedi postupak digitalizacije. Digitalizacija je najjednostavnija, najlakša i najjeftinija metoda prikupljanja podataka iz postojećih podloga gdje se linije i točke unose ručno. Kako bi iz zadanih podloga digitalizirali točkaste, linijske i poligonske podatke potrebno je kreirati novi sloj (engl. *layer*). Novi slojevi točaka, linija i poligona kreirani su naredbom *Create Feature Class*. Na temelju Osnovnih geoloških karata, listovi Varaždin i Čakovec (Slika 16), digitalizirane su granice šireg promatranog područja varaždinskog vodonosnika i granice u domeni vodonosnika.

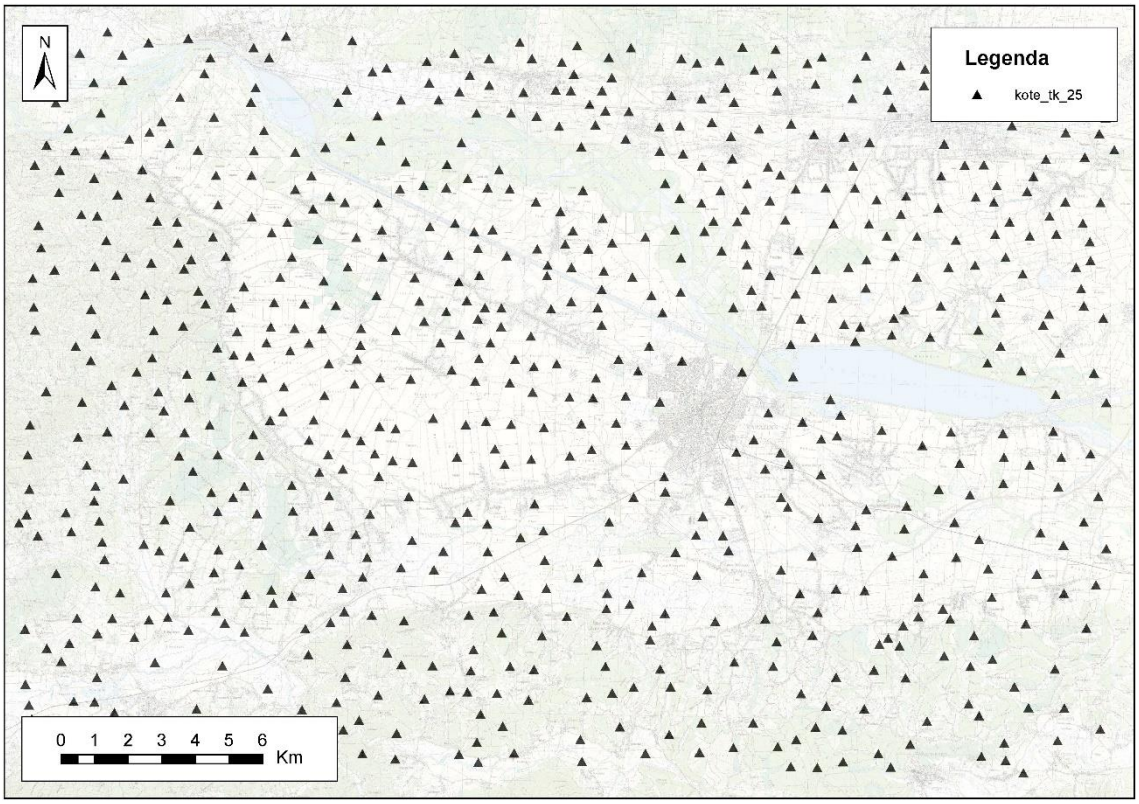


Slika 16. Digitalizirane granice šireg promatranog područja varaždinskog vodonosnika i granice domene vodonosnika na podlozi geološke karte

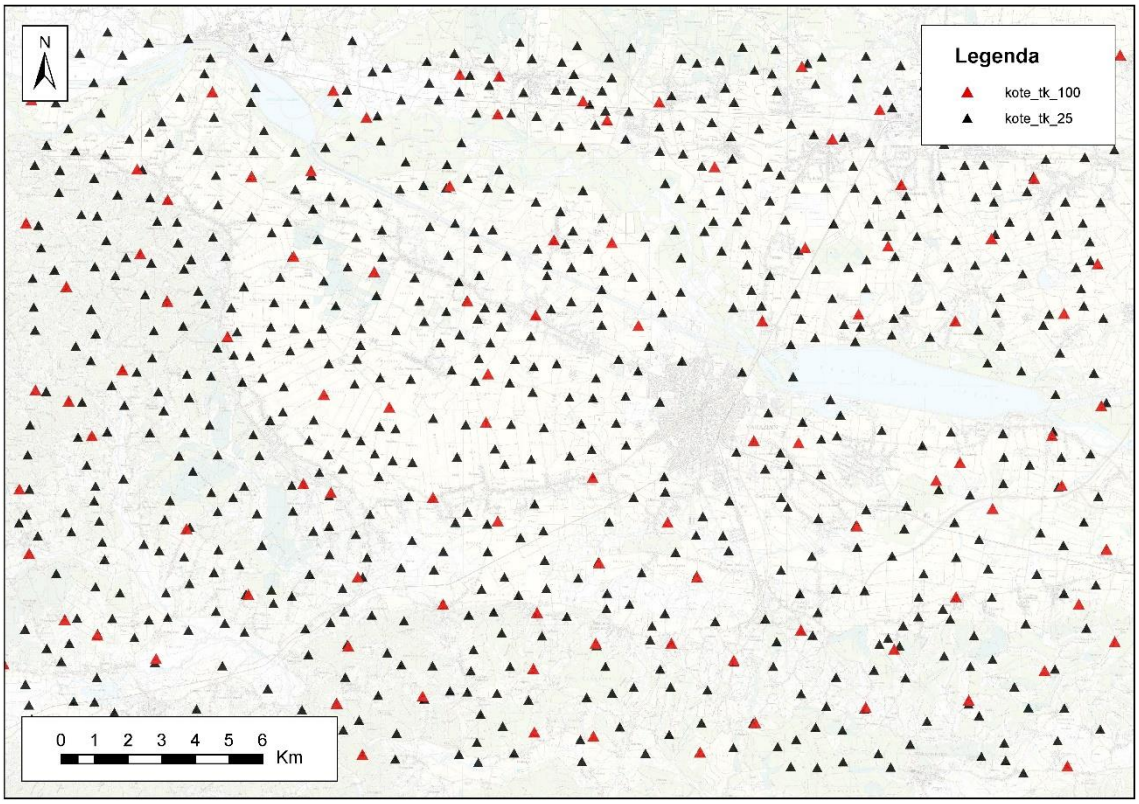
Na topografskim podlogama TK100 i TK25 digitalizirane su kote, vodotoci i jezera (Slike 17 – 20). U atributnim tablicama, novim slojevima dodani su atributni podaci poput nadmorske visine, duljine vodotoka, imena jezera, itd., koji će se kasnije koristiti za daljnje analize i stvaranje modela vodonosnika.



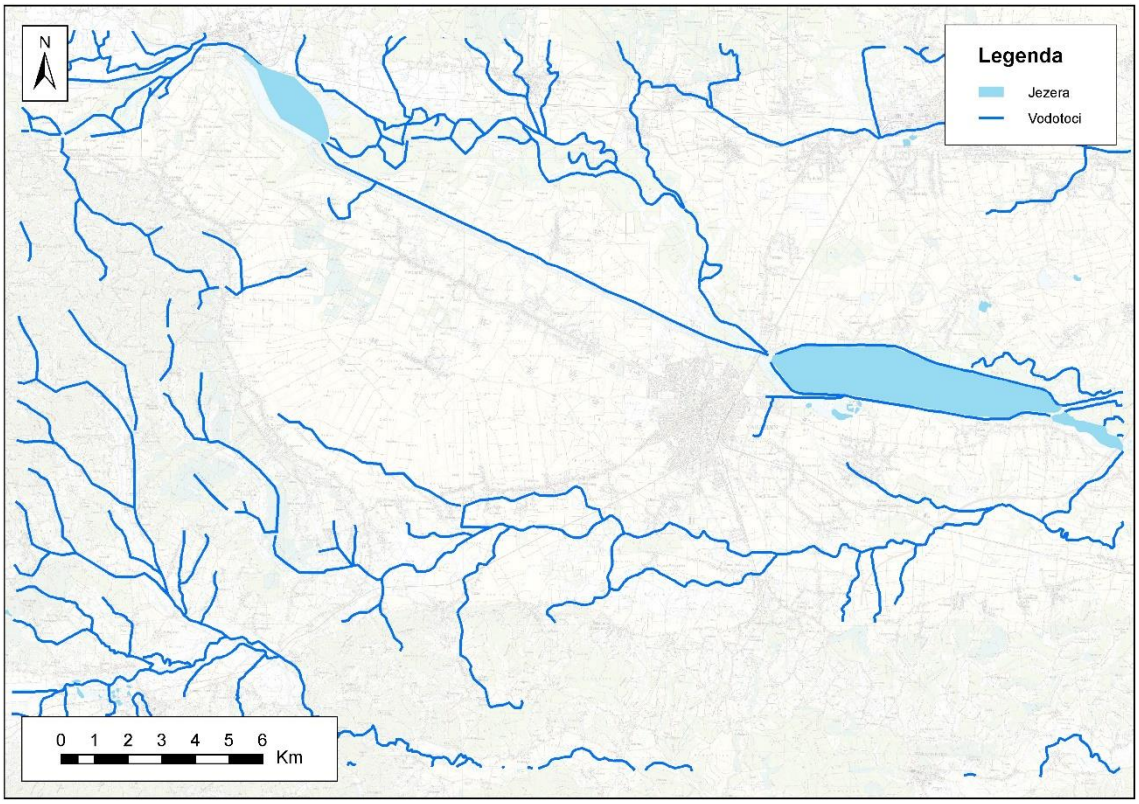
Slika 17. Digitalizirane kote na TK100



Slika 18. Digitalizirane kote na TK25

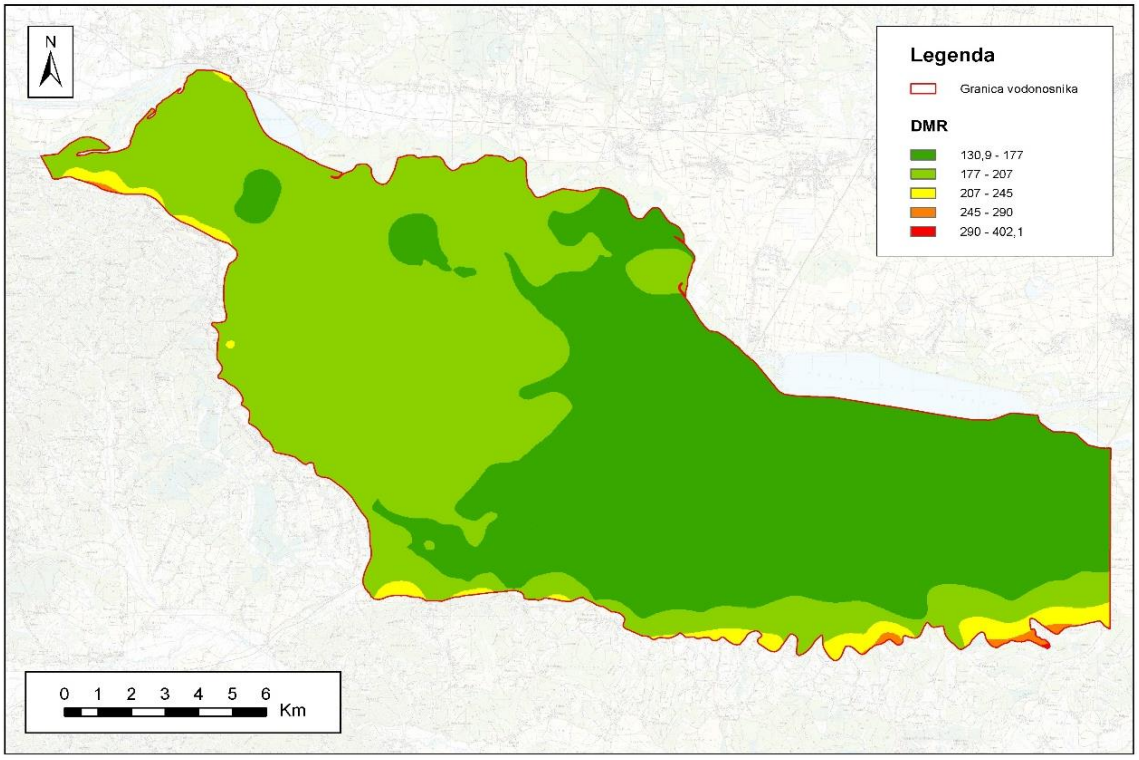


Slika 19. Digitalizirane kote na TK25 i TK100



Slika 20. Digitalizirani vodotoci i jezera

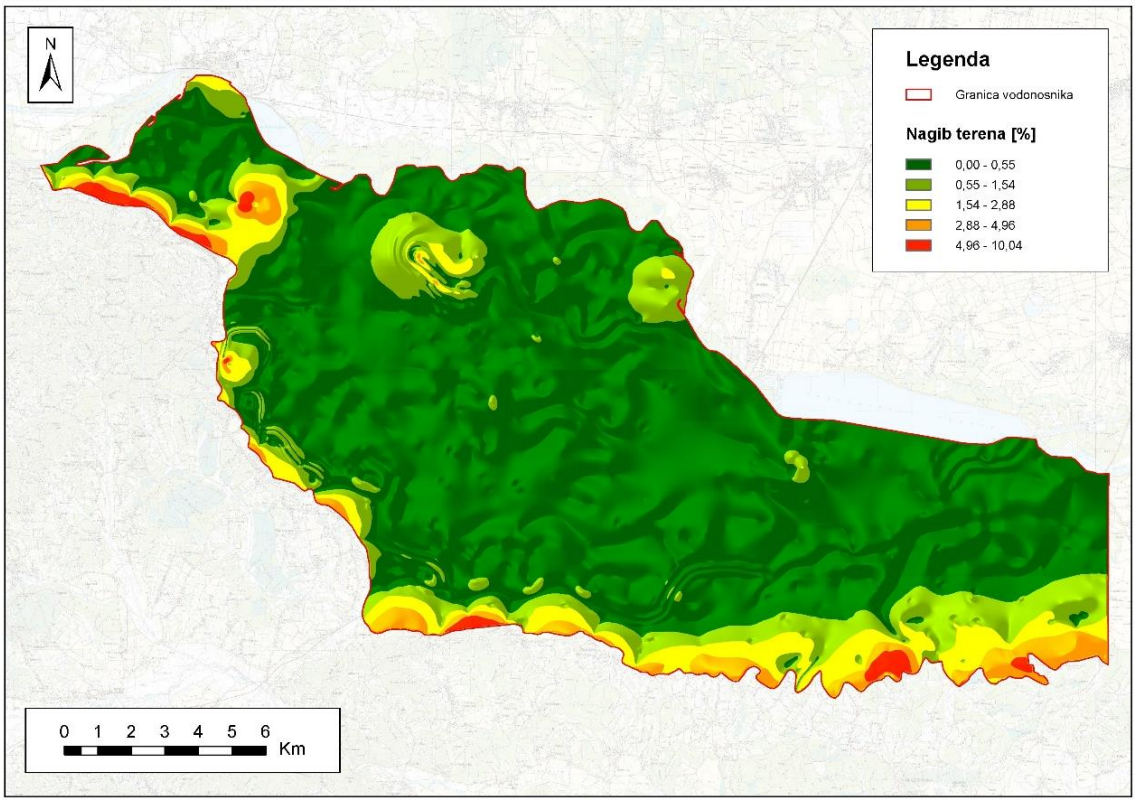
Iz sloja digitaliziranih kota izrađen je digitalni model reljefa (DMR) u *grid* formatu pomoću naredbe *Topo to Raster* (Slika 21).



Slika 21. Digitalni model reljefa (DMR)

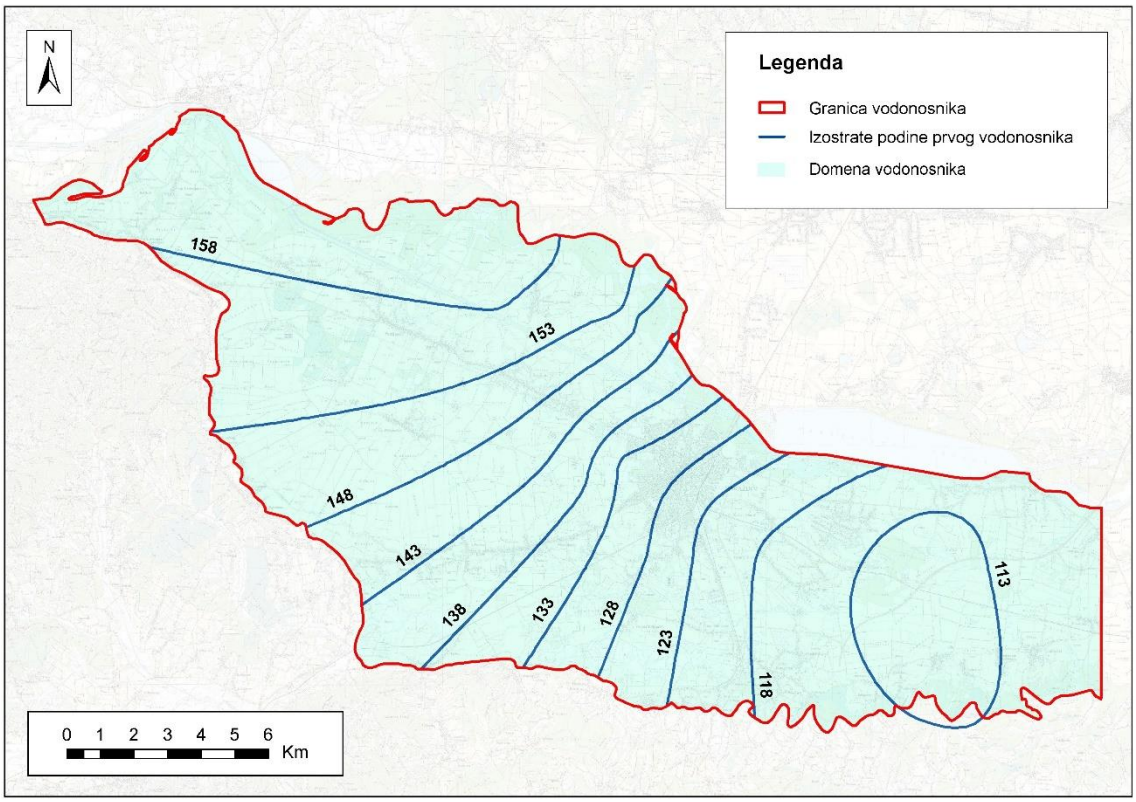
Topo to raster je interpolacijska metoda posebno dizajnirana za stvaranje hidrološki ispravnih digitalnih modela reljefa na temelju poznatih nadmorskih visina (ArcGIS Pro 2019). Odabran je raster veličine ćelija 25 x 25 metara.

Naredbom *Slope*, iz digitalnog modela terena je kreirana karta nagiba terena (Slika 22). *Slope* identificira strminu u svakoj ćeliji rasterske površine. Nagib se za određenu lokaciju izračunava kao najveća brzina promjene nadmorske visine između te lokacije i njegove okolice (PSU 2018). Što je niža vrijednost nagiba, to je ravniji teren i što je veća vrijednost nagiba, to je strmiji teren. Izražava se u stupnjevima ili kao postotak.

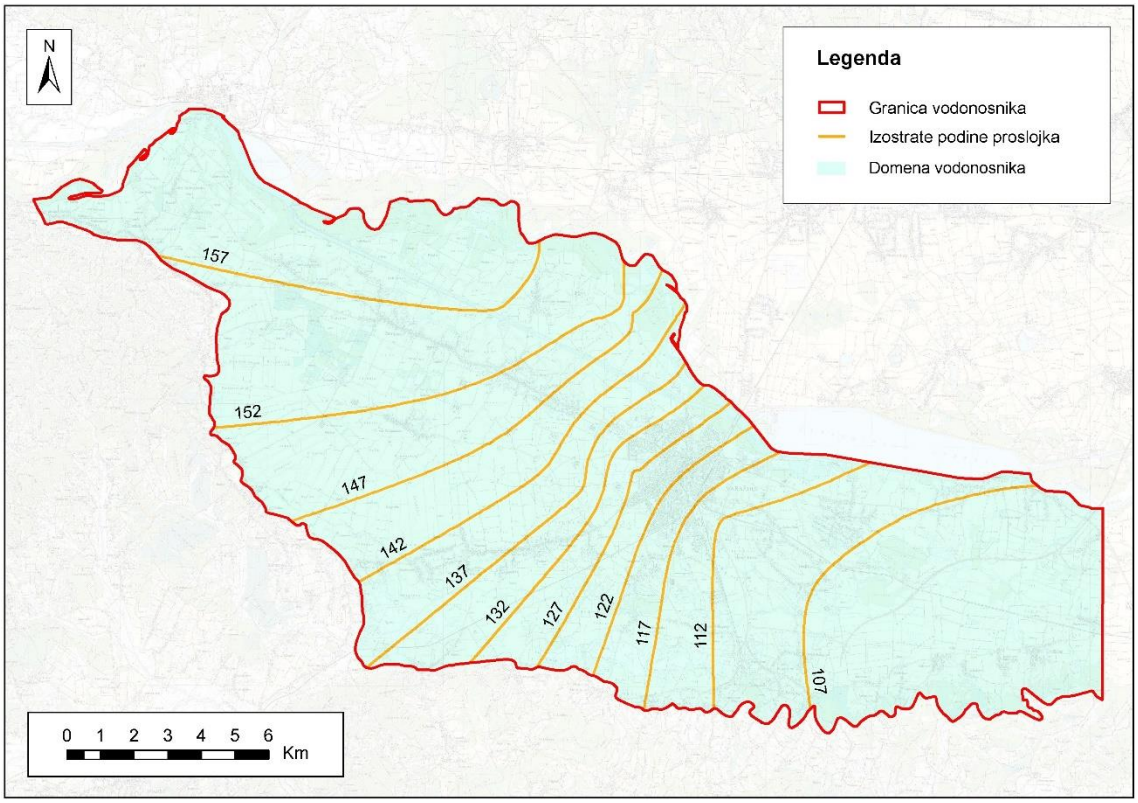


Slika 22. Karta nagiba terena

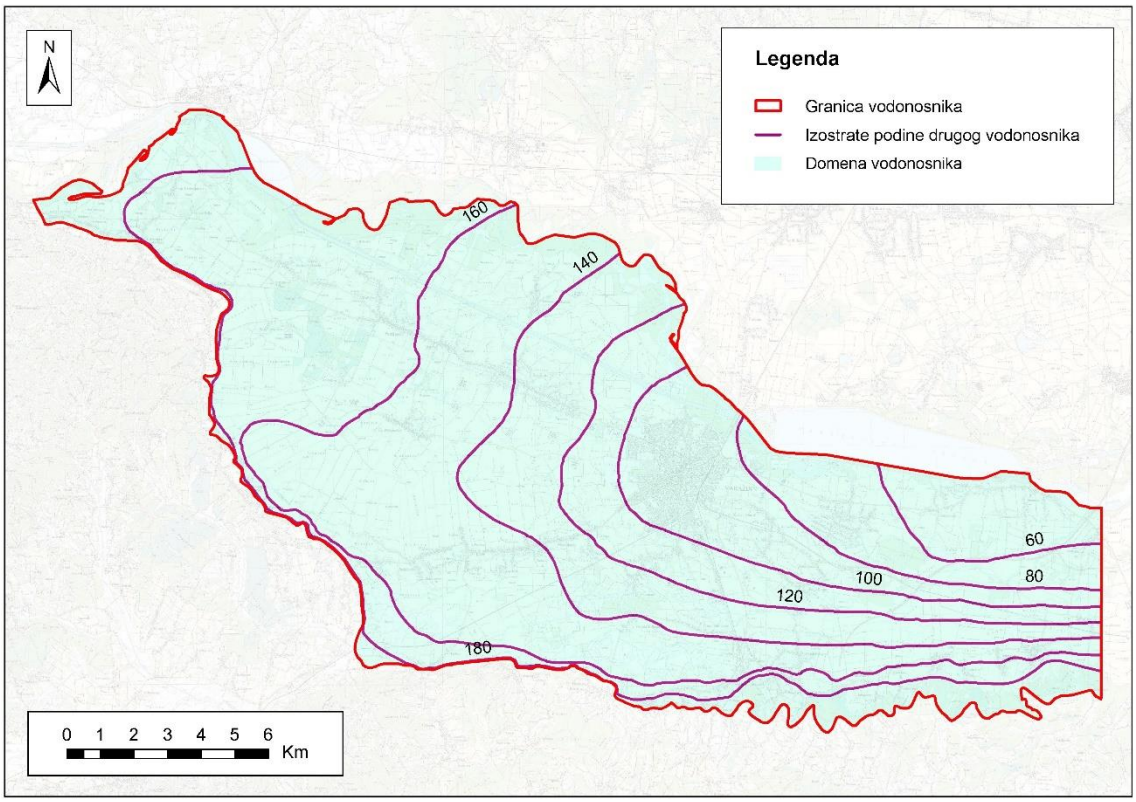
Po izradi digitalnog modela terena pristupilo se kreiranju geometrije vodonosnika. Iz podloga podina prvog i drugog vodonosnika te proslojka digitalizirane su njihove pripadajuće izostrate (Slika 23 - 25). Naredbom *Topo to Raster*, temeljem digitaliziranih izostrata, interpolacijom su kreirane plohe podina proslojka i podina vodonosnika (Slika 26 - 28).



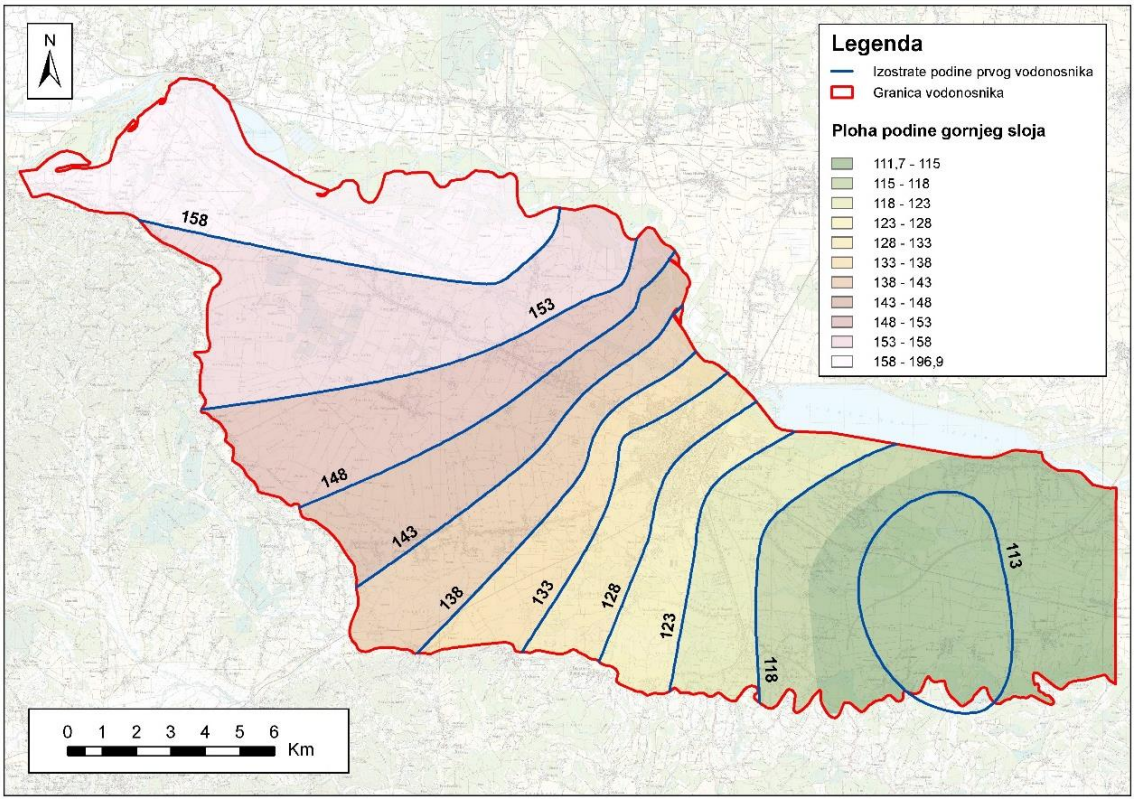
Slika 23. Izostrate podine prvog vodonosnika



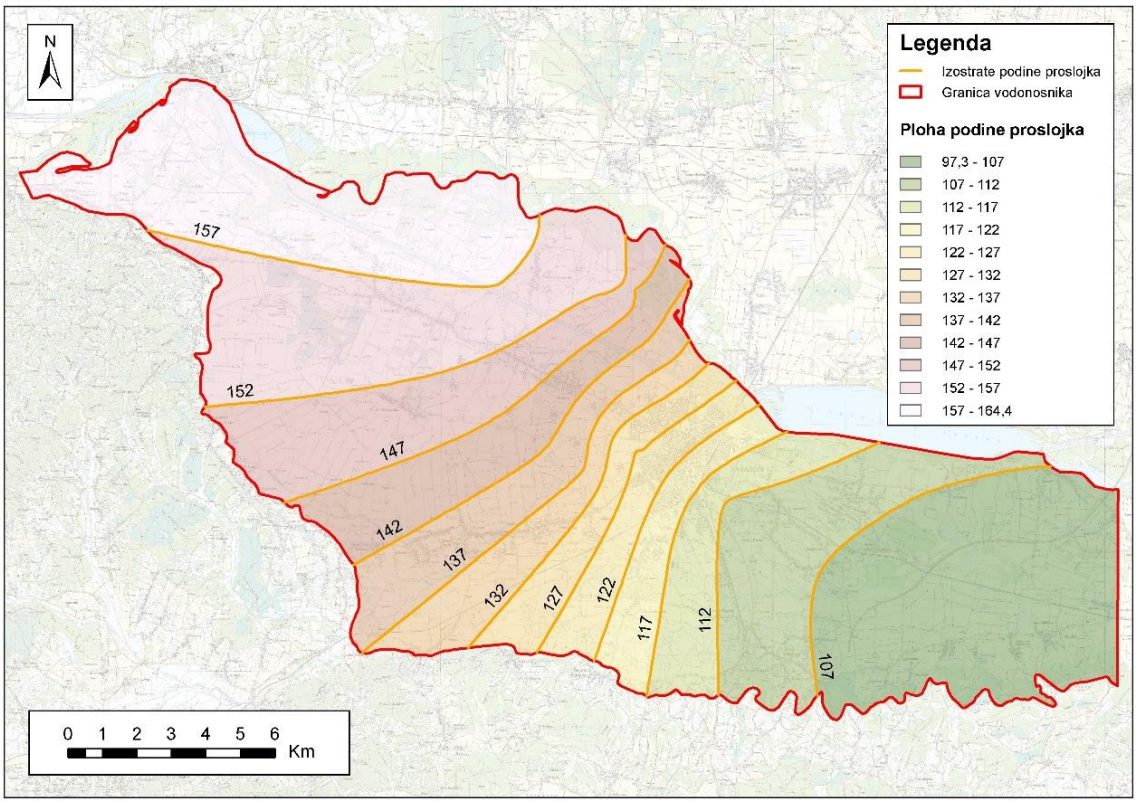
Slika 24. Izostrate podine proslojka



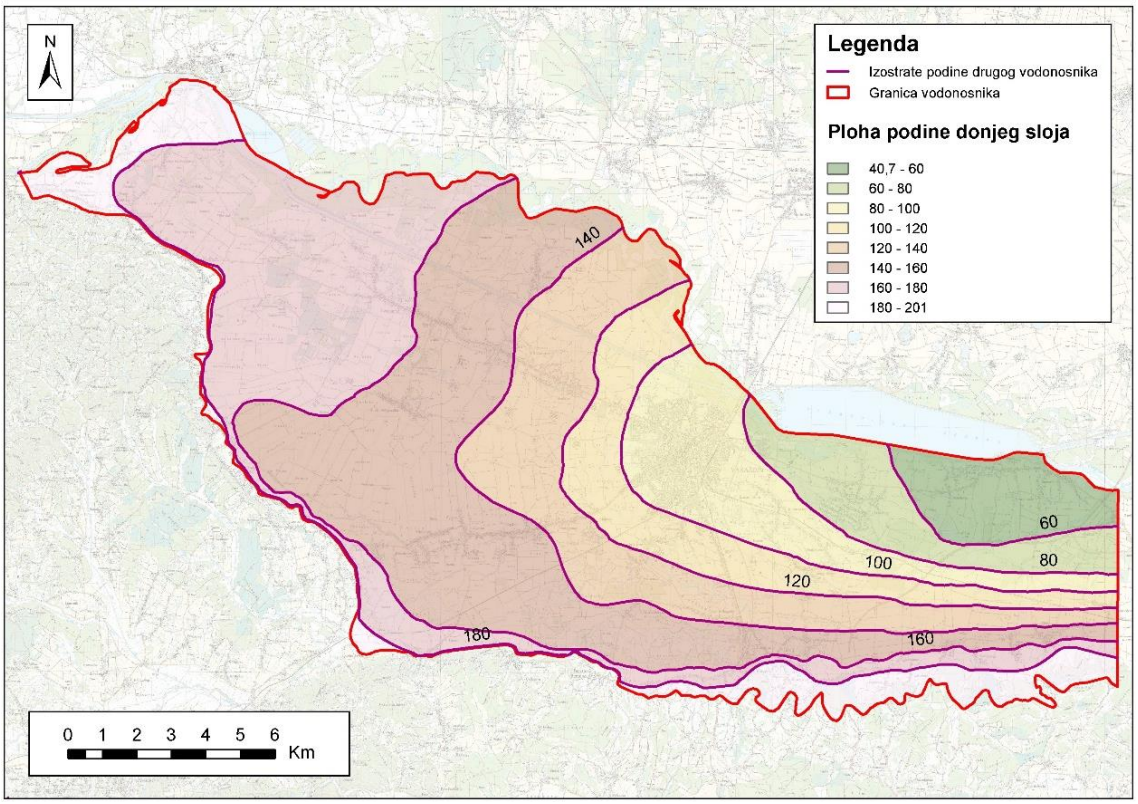
Slika 25. Izostrate podine drugog vodonosnika



Slika 26. Interpolacija plohe podine gornjeg sloja (prvog vodonosnika)

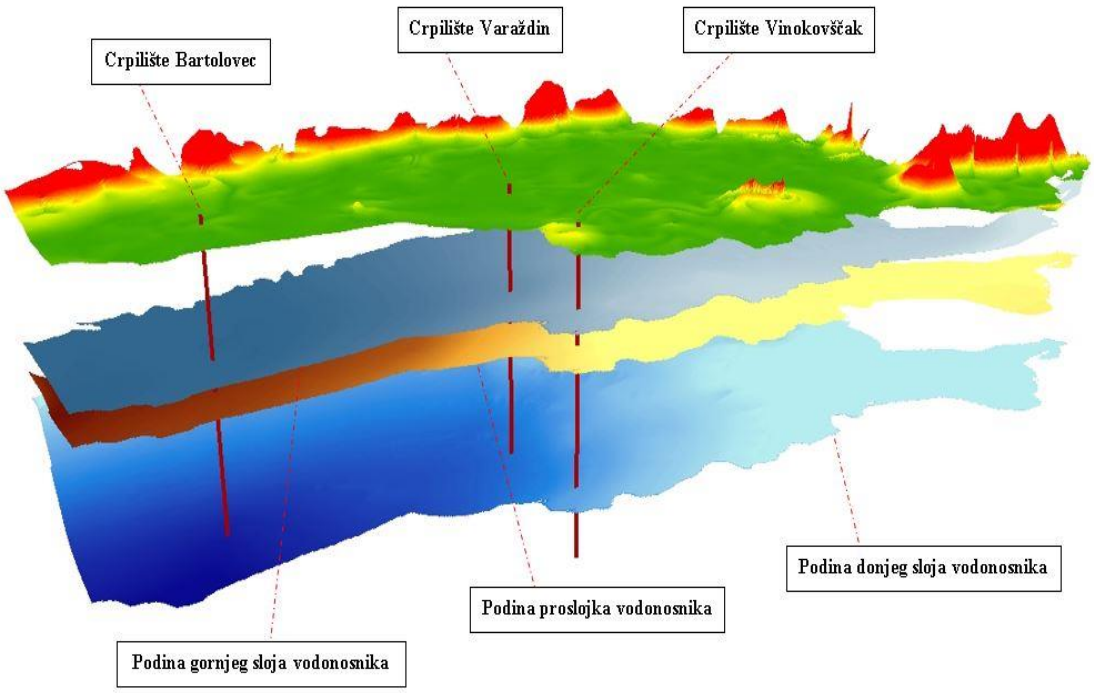


Slika 27. Interpolacija plohe podine proslojka

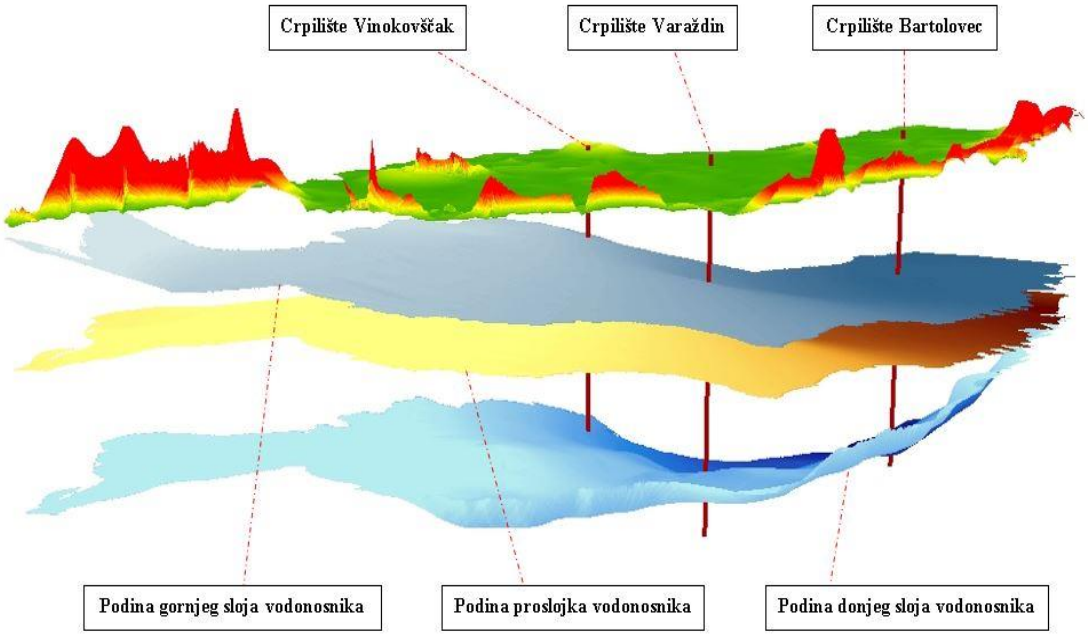


Slika 28. Interpolacija plohe podine donjeg sloja (drugog vodonosnika)

Trodimenzionalni prikaz modela varaždinskog vodonosnika napravljen je pomoću aplikacije ArcScene. U aplikaciju su učitani podaci koji su prethodno napravljeni u ArcMap-u. To su DMR, interpolirane podine prvog i drugog vodonosnika te proslojka. Zatim, u svojstvima slojeva, svakom sloju u ekstenziji *Base Heights* dodijeljene su odgovarajuće visine i dubine što je stvorilo 3D prikaz vodonosnika (Slika 29 - 30).



Slika 29. Pojednostavljeni hidrogeološki model varaždinskog vodonosnika (prikaz istok - zapad)



Slika 30. Pojednostavljeni hidrogeološki model varaždinskog vodonosnika (prikaz zapad - istok)

5.3. Korisnički GIS projekt

Završni dio projekta, korisnički GIS projekt, usmjeren je ka krajnjem korisniku. Svi rezultati ovog projekta te baza podataka korištena u izradi modela pregledno su organizirani te omogućuju njihovo jednostavno pregledavanje i analize.

GIS projekt je pripremljen u programskom paketu ArcGIS 10.1. Datoteci *HG_model_VŽ_vodonosnika.mxd* može se pristupiti s bilo kojeg računala ukoliko na tom računalu postoji potrebna verzija programa ArcGIS. Također je veoma bitno da se na računalu nalazi mapa *HG_model_VŽ_vodonosnika* u kojoj su sadržani svi podaci i linkovi za izvođenje GIS projekta *HG_model_VŽ_vodonosnika.mxd*.

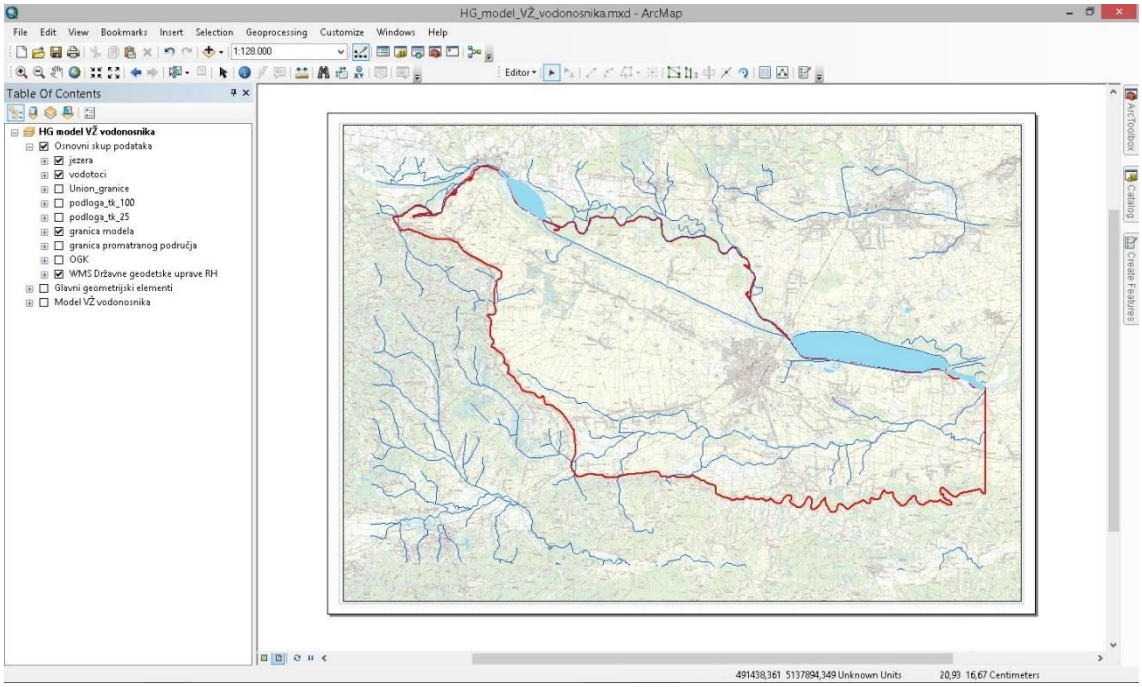
Otvaranjem datoteke *HG_model_VŽ_vodonosnika.mxd* u aplikaciji ArcMap 10.1. s lijeve strane korisničkog sučelja nalazi se sadržaj GIS projekta (engl. *Table of Contents*). U sadržaju se nalazi okvir podataka (engl. *Data Frame*) *HG model VŽ vodonosnika* unutar kojeg se nalaze učitani GIS podaci, sistematizirani i pripremljeni za potrebe pregledavanja i dodatnih analiza krajnjeg korisnika.

Okvir podataka *HG model VŽ vodonosnika* sadrži osnovne skupove podataka (granice, podloge i dr.), glavne geometrijske elemente varaždinskog vodonosnika (izostrate, kote i dr.) i skupove podataka sadržanih u grupi podataka *Model VŽ vodonosnika* (DMR,

nagib terena, i dr.) potrebnih za izradu trodimenzionalnog prikaza u aplikaciji ArcScene 10.1. Prikaz podatkovnog okvira je prilagođen krajnjem korisniku na mjerilo 1:128 000.

Osnovni skup podataka sadrži sljedeće elemente (Slika 31):

- osnovni hidrološki elementi varaždinskog vodonosnika u domeni modela su linijski prikaz značajnih vodotoka (datoteka *vodotoci_lin.shp*) i poligonski prikaz značajnih jezera (datoteka *jezera_plg.shp*),
- osnovni elementi potrebni za određivanje prostornog položaja varaždinskog vodonosnika, odnosno granica vodonosnika prikazana u poligonskom obliku (datoteka *granica_modela_plg.shp*) i poligonski oblik granice promatranog područja varaždinskog vodonosnika (datoteka *granica_promatranog_podr_plg.shp*),
- topografske podloge u mjerilu 1:25 000 (datoteka *podloga_tk_25.png*) i 1:100 000 (datoteka *podloga_tk_100.png*),
- geološka podloga dobivena spajanjem listova Varaždin i Čakovec iz Osnovne geološke karte u mjerilu 1:100 000 (datoteka *OGK.tif*).



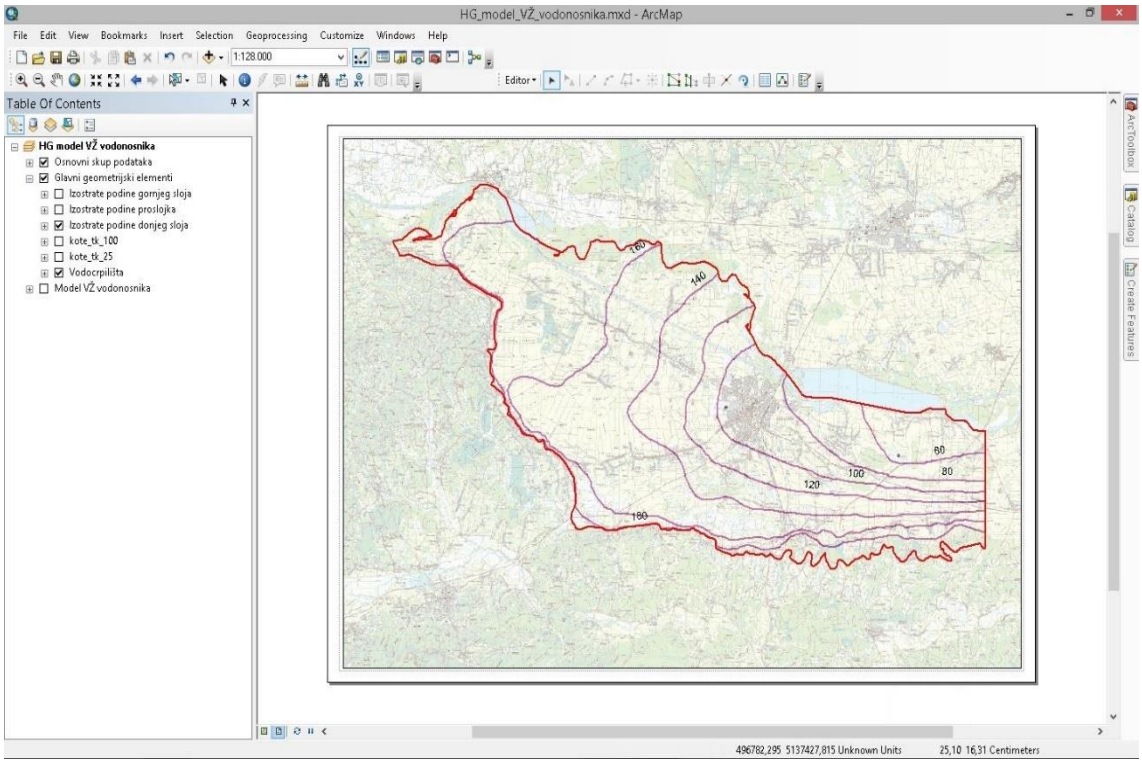
Slika 31. Prikaz okvira podataka *HG model VŽ vodonosnika* i elemenata unutar grupe podataka *Osnovni skup podataka*

Glavni geometrijski elementi varaždinskog vodonosnika sadrže sljedeće podatke (Slika 32):

- podina gornjeg sloja (datoteka *podina_gornji_sloj.shp*) – prikaz izostrata (izolinija) rasprostranjenosti i nadmorskih visina podine gornjeg sloja,
- podina proslojka (datoteka *podina_proslojak.shp*) – prikaz izostrata (izolinija) rasprostranjenosti i nadmorskih visina podine proslojka,
- podina donjeg sloja (datoteka *podina_donji_sloj.shp*) – prikaz izostrata (izolinija) rasprostranjenosti i nadmorskih visina podine donjeg sloja.

Uz geometriju sustava vezani su i podaci koji sadrže:

- kote terena (točkasti podaci) dobivene digitalizacijom kota terena s topografskih podloga mjerila 1:25 000 (datoteka *kote_tk_25.shp*) i 1:100 000 (datoteka *kote_tk_100.shp*),
- vodocrpilišta sadrže prostorni raspored, osnovne podatke i linkove prema bazi podataka vodocrpilišta na području varaždinskog vodonosnika (datoteka *crpilista.shp*).



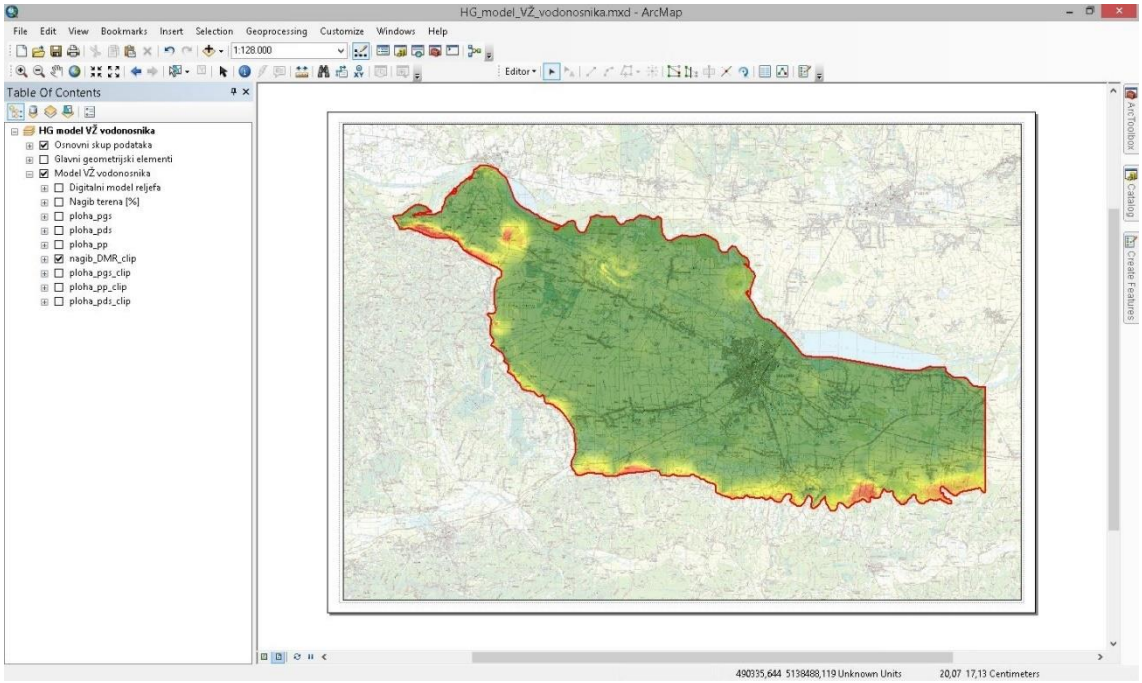
Slika 32. Prikaz okvira podataka *HG model VŽ vodonosnika* i elemenata unutar grupe podataka *Glavni geometrijski elementi*

Grupa podataka *Model VŽ vodonosnika* (Slika 33) sastoji se od elemenata potrebnih za kreiranje 3D modela varaždinskog vodonosnika u aplikaciji ArcScene 10.1.

Metodom interpolacije kreirani su sljedeći skupovi podataka:

- DMR (digitalni model reljefa) kreiran je interpolacijom poznatih nadmorskih visina (datoteka *digitalni_model_reljefa*),
- Nagib terena, kreiran iz DMR, identificira strmine u svakoj ćeliji rasterske površine (datoteka *nagib_DMR*),
- Ploha podine gornjeg sloja (datoteka *ploha_pgs*) kreirana interpolacijom poznatih izostrata (izolinija) podine gornjeg sloja vodonosnika,
- Ploha podine proslojka (datoteka *ploha_pp*) kreirana interpolacijom poznatih izostrata (izolinija) podine proslojka vodonosnika,
- Ploha podine donjeg sloja (datoteka *ploha_pds*) kreirana interpolacijom poznatih izostrata (izolinija) podine donjeg sloja vodonosnika.

Svi navedeni skupovi podataka izrezani su na područje granice varaždinskog vodonosnika te čine izrezane podatke nagiba terena (datoteka *nagib_DMR_clip*) i plohe podina (datoteke *ploha_pgs_clip*, *ploha_pp_clip* i *ploha_pds_clip*).



Slika 33. Prikaz okvira podataka *HG model VŽ vodonosnika* i elemenata unutar grupe podataka *Model VŽ vodonosnika*

6. ZAKLJUČAK

Varaždinski vodonosnik u dravskom bazenu, po svojim hidrauličkim i hidrogeološkim svojstvima, zajedno sa savskim bazenom, glavni je vodoopskrbni i strateški resurs sjeverne Hrvatske. Upravljanje takvim podzemnim vodonosnicima nije jednostavan proces. Podaci koji su nam potrebni za analize i modeliranja nalaze se u podzemlju te nisu lako dohvatljivi. Kako bi što bolje, učinkovitije i racionalnije koristili GIS potrebno je prikupiti velike količine prostornih i vremenskih podataka. Stvoriti pouzdanu bazu podataka najzahtjevniji je dio i iziskuje veliki trud i ono najvažnije, vrijeme. Kao takav, GIS je nezaobilazan u vodnogospodarstvenom i hidrološkom planiranju.

Najveće opasnosti koje prijete podzemnim vodonosnicima su onečišćujuće tvari iz industrija i poljoprivrede te bojazan od prevelikog crpljenja pitke vode. GIS se trenutno u Hrvatskoj u najvećoj mjeri koristi kod zaštite podzemnih voda za izradu zona sanitarnih zaštita i za izradu poplavnih karata te karata ostalih prirodnih ranjivosti i rizika. GIS nam svojim pouzdanim podacima kroz prostorne analize i vizualizacije omogućuje bolje razumijevanje odnosa koji se dešavaju u podzemlju.

U radu su dani neki primjeri mogućnosti primjene GIS tehnologije u vodnom gospodarstvu. Kao glavni zadatak rada, napravljen je pojednostavljeni hidrogeološki model varaždinskog vodonosnika upotrebom GIS-a, odnosno aplikacija ArcMap i ArcScene. Na temelju prikupljenih podataka (topografske karte, kote, izostrate slojeva, vodotoci) u aplikaciji ArcMap, digitaliziranjem i drugim obradama, dobiveni su potrebni podaci pomoću kojeg je u aplikaciji ArcScene dobiven trodimenzionalni model vodonosnika.

Pomoću ovog modela možemo vizualizirati stanje i kretanje površinskih i podzemnih voda te na koji način i kojom brzinom se onečišćivalo kreće u vodotoku i podzemnim vodama. Shodno tome se mogu učinkovito odrediti zone sanitarnih zaštita ili poplavnih područja te niz drugih mjera kako bi se na pravilan način zaštitili vodonosnici. Zahvaljujući svim mogućnostima ovog alata, možemo reći da je GIS više od softvera i da je njegov razvoj usporediv s drugim tehnološkim dostignućima poput raznih softvera, analitičkih algoritama, aplikacija i računalnih informacijskih sustava.

7. LITERATURA

AGI – American Geosciences Institute (2019). *What is Lidar and what is it used for?* [Online]. Dostupno na: https://www.americangeosciences.org/critical-issues/faq/what-lidar-and-what-it-used. [25.11.2019]

ArcGIS Pro (2019). *How Topo To Raster Works.* [Online]. Dostupno na: https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-topo-to-raster-works.htm. [29.8.2019.]

Bačani, A. (2008). *Elaborat o zaštitnim zonama izvorišta Varaždin, Bartolovec i Vinokovščak.* Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

Biondić, R. (2010). *Uvod u GIS (Geografski informacijski sustav).* Skripta iz kolegija Geografski informacijski sustav. Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Varaždin.

Bolstad, P. (2002). *GIS Fundamentals: Chapter 2.* [Online]. Dostupno na: http://www.geo.umass.edu/courses/geo494a/Chapter2_GIS_Fundamentals.pdf. [25.8.2019.]

Brkić Ž., Marković T., Larva O. (2012). *Ekološko stanje Varaždinskog vodonosnika.* Znanstveni skup „Inženjerstvo okoliša 2012.“. Varaždin.

CGP - County of Grande Praire (2012). *Maps and GIS*. [Online]. Dostupno na: https://www.countygp.ab.ca/assets/Community/Docs/5pointsOfGIS.pdf. [27.8.2019.]

CIS (2009). *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC)*. [Online]. Dostupno na: https://circabc.europa.eu/sd/a/d5a9cbcd-e693-483f-a76d-5b64b8f80311/WISE%20GIS%20guidance-No22-%202nd%20edition%20Nov__08.pdf. [23.9.2019.]

DGU – Državna geodetska uprava (2011). *Podjela na listove karata i katastarskih planova Republike Hrvatske u HTRS96/TM projekcijskom koordinatnom referentnom sustavu*. [Online]. Dostupno na: http://listovi.dgu.hr/. [26.8.2019.]

DGU - Državna geodetska uprava (2019). *Aerofotogrametrijski snimak*. [Online]. Dostupno na: https://dgu.gov.hr/proizvodi-i-usluge/podaci-topografske-izmjere/aerofotogrametrijski-snimak/181. [22.9.2019.]

DGU – Državna geodetska uprava (2019a). *Topografska karta 1:25 000 (TK25)*. [Online]. Dostupno na: https://dgu.gov.hr/proizvodi-i-usluge/sluzbene-drzavne-karte-i-ostale-karte/topografska-karta-1-25-000-tk25/176. [25.8.2019.]

DGU – Državna geodetska uprava (2019b). *Topografska karta 1:100 000 (TK100)*. [Online]. Dostupno na: https://dgu.gov.hr/proizvodi-i-usluge/sluzbene-drzavne-karte-i-ostale-karte/topografska-karta-1-100-000-tk100/177. [25.8.2019.]

EC – European Commission (2014). *INSPIRE Data Specification on Hydrography – Technical Guidelines*. [Online]. Dostupno na: https://inspire.ec.europa.eu/documents/Data_Specifications/INSPIRE_DataSpecification_HY_v3.1.pdf. [15.9.2019.]

ESRI (1992). *Understanding GIS, Rev 6.* Environmental Systems Research Institute – ESRI, Inc., Redlands, CA, USA.

ESRI (2010). *Spatial Data Infrastructure.* [Online]. Dostupno na: https://www.esri.com/library/brochures/pdfs/spatial-data-infrastructure.pdf. [17.9.2019.]

Geoportal DGU (2015). *Geoportal Državne geodetske uprave*. [Online]. Dostupno na: https://geoportal.dgu.hr/. [20.9.2019.]

GIStandards (2018). *Geographic Information System (GIS).* [Online]. Dostupno na: https://www.gistandards.eu/. [15.8.2019.]

GPS (2019). *The Global Positioning System*. [Online]. Dostupno na: https://www.gps.gov/. [20.9.2019.]

Grizelj Šimić, V. (2014). GIS i njegova primjena u hidrologiji i suvremenom vodnogospodarskom planiranju. *Hrvatske vode.* Broj 22 (88), str. 119-130.

Haines, D. (2006). GIS Improves Stormwater Management. *Goverment Engineering*. Oct: 44-45

Halapija, H.; Piskor, D.; Radeljić, I. (2008). Prostorni informacijski sustavi odvodnje – sinergija geodezije, građevine i informatike. *Zbornik radova 1. simpozija ovlaštenih inženjera geodezije: Hrvatska geodezija –izazovi struke u 21. stoljeću*. HKAIG –Razred inženjera geodezije, Opatija 24.-26. listopad 2008.

Hlevnjak, B.; Strelec, S.; Jug, J. (2015). Hidrogeološki uvjeti pojave glinenog proslojka unutar varaždinskog vodonosnika. *Inženjerstvo okoliša*. Broj 2 (2), str. 73-81.

Hrvatske vode (2012). *Prethodna procjena rizika od poplava. Republika Hrvatska: vodno područje rijeke Dunav i jadransko vodno područje*. [Online]. Dostupno na: https://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/prethodna_procjena_rizika_od_poplava_-_tekst.pdf. [26.8.2019.]

Hrvatske vode (2014). *Karte opasnosti i karte rizika od poplava (KORP).* [Online]. Dostupno na: http://korp.voda.hr/. [27.8.2019.]

Hrvatske vode (2016). *Plan upravljanja vodnim područjima (PUVP) za razdoblje 2016. – 2021.* [Online]. Dostupno na: https://www.voda.hr/sites/default/files/plan_upravljanja_vodnim_podrucjima_2016._-_2021.pdf. [26.8.2019.]

Hu, Y. & Li, W. (2017). *Spatial Data Infrastructures*. The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge, John P. Wilson (ed.). [Online]. Dostupno na: http://dx.doi.org/10.22224/gistbok/2017.2.1. [15.9.2019.]

ISEPEI - In-Service ICT Training For Environmental Professionals (2017). *Geographic Information Systems (GIS)*. [Online]. Dostupno na: http://isepei.org/technologies/gis. [17.7.2019.]

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

Kolarek, M. (2010). Primjena GIS-a u sustavima odvodnje otpadnih voda. *Ekscentar*. Broj 12, str. 78-81

McDonald, M.G. and Harbaugh, A.W. (1988). *A modular threedimensional finite-difference ground-water flow model*. U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investignations. Book 6, Chapter A1.

NIPP - Nacionalna infrastruktura prostornih podatka (2015). *Što je INSPIRE direktiva?* [Online]. Dostupno na: http://www.nipp.hr/default.aspx?id=23. [21.9.2019.]

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration (2019). *Geographic Information System*. [Online]. Dostupno na: https://www.ncddc.noaa.gov/activities/healthy-oceans/gis/. [21.9.2019]

Penn State University (2018). *Exploring Imagery and Elevation Data in GIS Applications.* [Online]. Dostupno na: https://www.e-education.psu.edu/geog480/node/490. [29.8.2019.]

Pollock, D.W. (1989). *Documentation of computer programs to compute and display pathlines using results from the U.S. Geological Survey modular threedimensional finite-difference ground-water flow model*. U.S. Geological Survey. Open-File Report 89-381

Posavec, K., Mustač, I. (2008). Zone sanitarne zaštite međimurskih vodocrpilišta. *Hrvatske vode*. Broj 17 (68), str. 113-124.

Pravilnik o izmjenama Pravilnika o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta (2013). Narodne novine. Broj 47. [28.8.2019.]

Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta (2011). Narodne novine. Broj 66. [28.8.2019.]

Rajabifard, A. & Williamson, I. (2003). *Spatial data infrastructures: concept, SDI hierarchy and future directions*. [Online]. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/228581533_Spatial_data_infrastructures_concept_SDI_hierarchy_and_future_directions. [23.9.2019.]

Šimunić, An.; Pikija, M.; Hećimović, I. (1982). *Osnovna geološka karta SFRJ M 1:100000, list Varaždin*. Sav. geol. zavod, Beograd.

Šimunić, An.; Pikija, M.; Hećimović, I.; Šimunić, Al. (1982a). *Osnovna geološka karta SFRJ M 1:100000, tumač za list Varaždin*. Sav. geol. zavod, Beograd.

Šperac, M.; Moser, V.; Stvorić, T. (2012). Održavanje kanalizacijskog sustava uz primjenu GIS-a. *Elektronički časopis Građevinskog fakulteta Osijek – e-GFOS.Broj 5, str. 86 – 94.*[Online]. Dostupno na: http://e-gfos.gfos.hr/app/storage/protected/42-09-06-2017-11-30-33-sperac-moser-stvoric.pdf. [28.8.2019.]

Urumović, K.; Hlevnjak, B.; Prelogović, E.; Mayer, D. (1990). Hidrogeološki uvjeti varaždinskog vodonosnika. *Geološki vjesnik*. Broj 43, str. 149-158.

Varaždinska županija (2014). *Izvješće o stanju okoliša Varaždinske županije za razdoblje od 2010. do 2013.* [Online]. Dostupno na: http://www.varazdinska-

zupanija.hr/repository/public/upravna-tijela/poljoprivreda/zastita-okolisa/dokumenti/izvjesce-o-stanju-okolisa.pdf. [20.7.2019.]

Wieczorek, William F. and Delmerico, Alan M. (2009). Geographic Information System. *Computational statistics*. Volume 1 (2), pp. 167-186. [Online]. Dostupno na: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2921721/. [17.8.2019.]

POPIS SLIKA

Slika 1. Varaždinski vodonosnik s crpilištima Varaždin, Bartolovec i Vinokovščak (Brkić i sur. 2012) 2
Slika 2. Karta prirodne ranjivosti vodonosnika panonskog dijela (vodnog područja rijeke Dunav) (Hrvatske vode 2016) 3
Slika 3. Geološka karta varaždinskog vodonosnika (listovi OGK Varaždin i Čakovec u mjerilu 1:100 000) (Šimunić i sur. 1982, 1982a) 4
Slika 4. Shematski uzdužni litološki profili duž varaždinskog vodonosnika trasom Križovljan – Varaždin – Vularija, trasa profila 1 – 1´ (Hlevnjak i sur. 2015) 5
Slika 5. Komponente GIS-a (CGP 2012) 8
Slika 6. Preklapanje slojeva u GIS-u (NOAA 2019) 9
Slika 7. Primjer vektorskih i rasterskih podataka (Bolstad 2002) 11
Slika 8. Koraci u stvaranju GIS projekta (ESRI 1992) 14
Slika 9. Stvaranje GIS aplikacijskog sustava (ESRI 1992) 15
Slika 10. Izgled Geoportala Državne geodetske uprave (Geoportal DGU 2015) 17
Slika 11. Prethodna procjena rizika od poplava – preliminarni stupanj rizika od poplava za Republiku Hrvatsku (Hrvatske vode 2012) 19
Slika 12. Karta opasnosti od poplava po vjerojatnosti pojavljivanja na području varaždinskog vodonosnika (Hrvatske vode 2014) 20
Slika 13. Karta sustava odvodnje grada SlavonskogBroda (Šperac i sur. 2012) 22
Slika 14. Prijedlog zona sanitarne zaštite vodocrpilišta Nedelišće, Prelog i Sveta Marija (Posavec i Mustač 2008) 24
Slika 15. Trodimenzionalni sustav međimurskog vodonosnika (Posavec i Mustač 2008) 25
Slika 16. Digitalizirane granice šireg promatranog područja varaždinskog vodonosnika i granice domene vodonosnika na podlozi geološke karte 27
Slika 17. Digitalizirane kote na TK100 28
Slika 18. Digitalizirane kote na TK25 28
Slika 19. Digitalizirane kote na TK25 i TK100 29
Slika 20. Digitalizirani vodotoci i jezera 29
Slika 21. Digitalni model reljefa (DMR) 30
Slika 22. Karta nagiba terena 31

Slika 23. Izostrate podine prvog vodonosnika 32
Slika 24. Izostrate podine proslojka 32
Slika 25. Izostrate podine drugog vodonosnika 33
Slika 26. Interpolacija plohe podine gornjeg sloja (prvog vodonosnika) 33
Slika 27. Interpolacija plohe podine proslojka 34
Slika 28. Interpolacija plohe podine donjeg sloja (drugog vodonosnika) 34
Slika 29. Pojednostavljeni hidrogeološki model varaždinskog vodonosnika (prikaz istok - zapad) 35
Slika 30. Pojednostavljeni hidrogeološki model varaždinskog vodonosnika (prikaz zapad - istok) 36
Slika 31. Prikaz okvira podataka *HG model VŽ vodonosnika* i elemenata unutar grupe podataka *Osnovni skup podataka* 37
Slika 32. Prikaz okvira podataka *HG model VŽ vodonosnika* i elemenata unutar grupe podataka *Glavni geometrijski elementi* 38
Slika 33. Prikaz okvira podataka *HG model VŽ vodonosnika* i elemenata unutar grupe podataka *Model VŽ vodonosnika* 39