

Upotreba GIS-a u analizi mogućnosti plavljenja lokacije

Puljko, Martina

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:694115>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-28**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Diplomski studij geološkog inženjerstva

UPOTREBA GIS-A U ANALIZI MOGUĆNOSTI PLAVLJENJA LOKACIJE

Diplomski rad

Martina Puljko

GI 341

Zagreb, 2020.

UPOTREBA GIS-A U ANALIZI MOGUĆNOSTI PLOVLJENJA LOKACIJE

MARTINA PULJKO

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Plinsko-kondenzatno polje ugljikovodika „Dravica - Zalata“ smješteno je na sjevernom dijelu Republike Hrvatske, na području Osječko-baranjske i Virovitičko-podravske županije. Budući da se nalazi u inundacijskom pojasu, u skladu s vodopravnim uvjetima Hrvatskih voda, potrebno je provesti analizu mogućnosti poplavljanja. U ovom radu prikazana je upotreba geografskog informatičkog sustava (GIS-a) u analizi mogućnosti plavljenja lokacije, primjenom vektorskih modela terena. Prostorna analiza provedena je koristeći podatke vodostaja s vodomjernih postaja Podravska Moslavina i Vrbovka, jednog zabilježenog te drugog prognozirano korištenjem regresijske analize. Na osnovi provedene analize definirana su područja podložna poplavljanju u vrijeme visokih vodostaja rijeke Drave, što je važno za poduzimanje daljnjih mjera zaštite radnog prostora.

Ključne riječi: GIS, poplavljanje, plinsko-kondenzatno polje, vodomjerne postaje, rijeka Drava, regresija

Diplomski rad sadrži: 43 stranice, 10 tablica, 25 slika i 20 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Doc. dr. sc. Dario Perković

Ocjenjivači:
1. Doc. dr. sc. Dario Perković
2. Prof. dr. sc. Kristijan Posavec
3. Izv. prof. dr. sc. Željko Duić

Datum obrane: 14.02.2020.

APPLICATION OF GIS IN LOCATION FLOODING ANALYSIS

MARTINA PULJKO

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum engineering
Department of Geology and Geological Engineering
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

The “Dravica – Zalata” gas-condensate field is located in the northern part of the Republic of Croatia, in the Osijek-Baranja and Virovitica-Podravina counties. Since it is located in the inundation zone, in accordance with the water management conditions of the legal entity for water management in the Republic of Croatia, it is necessary to carry out an analysis of the flooding possibility. This thesis shows the application of geographic information system (GIS) in the analysis of location flooding possibility, using vector terrain models. Spatial analysis was performed using water level data from gauging stations Podravska Moslavina and Vrbovka, one recorded and the other calculated using regression analysis. The flood-prone areas, during the high-water levels of the Drava River, were defined, which is important for taking further measures to protect the working area.

Keywords: GIS, flooding, gas-condensate field, gauging stations, Drava River, regression

Thesis contains: 43 pages, 10 tables, 25 figures and 20 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: PhD Dario Perković, Assistant Professor

Reviewers: PhD Dario Perković, Assistant Professor
PhD Kristijan Posavec, Full Professor
PhD Željko Duić, Associate professor

Date of defense: February 14, 2020

Sadržaj

1	UVOD	1
2	PLINSKO-KONDENZATNO POLJE DRAVICA-ZALATA	2
3	HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE	5
3.1	Grupirano vodno tijelo „Legrad - Slatina“	6
3.2	Grupirano vodno tijelo „Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava“	8
4	HIDROLOŠKE ZNAČAJKE	11
4.1.	Inundacijski pojas	13
4.2.	Mogućnost plavljenja lokacije kod visokih vodostaja	14
5	GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SUSTAV (GIS)	17
5.1	Općenito o GIS-u	17
5.2	Faze razvoja GIS-a	18
5.2.1	Ulaz podataka u GIS	18
5.2.2	Tematsko modeliranje	19
5.2.3	Prostorne operacije	20
5.2.4	Vizualizacija	21
6	UPOTREBA GIS-A U ANALIZI MOGUĆNOSTI PLAGLJENJA PLINSKO-KONDENZATNOG POLJA „DRAVICA - ZALATA“	22
6.1	Prikupljanje i obrada skupa podataka u svrhu definiranja maksimalnih vodostaja rijeke Drave na istraživanom području	22
6.2	Ulaz i obrada prostornih podataka za istraživano područje u GIS-u	26
6.3	Prostorna analiza podataka u svrhu definiranja mogućnosti plavljenja plinsko-kondenzatnog polja „Dravica - Zalata“	28
6.3.1	Definiranje vodnog lica visokih voda rijeke Drave	28
6.3.2	Generiranje TIN modela vodne plohe rijeke Drave	31
6.3.3	Generiranje TIN modela terena	33
6.3.4	Definiranje poplavnog područja plinsko-kondenzatnog polja „Dravica - Zalata“	35
7	REZULTATI	38
8	ZAKLJUČAK	41
9	LITERATURA	42

Popis tablica

Tablica 2-1 Podaci o bušotinama unutar plinsko-kondenzatnog polja ugljikovodika "Dravica - Zalata"	2
Tablica 3-1 Podaci o grupiranom vodno tijelu „Legrad - Slatina“	6
Tablica 3-2 Podaci o grupiranom vodno tijelu „Istočna Slavonija – Sliv Drave i Dunava“	8
Tablica 4-1 Podaci o minimalnim i maksimalnim zabilježenim vodostajima rijeke Drave na vodomjernim postajama Vrbovka i Podravska Moslavina.....	15
Tablica 4-2 Podaci o maksimalnim zabilježenim vodostajima rijeke Drave na vodomjernim postajama Vrbovka i Podravska Moslavina za datum mjerenja koji imaju obje vodomjerne postaje.....	15
Tablica 4-3 Podaci o maksimalnim vodostajima rijeke Drave na vodomjernim postajama Vrbovka i Podravska Moslavina dobivene regresijskom analizom.....	15
Tablica 6-1 Koordinate vodomjernih postaja	22
Tablica 6-2 Podaci o maksimalnim zabilježenim vodostajima rijeke Drave na vodomjernim postajama Podravska Moslavina i Vrbovka za razdoblje od 1998. do 2017. godine	23
Tablica 6-3 Opis ulaznih podataka za prostorne analize mogućnosti plavljenja plinsko-kondenzatnog polja „Dravica – Zalata“.....	26
Tablica 6-4 Maksimalni vodostaji rijeke Drave na virtualnim vodomjernim postajama	30

Popis slika

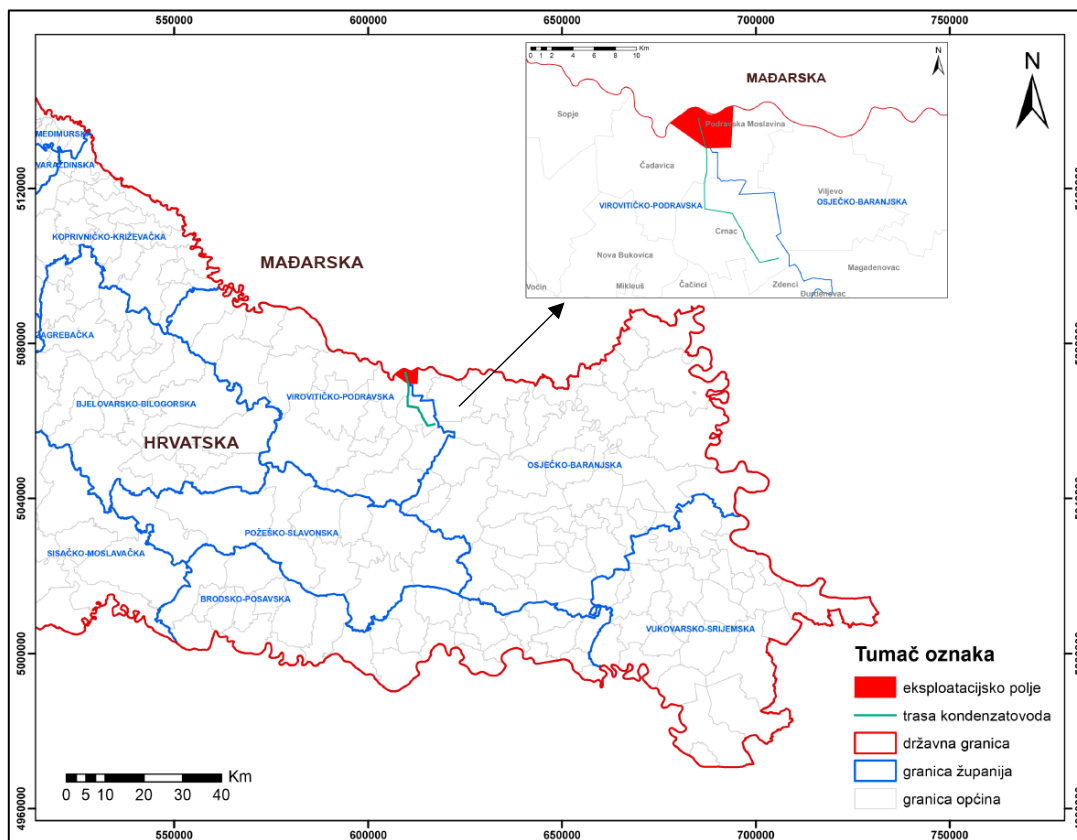
Slika 1-1 Područje istraživanja.....	1
Slika 2-1 Razmještaj bušotina na plinsko-kondenzatnom polju Dravica – Zalata (prikaz na podlozi TK 1:25000)	3
Slika 2-2 Razmještaj bušotina na plinsko-kondenzatnom polju Dravica – Zalata (prikaz na podlozi DOF 1:5000).....	4
Slika 3-1 Položaj eksploatacijskog polja „Dravica – Zalata“ i kondenzatovoda s obzirom na grupirana vodna tijela podzemne vode i crpilišta.....	5
Slika 4-1 Vodotoci i kanali na području plinsko-kondenzatnog polja "Dravica - Zalata"	11
Slika 4-2 Inundacijski pojas na području plinsko-kondenzatnog polja „Dravica – Zalata“ (preuzeto iz: Idejni rudarski projekt, 2017).....	13
Slika 4-3 Lokacija vodomjernih postaja na rijeci Dravi.....	14
Slika 5-1 Prikaz podataka u vektorskom i rasterskom obliku	19
Slika 5-2 Slojevi prostornih podataka u GIS-u.....	20
Slika 6-1 Prikaz regresijskog modela maksimalnih zabilježenih vodostaja rijeke Drave na vodomjernim postajama Podravska Moslavina i Vrbovka za razdoblje od 1998. do 2017. godine	25
Slika 6-2 Ulazni podatci za prostorne analize mogućnosti plavljenja plinsko-kondenzatnog polja „Dravica – Zalata“	27
Slika 6-3 Primjena naredbe Clip.....	28
Slika 6-4 Primjena naredbe Construct Points	28
Slika 6-5 Virtualne vodomjerne postaje rijeke Drave na istraživanom području	29
Slika 6-6 Prikaz pravaca obuhvata postojećih i virtualnih vodomjernih postaja	31
Slika 6-7 Primjena naredbe Create TIN	32
Slika 6-8 Primjena naredbe Buffer	32
Slika 6-9 TIN model vodne plohe na istraživanom području.....	33
Slika 6-10 TIN model terena s prikazom vodomjernih postaja (A) i uvećani prikaz (B)	34
Slika 6-11 Odnos nadmorskih visina vodne plohe i terena u slučaju visokih voda na području eksploatacijskog polja „Dravica – Zalata“	35
Slika 6-12 Primjena naredbe TIN to Raster.....	36

Slika 6-13 Trodimenzionalni prikaz poplavljenog područja eksploatacijskog polja „Dravica – Zalata“	37
Slika 7-1 Poplavno područje u slučaju visokih voda na području eksploatacijskog polja „Dravica – Zalata“	38
Slika 7-2 Poplavno područje u slučaju visokih voda s velikom vjerojatnosti pojavljivanja na području eksploatacijskog polja „Dravica – Zalata“ (WEBGIS Hrvatskih voda, 2017).....	39
Slika 7-3 Poplavno područje u slučaju visokih voda s velikom vjerojatnosti pojavljivanja na području eksploatacijskog polja „Dravica – Zalata“, s prikazom dubina vode (WEBGIS Hrvatskih voda, 2017)	40

1 UVOD

Predmet istraživanja, plinsko-kondenzatno polje ugljikovodika „Dravica - Zalata“ nalazi se na sjevernom dijelu Republike Hrvatske uz granicu s Republikom Mađarskom, na području Osječko-baranjske i Virovitičko-podravске županije. Dio je općina Podravska Moslavina i Čadavica, a trasa kondenzatovoda prelazi dodatno i preko općine Crnac (Slika 1-1). Osim u Republici Hrvatskoj, polje je jednim dijelom smješteno i u Republici Mađarskoj.

Budući da se navedeno područje nalazi u inundacijskom području, u skladu s vodopravnim uvjetima Hrvatskih voda, izrađena je analiza mogućnosti plavljenja lokacije kod visokih vodostaja, kako bi se mogle poduzeti mjere zaštite radnog prostora. Navedena analiza provedena je upotrebom geografskog informacijskog sustava (GIS), prostornom analizom vodnog lica rijeke Drave i okolnog terena. Korišteni su podaci vodomjernih postaja Podravska Moslavina i Vrbovka. Na prvoj postaji maksimalni korišteni vodostaj rijeke Drave je zabilježen, dok je na drugoj prognozirani korištenjem regresijske analize.



Slika 1-1 Područje istraživanja

2 PLINSKO-KONDENZATNO POLJE DRAVICA-ZALATA

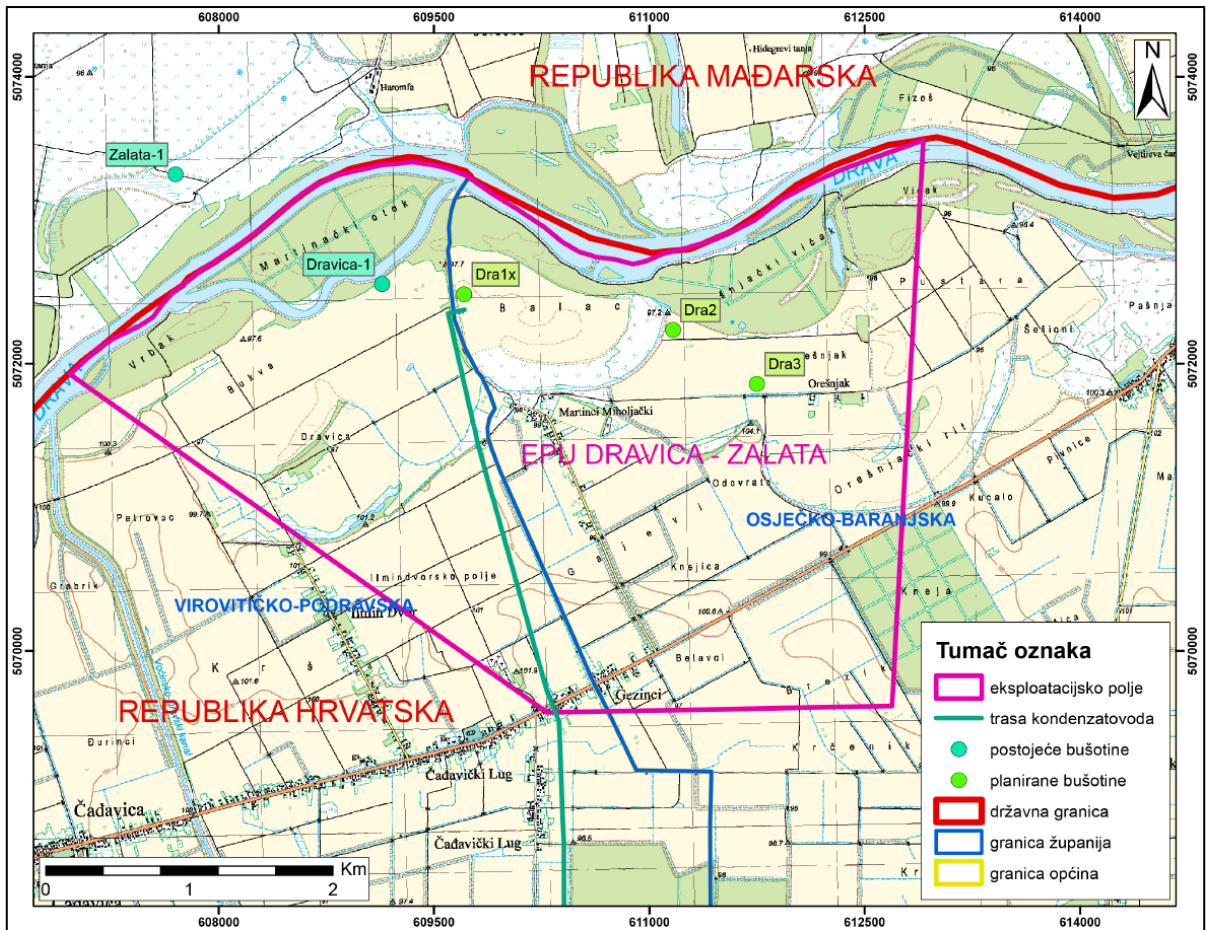
Plinsko-kondenzatno polje ugljikovodika „Dravica - Zalata“ administrativno pripada Osječko-baranjskoj i Virovitičko-podravskoj županije te se nalazi na području općina Podravska Moslavina i Čađavica. Zauzima površinu od 16 km² te se nalazi na pretežito ravničarskom području, prosječne nadmorske visine od 99 m (INA, 2014).

Polje je otkriveno 2006. godine, bušenjem prve istražne bušotine Zalata-1 na teritoriju Republike Mađarske, zbog povoljnijeg strukturnog položaja. Ispitivanja na navedenoj bušotini tijekom 2007. godine ukazala su na prisutnost ekonomskih količina plina i kondenzata. Uključivanjem podataka dobivenih bušotinom Zalata-1 u seizmičku reinterpetaciju istraživanog područja, izrađena je istražna bušotina Dravica-1 na teritoriju Republike Hrvatske tijekom 2008. godine. Navedena bušotina pozicionirana je oko 1500 m jugoistočno od bušotine Zalata-1 te se nalazi približno 1200 m sjeverozapadno od sela Martinci Miholjački. Tijekom 2010. godine u bušotini Dravica-1 provedena su ispitivanja, čiji su rezultati potvrdili otkriće plinsko-kondenzatnog polja „Dravica – Zalata“ (INA, 2014). Razmještaj bušotina na topografskoj te digitalnoj ortofoto karti prikazan je na Slikama 2-1 i 2-2.

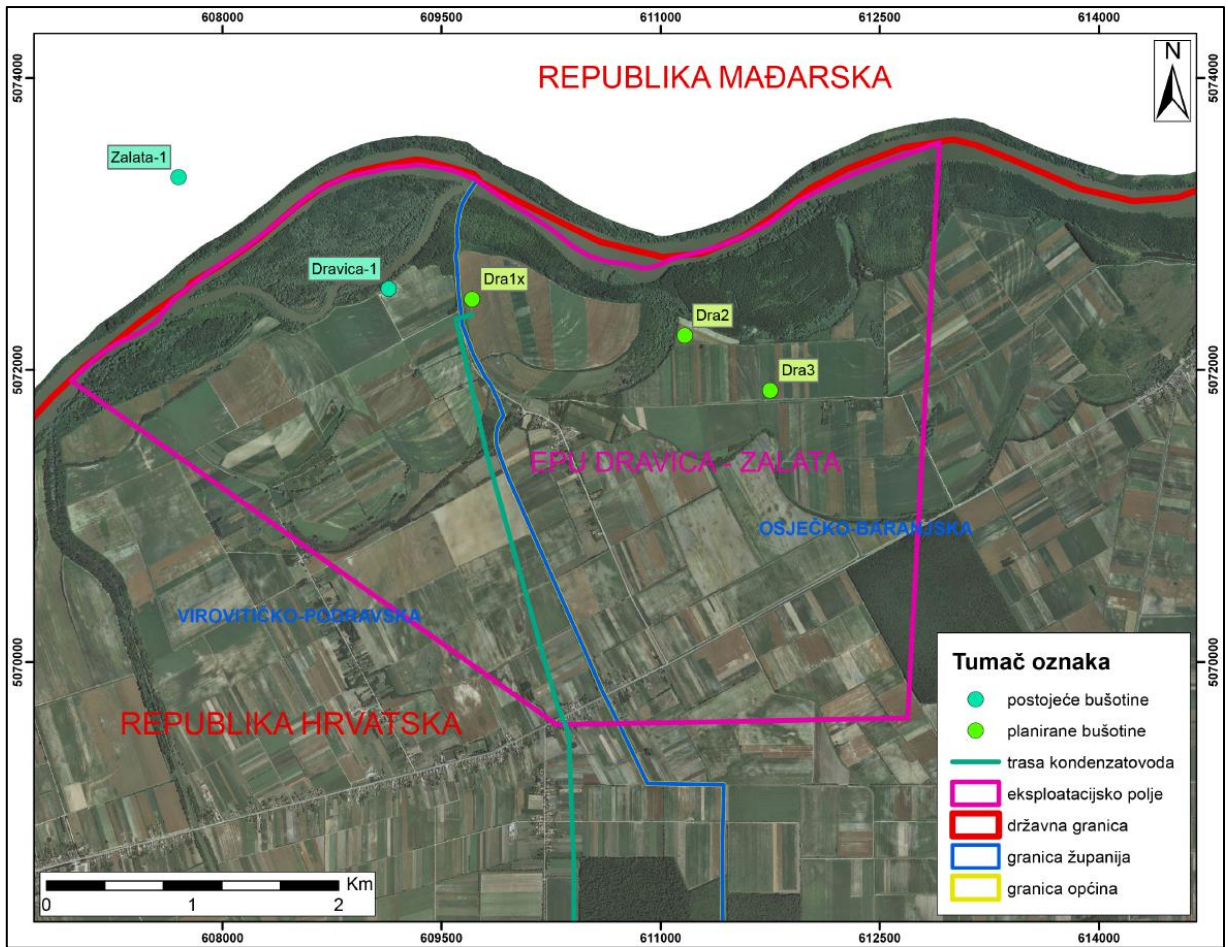
Podaci o postojećim i planiranim bušotinama unutar plinsko-kondenzatno polja ugljikovodika „Dravica - Zalata“ prikazani su u Tablici 2-1 (RGNF, 2019). Koordinate ušća bušotina prikazane su u dva koordinatna sustava: MGI Balkans 6 i HTRS96/TM. Oznaka H predstavlja nadmorsku visinu ušća bušotine.

Tablica 2-1 Podaci o bušotinama unutar plinsko-kondenzatnog polja ugljikovodika "Dravica - Zalata"

Red. broj	Bušotina	E_GK6	N_GK6	E_HTRS	N_HTRS	H [m]	STATUS
1.	Dravica-1	6492905,93	5071106,21	609138,55	5072555,52	96,25	Eksploatacijska-plinska
2.	Dra-1x	6493475,88	5071026,68	609709,98	5072486,71	95,84	Eksploatacijska-plinska
3.	Dra-2	6494925,16	5070749,92	611164,43	5072237,20	96,54	Eksploatacijska-plinska
4.	Dra-3	6495504,49	5070363,08	611751,02	5071861,26	95,26	Eksploatacijska-plinska



Slika 2-1 Razmještaj bušotina na plinsko-kondenzatnom polju Dravica – Zalata (prikaz na podlozi TK 1:25000)

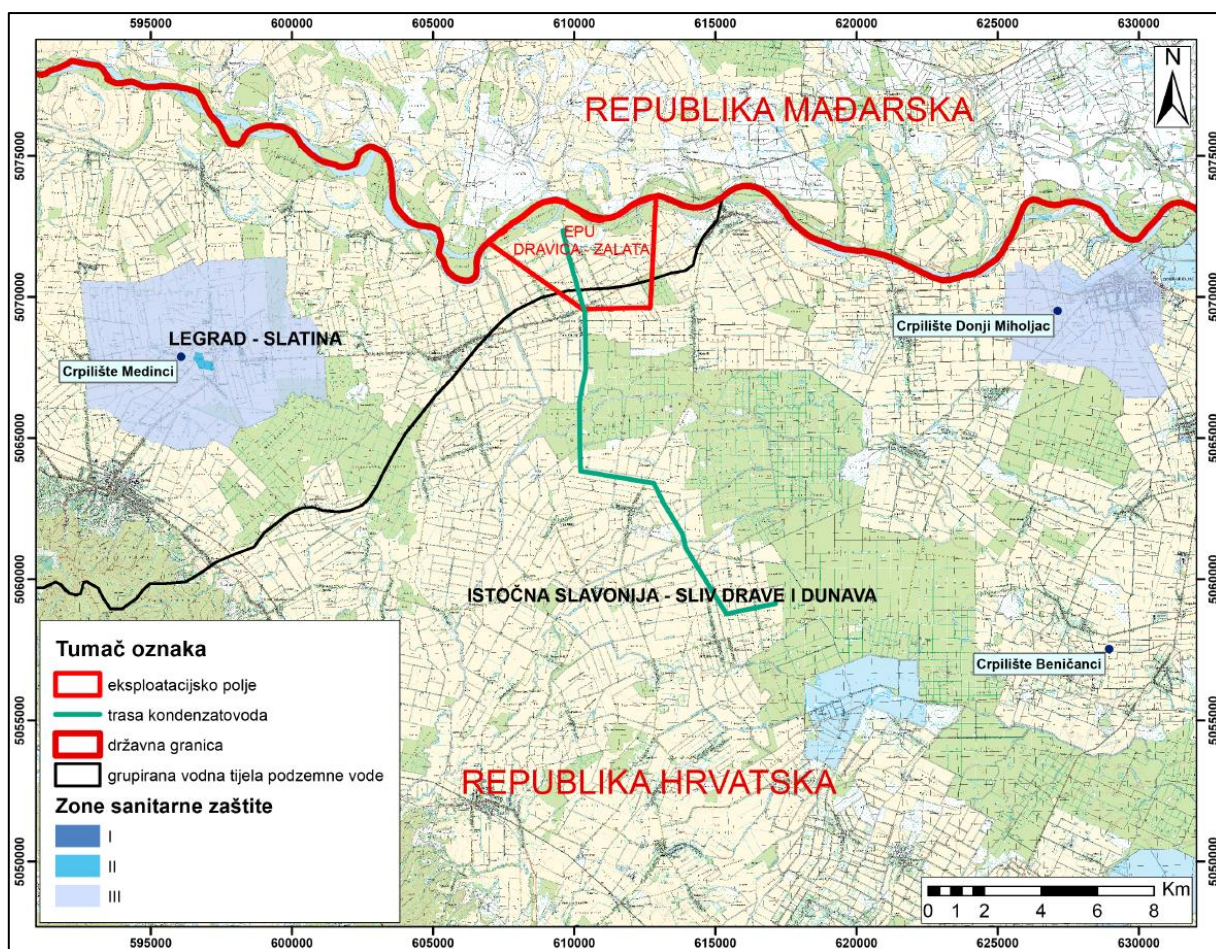


Slika 2-2 Razmještaj bušotina na plinsko-kondenzatnom polju Dravica – Zalata (prikaz na podlozi DOF 1:5000)

3 HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE

Prema „Planu upravljanja vodnim područjima – Dodatak I. Analiza značajki Vodnog područja rijeke Dunav“ (Hrvatske vode, 2013) područje plinsko-kondenzatnog polja „Dravica – Zalata“ pripada dvama grupiranim vodnim tijelima podzemne vode: „Legrad – Slatina“ kojem pripada veći, sjeverni dio polja površine 13,8 km² te „Istočna Slavonija – Sliv Drave i Dunava“ kojem pripada manji, južni dio polja površine 2,2 km² (Slika 3-1).

Trasa kondenzatovoda većim dijelom (16,27 km²) prolazi područjem grupiranog vodnog tijela „Istočna Slavonija – Sliv Drave i Dunava“, dok kraćim dijelom (2,2 km²) prolazi područjem grupiranog vodnog tijela „Legrad - Slatina“ (RGNF, 2019).



Slika 3-1 Položaj eksploatacijskog polja „Dravica – Zalata“ i kondenzatovoda s obzirom na grupirana vodna tijela podzemne vode i crpilišta

3.1 Grupirano vodno tijelo „Legrad - Slatina“

Sjeverni, veći dio eksploatacijskog polja „Dravica - Zalata“ nalazi se na grupiranom vodnom tijelu „Legrad - Slatina“. Navedeno grupirano vodno tijelo proteže se uz državnu granicu s Republikom Mađarskom, a podaci o njemu prikazani su u Tablici 3-1 (Hrvatske vode, 2013).

Tablica 3-1 Podaci o grupiranom vodno tijelu „Legrad - Slatina“

Naziv grupiranog vodnog tijela podzemne vode	Površina [km ²]	Pravac rasprostiranja uz državnu granicu	Duljina pravca rasprostiranja uz državnu granicu [km]	Nadmorska visina [m]	Prosječna godišnja količina oborina (2008. – 2014.) [mm]	Prosječna godišnja temperatura zraka [°C]
Legrad - Slatina	2.370,58	sjeverozapad - jugoistok	106	95 - 740	856	11,1

Područje grupiranog vodnog tijela „Legrad - Slatina“ izgrađuju dvije geotektonske jedinice: Dravska depresija te dijelovi Bilogorskog i Papučkog gorja. Navedene jedinice okarakterizirane su različitom geološkom građom i morfološkim obilježjima, što dovodi i do različitih hidrogeoloških značajki (RGNF, 2019).

Dravska depresija odlikuje se debelim tercijskim i kvartarnim naslagama u kojima je formiran debeli kvartarni aluvijalni vodonosni kompleks. Takav tip vodonosnika sadrži velike količine podzemne vode te predstavlja osnovna izvorišta vodoopskrbe. Područje Dravske depresije može se dodatno podijeliti na dvije jedinice: nizinski predjeli dravske ravnice za koje su karakteristični vodonosnici velike ukupne debljine te područje rubne terase za koje je karakteristično nekontinuirano pružanje i manja debljina naslaga. Dijelovi Bilogorskog i Papučkog gorja odlikuju se prisutnošću vodonosnika ograničenog prostiranja i lokalnog značenja. Generalni smjer toka podzemne vode je sjeverozapad – jugoistok, mjestimično zapad – istok (RGNF, 2019).

Površinske naslage pridravske ravnice uglavnom su građene od različitih omjera glina, prahova i pijesaka. U rubnim predjelima primjetan je i utjecaj dubokih struktura. Aluvijalni vodonosnik heterogene je građe i obuhvaća naslage do regionalnog repera Q', čija debljina u nekim predjelima prelazi 200 m. Propusne slojeve vodonosnika izgrađuju pijesak i šljunak, dok polupropusne slojeve izgrađuju prah i glina. Zapadnim i južnim terasastim predjelima

prevladava šljunak, dok u istočnim predjelima prevladavaju srednjozrnati i krupnozrnati pijesci. Krovinu vodonosnog sustava pretežno čine slabopropusne naslage, obično izgrađene od močvarnih i kopnenih prapora. Kopneni prapori često prekrivaju pozitivne strukture, dok su močvarni istaloženi u ulekninama. Također, česta je pojava mjestimičnog prekrivanja močvarnih prapora kopnenim praporima. Debljine su raznolike te su česti facijalni prijelazi (RGNF, 2019).

Vrijednosti hidrogeoloških parametara, dobivene su istraživanjima provedenima na crpilištima u području srednje Podravine. Istraživanja su pokazala kako karakteristična vrijednost hidrauličke vodljivosti (K) iznosi 15-150 m/dan, dok koeficijent uskladištenja (S) iznosi $0,1 \cdot 10^{-3}$ - $2 \cdot 10^{-3}$ (RGNF, 2019).

Na udaljenosti od 12 km od eksploatacijskog polja „Dravica - Zalata“, nalazi se vodocrpilište Medinci, smješteno između naselja Grabić, Medinci i Markovo (Slika 3-1). Crpilište služi za vodoopskrbu grada Slatine. Sastoji se od četiri zdenca, no samo su dva uključena u vodoopskrbu. Maksimalna izdašnost pojedinog zdenca iznosi oko $0,06 \text{ m}^3/\text{s}$, što daje maksimalnu izdašnost crpilišta od oko $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$. Vodonosnik je poluzatvorenog tipa, debljine oko 60 m te je izgrađen od šljunka i pijeska. Podinu čini proslojak prašinate gline, dok je krovina građena od pjeskovitog praha debljine 6-8 m. Vodonosnik se obnavlja infiltracijom oborina kroz polupropusnu krovinu. Analizom podataka pokusnog crpljenja dobivena je vrijednost hidrauličke vodljivosti (K), koja iznosi 110 m/dan. Kao posljedica reduktivnih uvjeta očituje se razina željeza od 0,65-1,5 mg/l (RGNF, 2019).

Zone sanitarne zaštite izvorišta određuju se prema Pravilniku o utvrđivanju zona sanitarne zaštite izvorišta (NN 66/11. i 47/13.). Zone sanitarne zaštite navedenog vodocrpilišta definirane su elaboratima „Crpilište Medinci - Elaborat o zaštitnim zonama izvorišta,“ iz 2010. godine i “Elaborat o usklađenju zona sanitarne zaštitne izvorišta” iz 2012. godine, kojeg je izradio Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilišta u Zagrebu (Službeni glasnik Virovitičko-podravске županije).

Najmanja udaljenost između treće zone sanitarne zaštite crpilišta Medinci i sjeveroistočne granice eksploatacijskog polja „Dravica – Zalata“ iznosi 6,75 km. Zbog relativno malih kapaciteta crpljenja, može se reći kako eksploatacijsko polje i kondenzatovod ne mogu utjecati na kakvoću podzemne vode navedenog crpilišta. Zbog relativno dobre propusnosti pokrovnih

naslaga, opasnost za narušavanje kakvoće vode predstavlja upotreba kemijskih agrotehničkih sredstava u poljoprivredi (RGNF, 2019).

3.2 Grupirano vodno tijelo „Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava“

Južni, manji dio eksploatacijskog polja „Dravica - Zalata“ nalazi se na grupiranom vodnom tijelu „Istočna Slavonija – Sliv Drave i Dunava“. Navedeno grupirano vodno tijelo nalazi se na krajnjem istoku Republike Hrvatske uz državnu granicu s Republikom Mađarskom. Za taj dio karakteristične su prostrane ravnice s debelim kvartarnim naslagama, istaloženim tijekom kvartara. Za današnju morfologiju terena zaslužna su postpliocenska gibanja, a izrazito ravničarski tereni odlikuju se bogatim mikroreljefom. Najznačajniji su tragovi meandriranja oko korita rijeka i Đakovačko-vukovarski pleistocenski ravnjak. U mikroreljefu najjasnije se očitava oko 10 km široko inundacijsko područje rijeke Drave (RGNF, 2019). Podaci o grupiranom vodnom tijelu „Istočna Slavonija – Sliv Drave i Dunava“ prikazani su u Tablici 3-2 (Hrvatske vode, 2013).

Tablica 3-2 Podaci o grupiranom vodno tijelu „Istočna Slavonija – Sliv Drave i Dunava“

Naziv grupiranog vodnog tijela podzemne vode	Površina [km ²]	Pravac rasprostiranja uz državnu granicu	Duljina pravca rasprostiranja uz državnu granicu [km]	Nadmorska visina [m]	Prosječna godišnja količina oborina (2008. – 2014.) [mm]	Prosječna godišnja temperatura zraka [°C]
Istočna Slavonija – Sliv Drave i Dunava	5.010,97	zapad-istok	130	75 - 908	734,2	11,1

Litološki, na području navedenog grupiranog vodnog tijela, najzastupljeniji su glina, prah i pijesak, koji se miješaju u različitim omjerima lateralno i vertikalno. Smjerovi toka vode su različiti u pojedinim dijelovima, a na području eksploatacijskog polja „Dravica – Zalata“ generalni smjer toka je jugozapad-sjeveroistok (RGNF, 2019).

Područje je izgrađeno od kvartarnih naslaga za koje je karakteristična izmjena gruboklastičnih i sitnoklastičnih slojeva. Gornji dijelovi naslaga okarakterizirani su nekonsolidiranošću materijala te visokim udjelom gruboklastičnih slojeva, dok donje dijelove naslaga karakterizira veći stupanj konsolidacije te smanjeni udjel gruboklastičnih slojeva. Zbog toga se niži dijelovi naslaga odlikuju povišenom mineralizacijom vode u odnosu na gornje dijelove te postoje znatne razlike u mineralizaciji vertikalno i horizontalno. Debljina kvartarnog vodonosnog kompleksa na ovom području iznosi oko 150 m. Vodonosnik je većim dijelom izgrađen od sitnozrnatog do srednjezrnatog pijeska s tanjim i debljim proslojcima praha i gline (RGNF, 2019).

Istočni dio područja prekrivaju praporne naslage. Kopneni i kopнено - močvarni prapori prekrivaju šire područje Osijeka, koji se nastavljaju od Erdutskog ravnjaka i uzvodno slijede Dravsku terasu. U južnim dijelovima pojavljuju se i močvarne gline, dok u Baranji prevladavaju pijesci, prašinski pijesci i prah (RGNF, 2019).

Južna granica vodnog tijela obuhvaća obronke Papuka. Izvori na tom području vezani su za karbonatne naslage trijasko i miocenske starosti u kojima postoje uvjeti za koncentrirane tokove, no protezanje takvih vodonosnika relativno je ograničeno, zbog čega izdašnost izvora u sušnim razdobljima pada ispod desetak l/s (RGNF, 2019).

Na udaljenosti od 15,5 km, istočno od eksploatacijskog polja „Dravica – Zalata“ nalazi se vodocrpilište Donji Miholjac (Slika 3-1). Crpilište služi za vodoopskrbu grada Donji Miholjac te se sastoji od četiri zdenca koja kaptiraju kvartarni vodonosni sloj na dubini 50-90 m. Maksimalna izdašnosti pojedinog zdenca iznosi oko 0,065 m³/s, a maksimalna izdašnost crpilišta iznosi oko 0,17 m³/s. Vodonosnik je poluzatvorenog tipa te je izgrađen od sitnozrnatog do sitnozrnatog pijeska, kojem veličina zrna opada s dubinom. Vodonosni slojevi zaliježu do dubine od oko 200 m te se izmjenjuju s prašinstim glinama. Vodonosnik se obnavlja infiltracijom oborina kroz polupropusnu krovinu. Rijeka Drava predstavlja rubni uvjet te u prirodnim uvjetima ona drenira podzemne vode, dok je u uvjetima intenzivne eksploatacije situacija drugačija i moguće je očekivati napajanje i obnavljanje podzemnih voda iz korita rijeke Drave (RGNF, 2019).

Za kakvoću vode na ovom području karakteristični su reduktivni uvjeti, koji se očituju visokim sadržajem željeza, koje iznosi 1,9-4,5 mg/l, kao i povećanim utroškom kalijevog

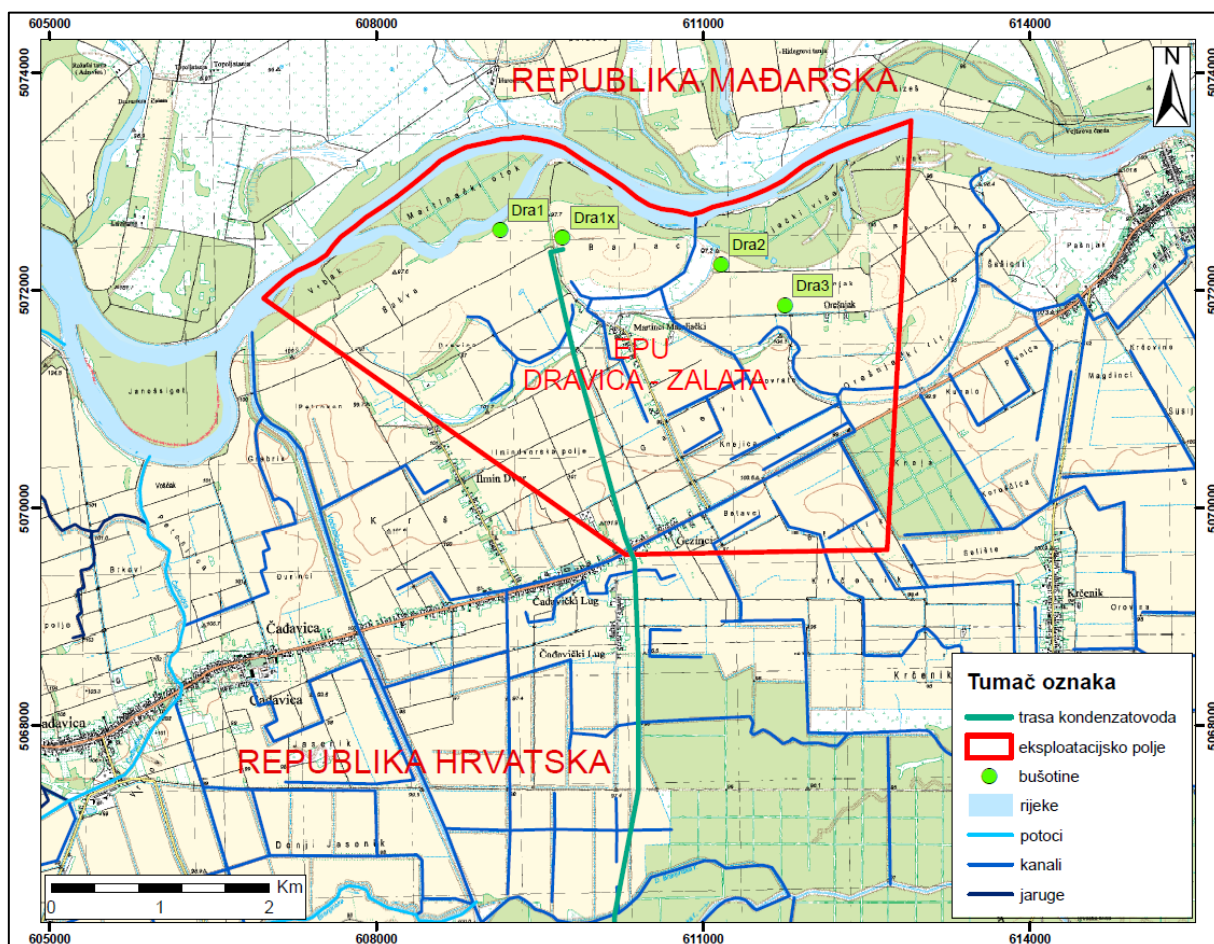
permanganata, koji iznosi 9-15 mg/l. Zagađenja vode mogu se očekivati samo s površine (RGNF, 2019).

Najmanja udaljenost između treće zone sanitarne zaštite crpilišta Donji Miholjac i istočne granice eksploatacijskog polja „Dravica – Zalata“ iznosi 12,5 km. Zbog relativno malih kapaciteta crpljenja i velike udaljenosti od plinsko-kondenzatnog polja, kao i kondenzatovoda, može se reći kako eksploatacijsko polje i kondenzatovod ne mogu utjecati na kakvoću podzemne vode navedenog crpilišta (RGNF, 2019).

Crpilište Beničanci (Slika 3-1) najbliže je trasi kondenzatovoda te je udaljeno oko 12 km. Za to crpilište nisu određene zone sanitarne zaštite, a koristi se za potrebe sekundarnih metoda eksploatacije nafte na naftnom polju Beničanci (RGNF, 2019).

4 HIDROLOŠKE ZNAČAJKE

Plinsko-kondenzatnog polja „Dravica – Zalata“ pripada slivu rijeke Drave, koja čini sjevernu granicu istraživanog područja dugačku 6762 m. Što se tiče ostalih vodotoka, na području polja nema značajnijih stalnih vodotoka, no postoji 20-ak kanala ukupne duljine 14,5 km, kojima voda povremeno otječe. Također, na sjeveroistočnom dijelu nalaze se bara te rukavac rijeke Drave površine oko 6,5 ha (Slika 4-1) (RGNF, 2019).



Slika 4-1 Vodotoci i kanali na području plinsko-kondenzatnog polja "Dravica - Zalata"

Melioracija terena provedena je izvođenjem kanala nižih redova. Projektnim zadatkom definirani su planirani rudarski objekti i postrojenja za eksploataciju plina i kondenzata s plinsko-kondenzatnog polja "Dravica - Zalata". Preko kanala i vodotoka prelaziti će sljedeći objekti:

- Priključni cjevovod od bušotine Dra-2 do PS Dravica (1 prijelaz)
- Priključni cjevovod od bušotine Dra-3 do PS Dravica (1 prijelaz)
- Otpremni kondenzatovod od PS Dravica do Č-2 na naftnom polju Crnac (20 prijelaza)
- Otpremni plinovod od PS Dravica do IP PS Kalinovac (1 prijelaz)

Spojni cjevovod koji povezuje PS Dravica i PS s mađarske strane ići će ispod rijeke Drave (RGNF, 2019).

Rijeka Drava dugačka je 725 km te povezuje alpska područja Italije, Austrije i Slovenije s panonskim područjima Hrvatske i Mađarske. Jedan je od najvećih pritoka rijeke Dunav, s kojom uz Muru čini veliko europsko riječno područje. Izvire u južnom Tirolu u Italiji te teče prema istoku kroz Austriju (Tirol i Korušku), gdje je sastavni dio Dravske doline, koja predstavlja najdulju uzdužnu dolinu u Alpama. Iz Austrije teče jugoistočno kroz Sloveniju, Hrvatsku i jug Mađarske, gdje tvori granicu između dviju država, a u Dunav se ulijeva nizvodno od grada Osijeka (RGNF, 2019).

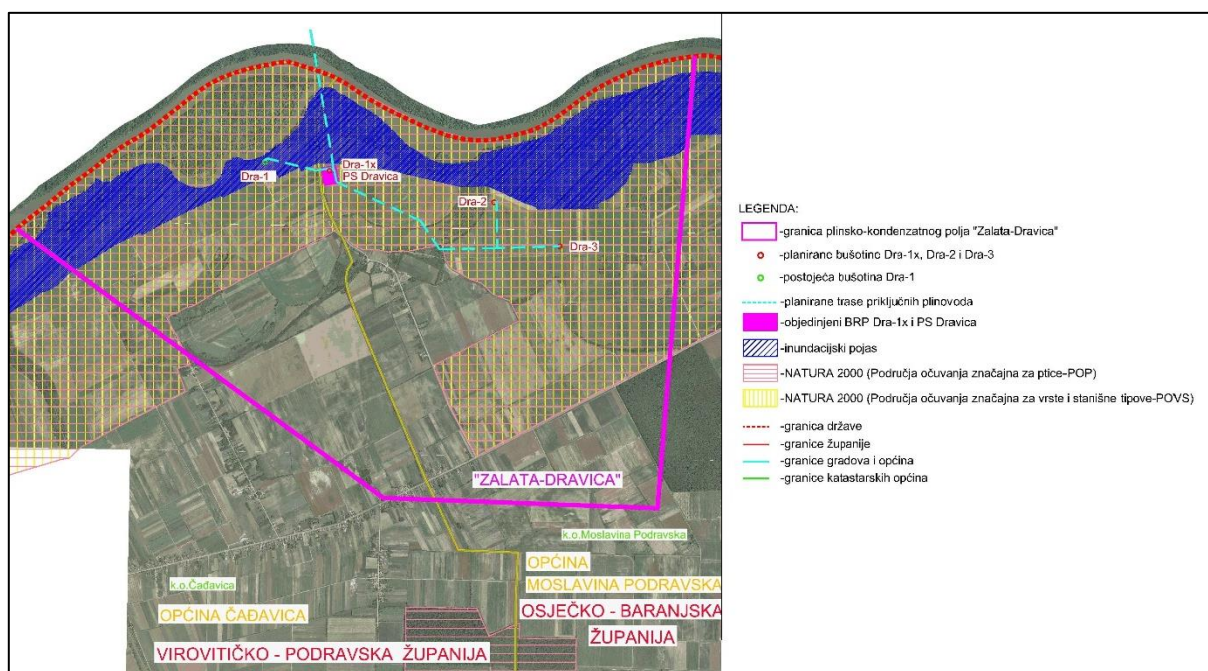
Rijeka Drava tipična je pluvio-glacijalna rijeka te se počela formirati u neogenu uz oblikovanje početnog tektonskog rova. Kombinacija sedimentacijskih procesa i tektonskih kretanja, kao i kasnija riječna erozija oblikovali su dvije važnije riječne terase i manje depresije, što je bila osnova za aluvijalne procese koji su stvorili brojna i raznolika staništa s velikim poplavnim područjima, močvarama, rukavcima i strmim obalama (RGNF, 2019).

Najveći dotoci Drave su u lipnju, zbog topljenja ledenjaka, te u studenom, zbog jesenskih oborina iz širokog alpskog zaleđa. Površina slivnog područja rijeke Drave u Italiji i Austriji iznosi 10.964 km², u Sloveniji 2.700 km² te u Hrvatskoj 7.015 km². Izgradnjom 23 hidroelektrane u Austriji, Sloveniji i Hrvatskoj rijeka je regulirana većim dijelom svog toka, te je od ukupnih 725 km ostao samo mali dio nizvodnoga prirodnog vodotoka, uglavnom u Hrvatskoj (RGNF, 2019).

4.1. Inundacijski pojas

Prema Prilogu 2 „Pregledna karta plinsko-kondenzatnog polja Zalata - Dravica s ucrtanim planiranim rudarskim objektima i postrojenjima te zaštićenim područjima“ Idejnog rudarskog projekta, lokacija istražne bušotine Dra-1 nalazi se u inundacijskom pojasu, određenom Odlukom o vanjskoj granici neuređenog inundacijskog pojasa uz desnu obalu rijeke Drave na potezu od rkm 111+250 do rkm 104+100, na području katastarske općine Čađavica, koju je donijelo Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodnoga gospodarstva Zagreb, klasa: 034-01/06-01/025 ur.broj:525-10/6-14-06/1/2 od 6. lipnja 2006. godine (RGNF, 2019).

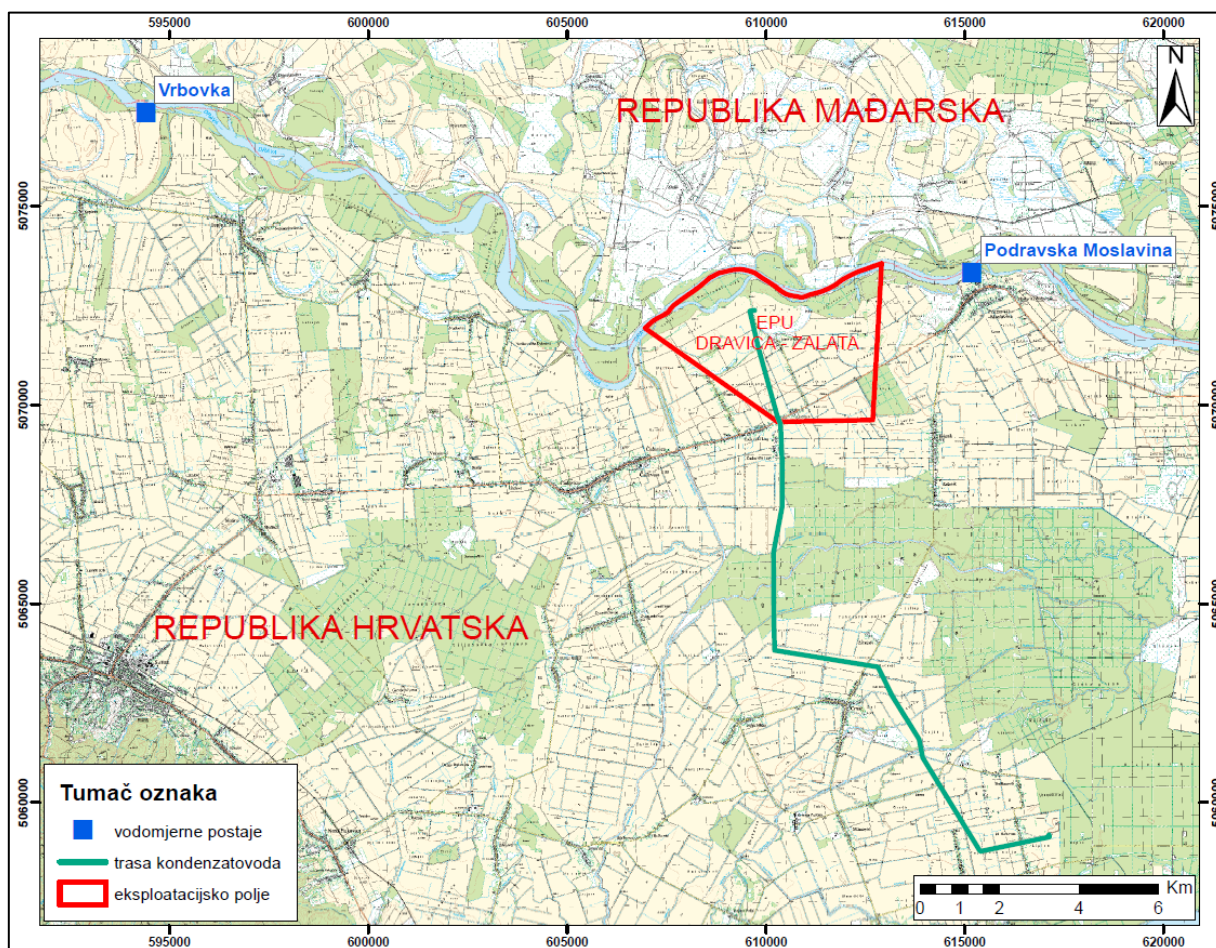
Prema postojećoj dokumentaciji, prostor unutar inundacijskog pojasa rezerviran je za izgradnju akumulacije Vodne stepenice Donji Miholjac. Stoga su 2008. godine Hrvatske Vode obavijestile INU kako se za istražnu bušotinu Dra-1 ne mogu izdati vodopravni uvjeti. Bez obzira na pitanje realizacije izgradnje Vodne stepenice Donji Miholjac, INA je zamijenila prvu lokaciju bušotine Dra-1, novom lokacijom bušotine Dra-1x (Slika 4-2) (RGNF, 2019).



Slika 4-2 Inundacijski pojas na području plinsko-kondenzatnog polja „Dravica – Zalata“ (preuzeto iz: Idejni rudarski projekt, 2017)

4.2. Mogućnost plavljenja lokacije kod visokih vodostaja

Budući da je u skladu s vodopravnim uvjetima iz 2008. godine INA premjestila lokaciju istražne bušotine, analiza plavljenja nije neophodna jer bušotine Dra-1x, Dra-2 i Dra-3 nisu u području inundacijskog pojasa. Zbog blizine bušotina poplavnog području, analiza plavljenja je svejedno provedena. U vodopravnim uvjetima Hrvatskih voda iz 2008. godine stoji kako je prilikom razmatranja mogućnosti plavljenja lokacije kod visokih vodostaja potrebno koristiti podatke o vodostajima na najbližoj vodomjernoj postaji Moslavina na rkm 98,20 rijeke Drave (kota „0“ vodomjera iznosi 90,94 m n. m.; maksimalni zabilježeni vodostaj bio je 565 cm). Stoga su prilikom provođenja ove analize korišteni podaci s dviju vodomjernih postaja na rijeci Dravi: postaja Vrbovka, uzvodno od polja te postaja Podravska Moslavina, nizvodno od polja (Slika 4-3).



Slika 4-3 Lokacija vodomjernih postaja na rijeci Dravi

Podaci o minimalnim i maksimalnim vodostajima na vodomjernim postajama Vrbovka za razdoblje od 1997. do 2017. godine i Podravska Moslavina za razdoblje od 1968. do 2017. godine prikazani su u tablici 4-1.

Tablica 4-1 Podaci o minimalnim i maksimalnim zabilježenim vodostajima rijeke Drave na vodomjernim postajama Vrbovka i Podravska Moslavina

Postaja		Datum	Vodostaj [m n.m.]
Vrbovka	Minimum	30.1.2000.	93,35
	Maksimum	19.9.2014.	100,10
Podravska Moslavina	Minimum	24.12.2001.	89,75
	Maksimum	20.7.1972.	96,59

Budući da se datumi pojavljivanja maksimalnih izmjerenih vodostaja na danim postajama razlikuju, te ne postoje mjereni podaci na vodomjernoj postaji Vrbovka za datum pojavljivanja maksimuma na vodomjernoj postaji Podravska Moslavina, nije bilo moguće provesti analizu korištenjem izmjerenih vodostaja prikazanih u Tablici 4-2. Analiza se stoga mogla izvršiti korištenjem datuma maksimalnog izmjerenog vodostaja na vodomjernoj postaji Vrbovka (Tablica 4-2) ili provođenjem regresijske analize za datum maksimalnog vodostaja na vodomjernoj postaji Podravska Moslavina (Tablica 4-3).

Tablica 4-2 Podaci o maksimalnim zabilježenim vodostajima rijeke Drave na vodomjernim postajama Vrbovka i Podravska Moslavina za datum mjerenja koji imaju obje vodomjerne postaje

Postaja		Datum	Vodostaj [m n.m.]
Vrbovka	Maksimum	19.9.2014.	100,10
Podravska Moslavina	Maksimum	19.9.2014.	96,36

Tablica 4-3 Podaci o maksimalnim vodostajima rijeke Drave na vodomjernim postajama Vrbovka i Podravska Moslavina dobivene regresijskom analizom

Postaja		Datum	Vodostaj [m n.m.]
Vrbovka (izračun)	Maksimum	20.7.1972.	100,27
Podravska Moslavina	Maksimum	20.7.1972.	96,59

Iz Tablica 4-2 i 4-3 vidljivo je kako nema značajne razlike između vrijednosti maksimalnih vodostaja za obje navedene varijante. Za provođenje analize mogućnosti plavljenja lokacije odabrana je druga varijanta, za datum maksimuma na vodomjernoj postaji Podravska Moslavina. Regresijska analiza provedena je korištenjem programa za tablično računanje *Microsoft Excel*, dok je daljnja prostorna analiza provedena korištenjem geografskog informacijskog sustava (GIS-a) na temelju postojećih podataka, prostornom analizom vodne plohe (vodnog lica rijeke Drave) i plohe digitalnog modela reljefa (okolnog terena). Detalji provedene regresijske analize i daljnje prostorne analize opisani su poglavlju 6.

5 GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SUSTAV (GIS)

Kako bi se uspješno definirao obuhvat potencijalne zone plavljenja na području plinsko-kondenzatnog polja „Dravica – Zalata“ bilo je potrebno je riješiti niz zadataka, pri čemu je korištena GIS tehnologija.

5.1 Općenito o GIS-u

Geografski informacijski sustav (GIS) je sustav za prikupljanje, spremanje, provjeru, integraciju, upravljanje, analiziranje i prikaz podataka prostorno povezanih sa Zemljom. U taj sustav obično je uključena baza prostornih podataka i odgovarajući programi (HMSO, 1987).

U okviru ovog diplomskog rada korišten je *ArcGIS*, GIS sustav razvijen od strane tvrtke ESRI. Prema ESRI (2019) GIS, ukorijenjen u geografsku znanost, integrira mnoge vrste podataka. Omogućuje analizu prostornog položaja i organizaciju slojeva informacija u vizualizacije pomoću karata i 3D prikaza. Ovom jedinstvenom sposobnošću GIS omogućava dublji uvid u podatke, kao što su obrasci, odnosi i situacije, čime pomaže korisnicima pri donošenju odluka. GIS podaci uključuju slikovne prikaze, značajke i osnovne karte povezane s proračunskim tablicama i podatkovnim tablicama.

Razvoj GIS tehnologije i novih metoda prikupljanja podataka doveo je do razvoja novih načina opisa terena. Tako se teren često prikazuje rasterskim (DEM, engl. digital elevation model) ili vektorskim (TIN, engl. triangulated irregular network) modelima. Rasterski model prikazuje teren pomoću skupa matrica kvadratnih ćelija s pripadajućim visinama, a vektorski model prikazuje teren kao skup nejednakih trokuta sa zajedničkim bridovima (Barbalić, 2002). Prilikom provođenja analize korišteni su vektorski podaci (slojevi), TIN model terena i TIN model vodene površine.

5.2 Faze razvoja GIS-a

Prema Perković (1998) razvoj GIS-a može se podijeliti na četiri faze:

- ulaz podataka u GIS (prikupljanje podataka)
- tematsko modeliranje (preklapanje GIS slojeva)
- prostorne operacije (prostorna analiza)
- vizualizacija (prikazivanje)

5.2.1 Ulaz podataka u GIS

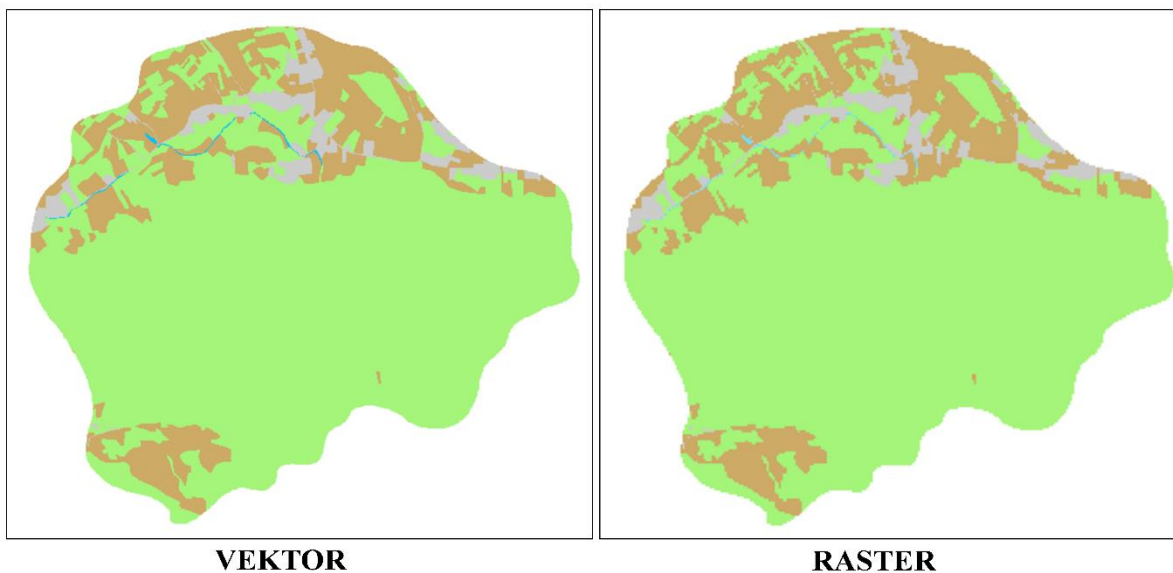
Prvi i najvažniji korak unos je podataka na kojima se temelji sav daljnji rad. Podaci se mogu podijeliti na prostorne i pripadajuće, opisne podatke. Prostorni podaci podrazumijevaju geometrijske objekte s pripadajućim koordinatama, dok opisni podaci podrazumijevaju attribute geografskih objekata (Perković, 1998).

Ukoliko svi podaci potrebni za analizu nisu dostupni, iste je potrebno prikupiti. Metode prikupljanja prostornih podataka su sljedeće: preuzimanje javno dostupnih koordinata, terenska izmjera (GPS, geodetska izmjera), fotogrametrijska izmjera (terestrička i aerofotogrametrija), satelitski snimci (fotografski i radarski sustavi, specijalni skeneri), digitalizacija karata (rasterska i vektorska). Opisni podaci unose se u bazu podataka (Perković, 1998).

Za svaki skup podataka potrebno je istražiti prostorne značajke, njihove attribute i metapodatke, kako bi se utvrdilo jesu li ti podaci korisni za planiranu analizu te zahtijevaju li dodatnu pripremu (ESRI, 2018). Dodatna priprema podataka podrazumijeva kontrolu i uređivanje, ažuriranje te digitalizaciju podataka (Perković, 1998).

Također, potrebno je definirati koji format podataka je potreban. Pomoću geoprocenih alata moguće je transformirati podatke iz jednog formata u drugi (ESRI, 2018). Dvije osnovne grupe podataka, koje se koriste u GIS-u su rasterski i vektorski podaci. Rasterski podaci sastoje se od niza točaka s pripadajućim vrijednostima na cijelom području pokrivenom rasterom, dok su vrijednosti vektorskih podataka zapisane samo na poziciji određenog vektora. Iz tog razloga, za pohranjivanje rasterske datoteke potrebno je više prostora, nego za pohranjivanje vektorske

datoteke. Vektorski podaci odlikuju se kvalitetnijom vektorskom grafikom, dok kod rasterskih podataka, ovisno o rezoluciji, prikaz može biti nezadovoljavajuće kvalitete (Slika 5-1) (Bernat, 2019).

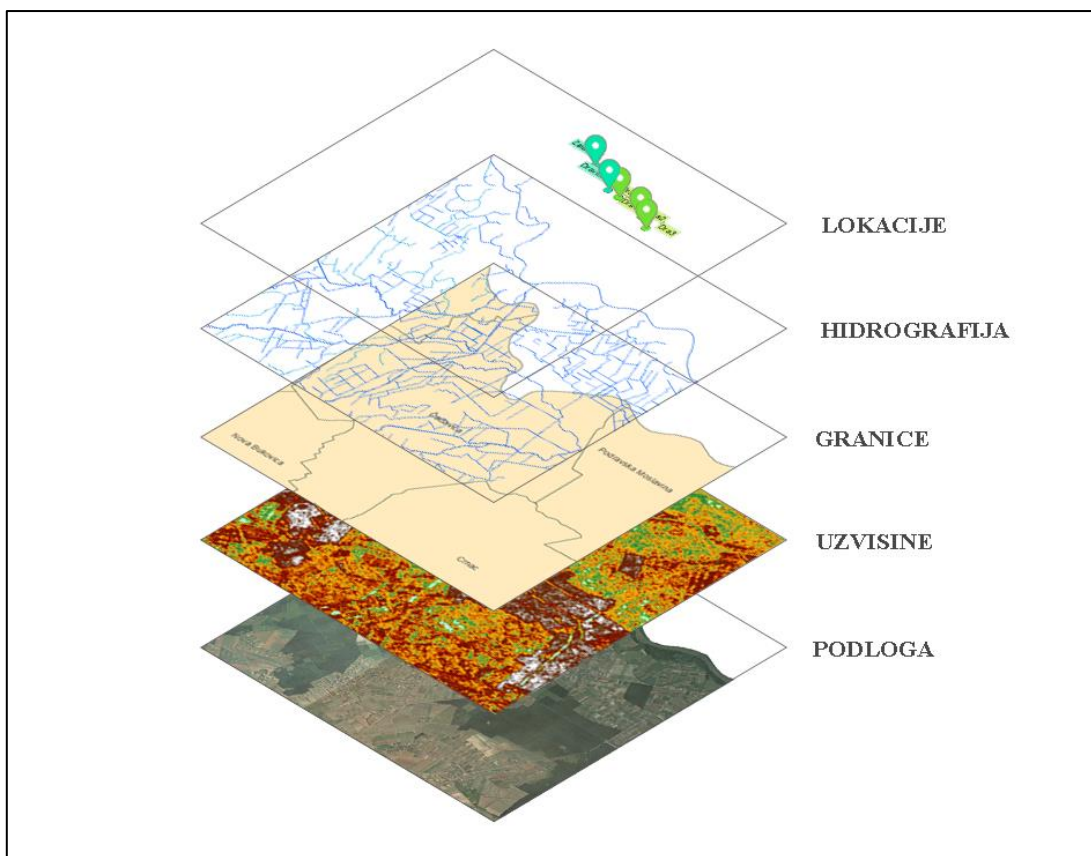


Slika 5-1 Prikaz podataka u vektorskom i rasterskom obliku

5.2.2 Tematsko modeliranje

Svaki geometrijski prikazan objekt, u GIS-u se povezuje s pripadajućim tematskim elementima. Iz tog razloga GIS mora imati mogućnost geometrijskog i tematskog modeliranja prostornih podataka (Perković, 1998).

GIS može predstaviti mnogo slojeva različitih informacija, gdje svaki sloj predstavlja određenu temu ili značajku karte. Te se teme mogu postaviti jedna na drugu, stvarajući mnoštvo informacija o istom zemljopisnom području (Slika 5-2). Svaki sloj može se isključiti i uključiti, čime je omogućena kontrola nad količinom podataka o promatranom području u bilo kojem trenutku na bilo kojoj karti (ESRI, 2012).



Slika 5-2 Slojevi prostornih podataka u GIS-u

5.2.3 Prostorne operacije

Prostorne operacije, pomoću geometrijskih funkcija, uzimaju prostorne podatke kao ulaz, analiziraju ih te zatim stvaraju izlazne podatke koji su izvedeni iz analize provedene na ulaznim podacima (ESRI, 2019).

Prema Perković (1998) prostorne operacije (analize) od najvećeg su značaja u GIS-u te obuhvaćaju sljedeće postupke:

- utvrđivanje objekata i kriterija
- priprema i izvršenje prostornih operacija
- priprema i izvršenje opisnih (tabličnih) analiza
- interpretacija prije finalne vizualizacije

Kod prostornih operacije koriste se prostorni operatori, prostorni podaci i njihove topološke veze (Perković, 1998). Prostorne operacije podrazumijevaju primjenu algoritama nad prostornim podacima, derivaciju ulaznih podataka i upite nad prostornim podacima (Bernat Gazibara, 2019), što obuhvaća projekcije, generalizacije tematskog sloja, spajanja, zoniranja, selekcije, unije, presjeke, razlike, ograničavanja itd (Perković, 1998).

Operacije se mogu provoditi na pojedinačnom setu podataka ili iz grupe prostornih podataka. Operacije koje zahtijevaju više izvora podataka (tj. dvije ili više karata ili tematskih slojeva u GIS-u), ponekad su vezane uz neka ograničenja (npr. zahtijevaju isti tip geometrije skupa podataka) (Bernat Gazibara, 2019).

5.2.4 Vizualizacija

Primjenom različitih prostornih operacija nad ulaznim podacima dobiva se tematska karta. GIS omogućava kreiranje različitih oblika izvještaja, kao što su tematske 2D karte, 3D modeli terena, simulacije leta i klasični tablični izvještaji (Perković, 1998).

Prema Srivas & Khot (2018) interaktivna vizualizacija velike količine podataka jedna je od najkorisnijih značajki GIS-a. Prikazivanje podataka pomoću računalne tehnologije i interaktivnog GIS-a ima nekoliko prednosti u odnosu na klasične, papirnate karte:

- GIS je u potpunosti interaktivan. Dodavanjem novih slojeva podataka, uklanjanjem istih, promjenom sheme boja ili oblika karte, dodavanjem teksta, pomičnih simbola i niza različitih mogućnosti, omogućena je fleksibilnost prikaza
- GIS prikazi su proširivi i pomični. Kretanje po zaslonu omogućava prikaz različite perspektive, više (ili manje) detalja i novu percepciju.
- Omogućene su i računski intenzivne značajke, poput "nabiranja" perspektivnog prikaza na površini (poput digitalnog modela elevacije, DEM-a) ili stvaranja trodimenzionalnog ispisa na 2D zaslonu, koristeći složene algoritme sjenčanja i prikazivanja (engl. rendering).

6 UPOTREBA GIS-A U ANALIZI MOGUĆNOSTI PLAVLJENJA PLINSKO-KONDENZATNOG POLJA „DRAVICA - ZALATA“

Definiranje područja na kojem postoji opasnost od plavljenja, uključivalo je nekoliko faza:

- prikupljanje i obrada skupa podataka u svrhu definiranja maksimalnih vodostaja rijeke Drave
- ulaz i obrada prostornih podataka za istraživano područje u GIS-u
- prostorna analiza podataka u svrhu definiranja poplavnog područja
- prikaz poplavnog područja

Svaka od navedenih faza detaljno je opisana u narednim poglavljima.

6.1 Prikupljanje i obrada skupa podataka u svrhu definiranja maksimalnih vodostaja rijeke Drave na istraživanom području

Kao što je spomenuto u poglavlju 4.2, prilikom analize plavljenja lokacije korišteni su podaci maksimalnih vodostaja, dobiveni regresijskom analizom na temelju podataka na vodomjernim postajama Vrbovka i Podravska Moslavina. Koordinate vodomjernih postaja prikazane su u Tablici 6-1.

Tablica 6-1 Koordinate vodomjernih postaja

Postaja	X [HTRS]	Y [HTRS]
Vrbovka	594396.94	5077345.15
Podravska Moslavina	615170.02	5073326.15

Regresijska analiza izvedena je upotrebom računalnog programa za tablično računanje *Microsoft Excel*, korištenjem podataka o maksimalnim zabilježenim vodostajima rijeke Drave na vodomjernim postajama Vrbovka i Podravska Moslavina za razdoblje od 1998. do 2017. godine (Tablica 6-2) te korištenjem podatka o maksimalnom zabilježenom vodostaju na vodomjernoj postaji Podravska Moslavina, zabilježenog 20.7.1972. godine. Podaci o razinama

vodostaja preuzeti su s WEB stranica Sektora za hidrologiju, Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ, 2019).

Tablica 6-2 Podaci o maksimalnim zabilježenim vodostajima rijeke Drave na vodomjernim postajama Podravska Moslavina i Vrbovka za razdoblje od 1998. do 2017. godine

VODOMJERNA POSTAJA					
PODRAVSKA MOSLAVINA			VRBOVKA		
Godina	Maksimum [cm]	Datum	Godina	Maksimum [cm]	Datum
1998	418	12.10.1998.	1998	569	11.10.1998.
1999	314	25.05.1999.	1999	460	24.05.1999.
2000	369	21.11.2000.	2000	596	21.11.2000.
2001	254	11.01.2001.	2001	418	11.01.2001.
2002	311	10.12.2002.	2002	442	10.12.2002.
2003	251	04.11.2003.	2003	391	04.11.2003.
2004	337	28.06.2004.	2004	478	28.06.2004.
2005	411	28.08.2005.	2005	564	27.08.2005.
2006	331	03.06.2006.	2006	494	03.05.2006.
2007	178	21.09.2007.	2007	340	21.09.2007.
2008	240	09.06.2008.	2008	384	09.06.2008.
2009	335	30.06.2009.	2009	482	29.06.2009.
2010	406	23.09.2010.	2010	567	22.09.2010.
2011	219	22.06.2011.	2011	386	22.06.2011.
2012	403	10.11.2012.	2012	564	09.11.2012.
2013	359	12.05.2013.	2013	494	11.05.2013.
2014	545	19.09.2014.	2014	689	19.09.2014.
2015	384	27.05.2015.	2015	505	26.05.2015.
2016	260	05.05.2016.	2016	394	05.05.2016.
2017	354	23.09.2017.	2017	499	23.09.2017.

Prema Posavec & Škudar (2016) regresijska analiza opisuje promjene zavisne varijable (Y) u funkciji nezavisne varijable (X). Pojedinačna mjerenja zavisne varijable označavaju se s y_i te se ona, u procesu podešavanja linije, minimiziraju. Pojedinačna mjerenja nezavisne varijable (regresora) označavaju se s x_i . Jednadžba podešene linije glasi:

$$y_i = b_0 + b_1 x_i \quad (6-1)$$

gdje je:

\hat{y}_i – procijenjena vrijednost y_i za odnosnu vrijednost x_i ,

b_0 – odsječak na osi Y,

b_1 – koeficijent smjera pravca.

U ovom konkretnom primjeru, regresijska analiza provedena je izradom dijagrama, gdje su na apscisi podaci o maksimalnim vodostajima rijeke Drave s vodomjerne postaje Podravska Moslavina, dok su na ordinati podaci o maksimalnim vodostajima rijeke Drave s vodomjerne postaje Vrbovka (Slika 6-1). Pomoću navedenih vodostaja kreirana je trend linija (engl. trendline) pomoću koje je dobivena sljedeća jednadžba pravca:

$$\hat{y}_i = 153,18 + 0,996x_i \quad (6-2)$$

gdje je:

x_i - maksimalna razina vodostaja rijeke Drave na vodomjernoj postaji Podravska Moslavina na dan 20.7.1972. godine,

\hat{y}_i – procijenjena maksimalna razina vodostaja rijeke Drave na vodomjernoj postaji Vrbovka na dan 20.7.1972. godine.

Uvrštavanjem poznate vrijednosti razine vodostaja za navedeni datum, na vodomjernoj postaji Podravska Moslavina, dobivena je njegova vrijednost i za vodomjernu postaju Vrbovka (Tablica 4-3).

Prema Posavec & Škudar (2016) za određivanje mjere podešenosti regresijskog modela, odnosno mjere njegove korisnosti, potrebno je definirati koeficijent determinacije (R^2). Ako regresijski model dobro reprezentira mjerene vrijednosti, koeficijent determinacije će biti blizak jedinici. Koeficijentom determinacije određuje se pouzdanost prognoziranja zavisne varijable pomoću dobivenog regresijskog modela. Kako bi se uspješno opisao koeficijent determinacije, potrebno je definirati dva termina koja opisuju promjenu zavisne varijable (Y). Prvi termin je ukupna suma kvadrata (SS_T) od Y (engl. *total sum of squares*) koji opisuje odstupanja pojedinačnih mjerenja zavisne varijable od njihove aritmetičke sredine. Drugi termin je suma kvadrata zbog regresije (SS_R) (engl. *sum of squares due to regression*) koji opisuje odstupanja

procijenjenih tj. prognoziranih vrijednosti zavisne varijable Y od njihove aritmetičke sredine. Jednadžba koeficijenta determinacije stoga glasi:

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}, 0 \leq R^2 \leq 1 \quad (6-3)$$

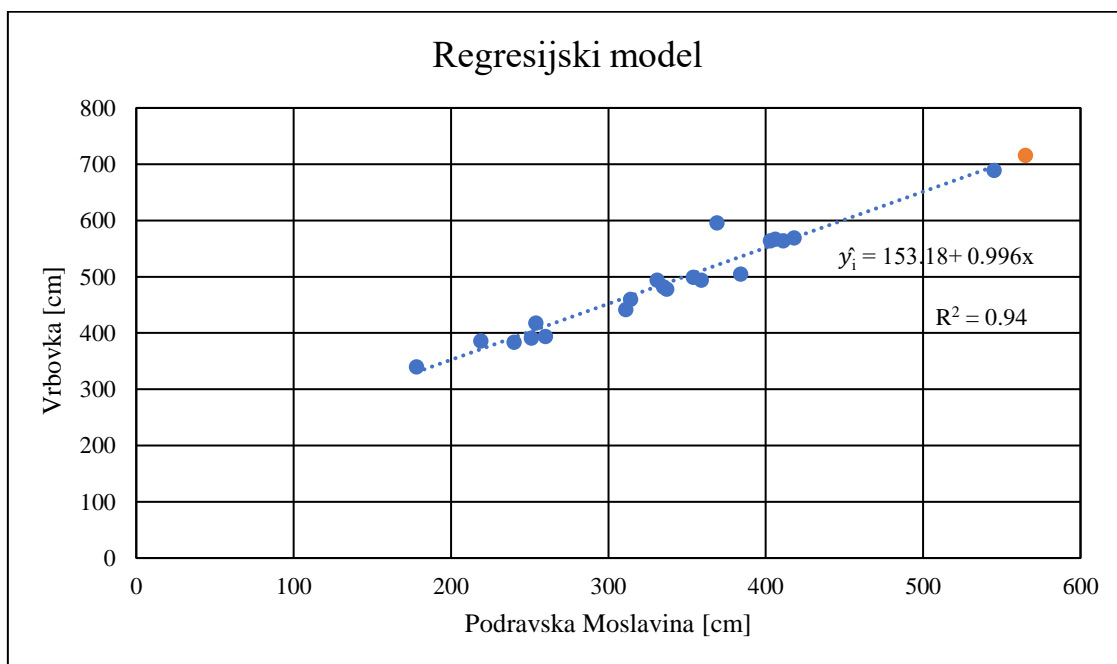
gdje je:

\hat{y}_i - procijenjena vrijednost y_i za odnosnu vrijednost x_i ,

\bar{Y} - aritmetička sredina pojedinačnih mjerenja zavisne varijable Y ,

y_i - pojedinačna mjerenja zavisne varijable Y .

Prilikom provedene regresijske analize, u okviru ovog rada, dobiveni koeficijent determinacije iznosio je 0,94. To znači da se 94% ukupnog odstupanja varijable Y od podešene linije tj. regresijskog modela, može objasniti linearnim odnosom između varijabli X i Y . Dobivena vrijednost dakle opravdava primjenu ove metode za definiranje maksimalnog vodostaja na vodomjernoj postaji Vrbovka iz 1972. godine. Stoga je dobiveni podatak korišten za linearnu interpolaciju opisanu u poglavlju 6.3.1, nužnu za daljnju analizu mogućnosti plavljenja lokacije.



Slika 6-1 Prikaz regresijskog modela maksimalnih zabilježenih vodostaja rijeke Drave na vodomjernim postajama Podravska Moslavina i Vrbovka za razdoblje od 1998. do 2017. godine

6.2 Ulaz i obrada prostornih podataka za istraživano područje u GIS-u

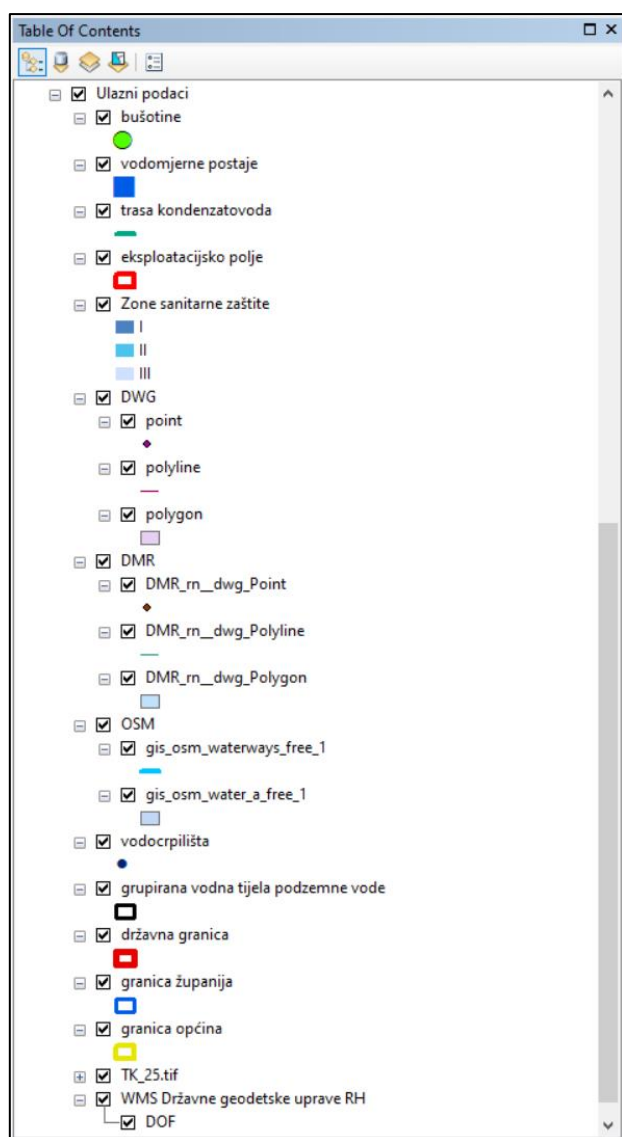
U tablici 6-3 prikazan je opis ulaznih podataka za prostorne analize mogućnosti plavljenja plinsko-kondenzatnog polja „Dravica – Zalata“. Prilikom provođenja ovakve analize bilo bi idealno koristiti kvalitetnije geoprostorne podatke, kao što je *Lidar* (engl. Light Detection and Ranging) snimak šireg područja oko eksploatacijskog polja i trase kondenzatovoda. Budući da takvi podaci nisu dostupni, kao ni uzdužni profil rijeke Drave s vodnim licima visokih voda, analiza je učinjena u GIS-u na temelju postojećih podataka.

Tablica 6-3 Opis ulaznih podataka za prostorne analize mogućnosti plavljenja plinsko-kondenzatnog polja „Dravica – Zalata“

TEMATSKI SLOJ	PRIKAZ PODATAKA
Digitalna ortofoto karta 1:5000 (DOF5)	rasterski podaci prikazani na jednom GIS sloju
Topografska karta 1:25000 (TK25)	rasterski podaci prikazani na jednom GIS sloju
Državna granica	vektorski podaci prikazani na jednom GIS sloju (poligoni)
Granica županija	vektorski podaci prikazani na jednom GIS sloju (poligoni)
Granica općina	vektorski podaci prikazani na jednom GIS sloju (poligoni)
Grupirana vodna tijela podzemne vode	vektorski podaci prikazani na jednom GIS sloju (poligoni)
Vodocrpilišta	vektorski podaci prikazani na jednom GIS sloju (točke)
Hidrografija (Open Street Map, OSM)	vektorski podaci prikazani na dva GIS sloja (linije i poligoni)
Zone sanitarne zaštite	vektorski podaci prikazani na jednom GIS sloju (poligoni)
EPU „Dravica – Zalata“ (digitalni model reljefa, .dmr)	vektorski podaci prikazani na tri GIS sloja (točke, linije i poligoni)
Planirana trasa otpremnog kondenzatovoda od PS Dravica do Č-2 Crnac (.dwg)	vektorski podaci prikazani na tri GIS sloja (točke, linije i poligoni)

Osim navedenih slojeva, korištene su i koordinate vodomjernih postaja Podravska Moslavina i Vrbovka (Tablica 6-1) te koordinate bušotina unutar plinsko-kondenzatnog polja (Tablica 2-1), pomoću kojih su generirana dva dodatna vektorska GIS sloja (Slika 6-2).

Obuhvat eksploatacijskog polja i trasa kondenzatovoda dobiveni su korištenjem .dwg datoteke s planiranom trasom otpremnog kondenzatovoda. Potrebni slojevi organizirani su korištenjem aplikacije *ArcCatalog*, koja se koristi za organizaciju i upravljanje različitim vrstama geografskih podataka za *ArcGIS* (ESRI, 2016).



Slika 6-2 Ulazni podaci za prostorne analize mogućnosti plavljenja plinsko-kondenzatnog polja „Dravica – Zalata“

6.3 Prostorna analiza podataka u svrhu definiranja mogućnosti plavljenja plinsko-kondenzatnog polja „Dravica - Zalata“

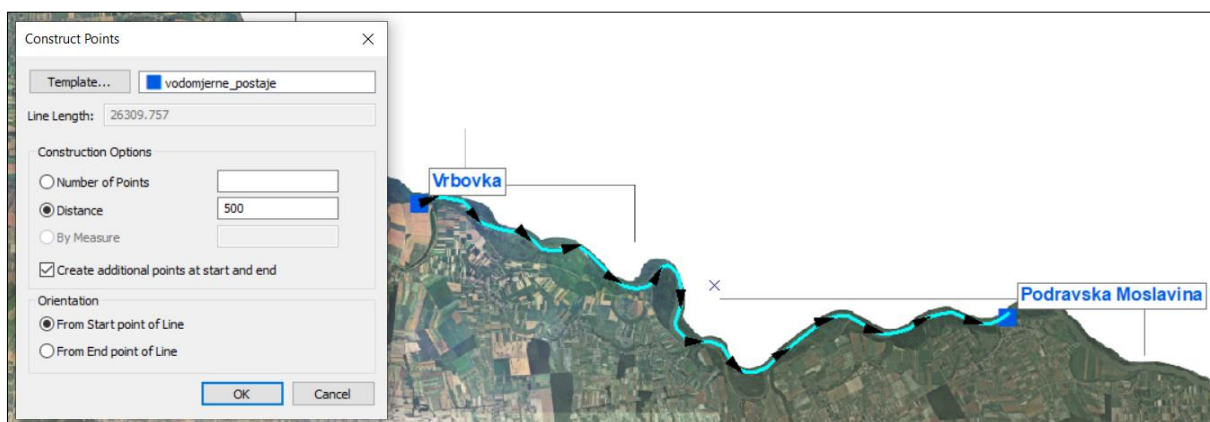
6.3.1 Definiranje vodnog lica visokih voda rijeke Drave

Kako bi se uspješno provela analiza mogućnosti plavljenja, potrebno je definirati vodno lice visokih voda. Budući da na istraživanom području postoje samo dvije vodomjerne postaje, za potrebe definiranja vodnog lica visokih voda, bilo je potrebno definirati dodatne, virtualne postaje između postojećih (Slika 6-5).

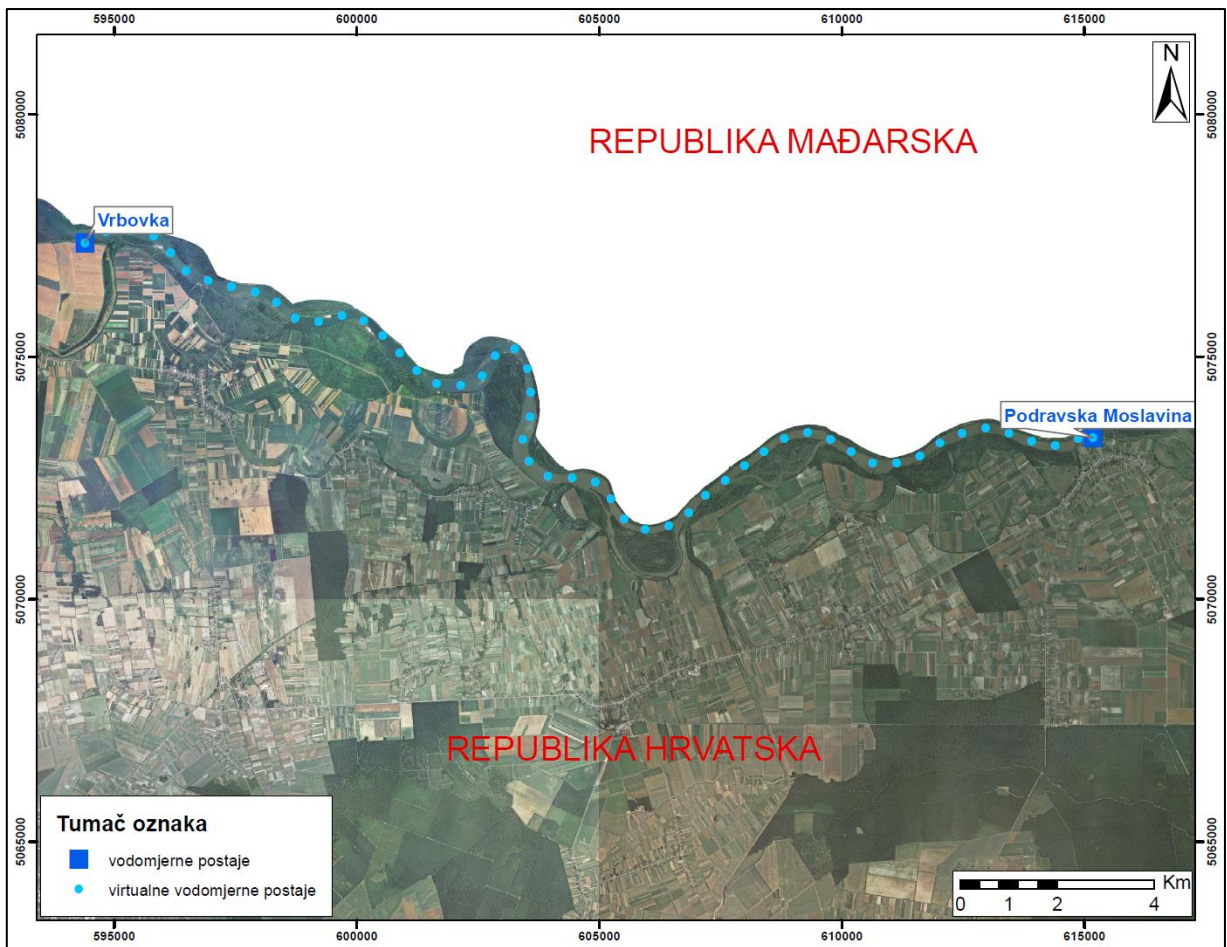
Prvi korak uključivao je izrezivanje osi vodotoka rijeke Drave od vodomjerne postaje Vrbovka do vodomjerne postaje Podravska Moslavina. To je provedeno korištenjem *ArcMap* naredbe *Clip* (Slika 6-3). Zatim je konstruirana os vodotoka, duž koje su generirane virtualne vodomjerne postaje, korištenjem naredbe *Construct Points* (Slika 6-4)



Slika 6-3 Primjena naredbe *Clip*



Slika 6-4 Primjena naredbe *Construct Points*



Slika 6-5 Virtualne vodomjerne postaje rijeke Drave na istraživanom području

Prema Bačani & Posavec (2014), vodostaj na virtualnim vodomjernim postajama proračunava se metodom linearne interpolacije između dvije susjedne, postojeće vodomjerne postaje. Vodostaj na virtualnim vodomjernim postajama određen je linearnom interpolacijom između postaja Vrbovka (uzvodna postaja) i Podravska Moslavina (nizvodna postaja), koristeći formulu:

$$h_i = h_p + ((h_z - h_p)/L) \times L_i \quad (6-4)$$

gdje je:

h_i – vodostaj na i -toj virtualnoj hidrološkoj stanici,

h_p – vodostaj na početnoj stvarnoj hidrološkoj stanici,

hz – vodostaj na završnoj stvarnoj hidrološkoj stanici,

L – udaljenost između početne i završne stvarne hidrološke stanice,

Li – udaljenost između početne stvarne hidrološke stanice i i-te virtualne hidrološke stanice.

Prilikom izvođenja interpolacije korišteni su maksimalni vodostaji s vodomjernih postaja iz 1972. godine. Jedan zabilježeni vodostaj s vodomjerne postaje Podravska Moslavina, te drugi prognozirani vodostaj, dobiven temeljem funkcionalne zavisnosti objašnjene u poglavlju 6.1. Udaljenost između susjednih vodomjernih stanica iznosila je 500 m. Dobivene vrijednosti maksimalnih vodostaja prikazane su u Tablici 6-4.

Tablica 6-4 Maksimalni vodostaji rijeke Drave na virtualnim vodomjernim postajama

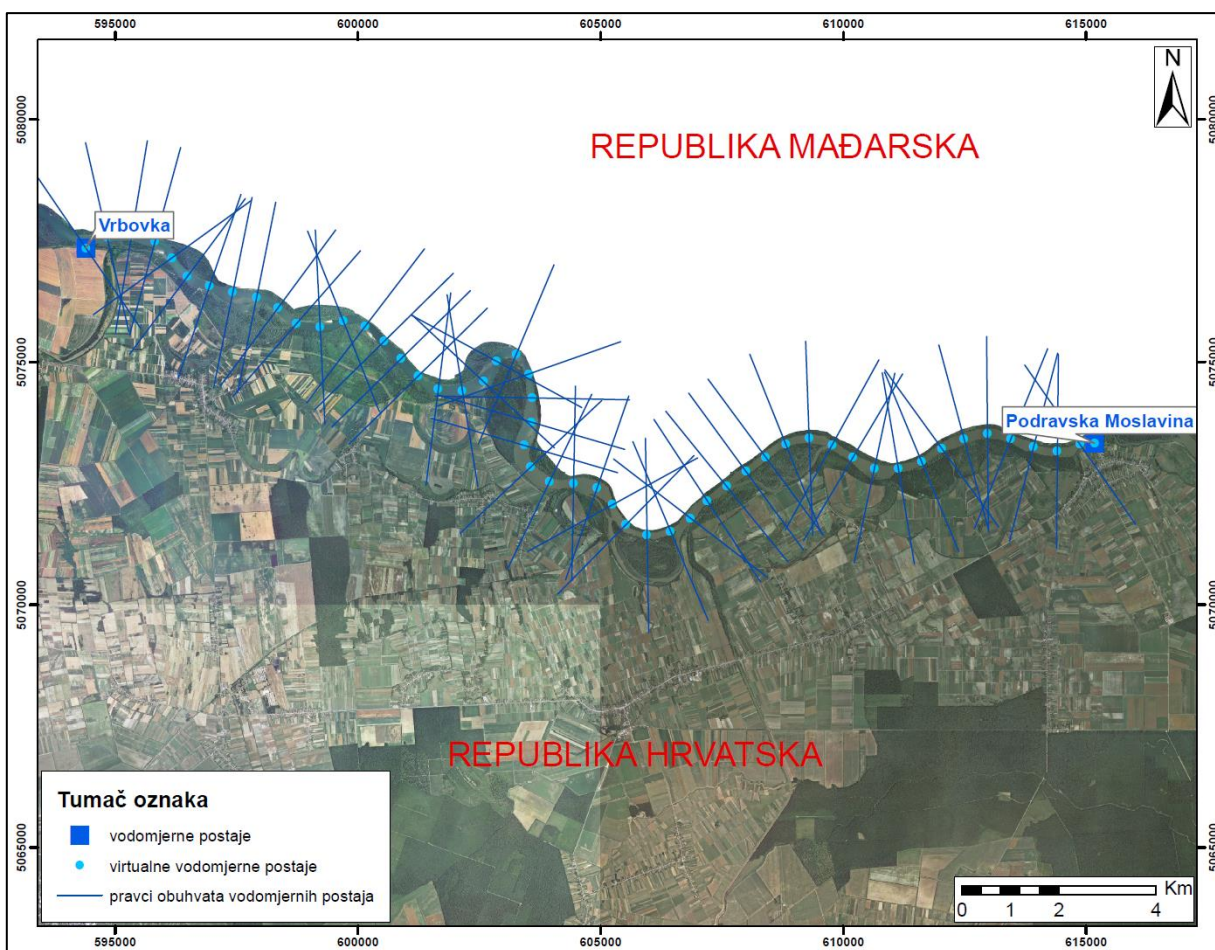
hp [m]	hz [m]	L [m]	Li [m]	hi [m]
100.37	96.59	26182.21	0	100.37
100.37	96.59	26182.21	500	100.30
100.37	96.59	26182.21	1000	100.22
100.37	96.59	26182.21	1500	100.15
100.37	96.59	26182.21	2000	100.08
100.37	96.59	26182.21	2500	100.01
100.37	96.59	26182.21	3000	99.94
100.37	96.59	26182.21	3500	99.86
100.37	96.59	26182.21	4000	99.79
100.37	96.59	26182.21	4500	99.72
100.37	96.59	26182.21	5000	99.65
100.37	96.59	26182.21	5500	99.58
100.37	96.59	26182.21	6000	99.50
100.37	96.59	26182.21	6500	99.43
100.37	96.59	26182.21	7000	99.36
100.37	96.59	26182.21	7500	99.29
100.37	96.59	26182.21	8000	99.21
100.37	96.59	26182.21	8500	99.14
100.37	96.59	26182.21	9000	99.07
100.37	96.59	26182.21	9500	99.00
100.37	96.59	26182.21	10000	98.93
100.37	96.59	26182.21	10500	98.85
100.37	96.59	26182.21	11000	98.78
100.37	96.59	26182.21	13500	98.42
100.37	96.59	26182.21	14000	98.35
100.37	96.59	26182.21	14500	98.28
100.37	96.59	26182.21	15000	98.20
100.37	96.59	26182.21	15500	98.13
100.37	96.59	26182.21	16000	98.06
100.37	96.59	26182.21	16500	97.99
100.37	96.59	26182.21	17000	97.92
100.37	96.59	26182.21	17500	97.84
100.37	96.59	26182.21	18000	97.77
100.37	96.59	26182.21	18500	97.70
100.37	96.59	26182.21	19000	97.63
100.37	96.59	26182.21	19500	97.55
100.37	96.59	26182.21	20000	97.48
100.37	96.59	26182.21	20500	97.41
100.37	96.59	26182.21	21000	97.34
100.37	96.59	26182.21	21500	97.27
100.37	96.59	26182.21	22000	97.19
100.37	96.59	26182.21	22500	97.12
100.37	96.59	26182.21	23000	97.05
100.37	96.59	26182.21	23500	96.98
100.37	96.59	26182.21	24000	96.90
100.37	96.59	26182.21	24500	96.83

100.37	96.59	26182.21	11500	98.71
100.37	96.59	26182.21	12000	98.64
100.37	96.59	26182.21	12500	98.56
100.37	96.59	26182.21	13000	98.49

100.37	96.59	26182.21	25000	96.76
100.37	96.59	26182.21	25500	96.69
100.37	96.59	26182.21	26000	96.62
100.37	96.59	26182.21	26297.21	96.57

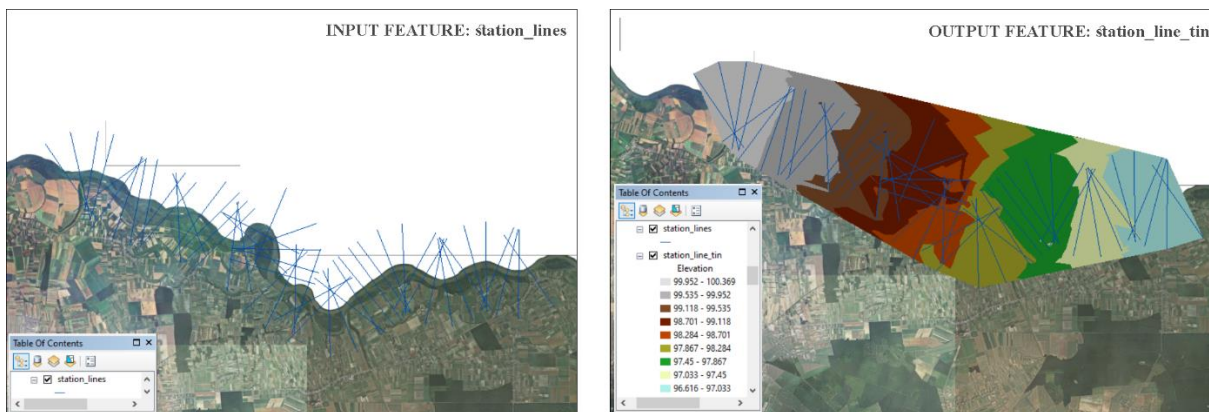
6.3.2 Generiranje TIN modela vodne plohe rijeke Drave

Definiranim postojećim i virtualnim vodomjernim postajama određeni su smjerovi, odnosno pravci obuhvata (Slika 6-6), za što je korišten softverski dodatak za ArcGIS, *ET GeoWizards*. Pravci su generirani korištenjem naredbe *Create Station Lines*. Definirana duljina pravaca iznosila je dva kilometra, po jedan kilometar s obje strane rijeke.



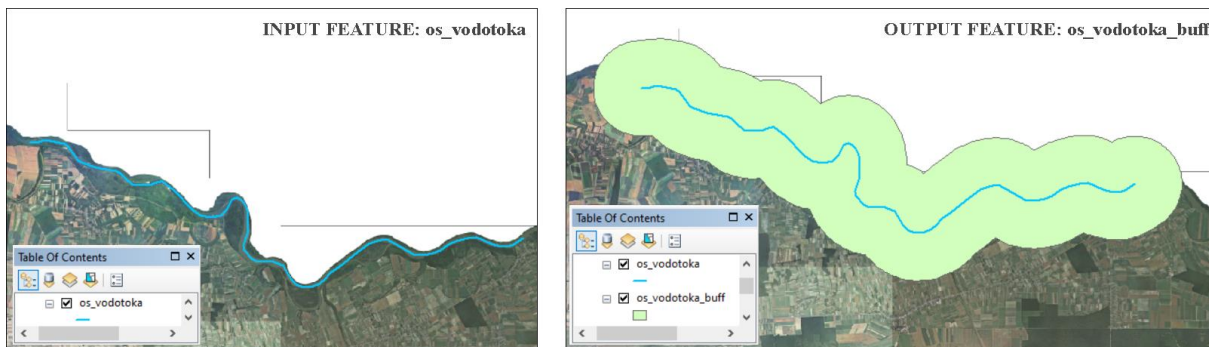
Slika 6-6 Prikaz pravaca obuhvata postojećih i virtualnih vodomjernih postaja

Unutar pripadajuće atributne tablice, dobivenim pravcima pridodane su definirane vrijednosti vodostaja s pripadajućih postojećih i virtualnih vodomjernih postaja (Tablica 6-4) te su oni korišteni kao ulazni podatak za generiranje TIN modela vodne plohe rijeke Drave (Slika 6-9). TIN model generiran je korištenjem naredbe *Create TIN* (Slika 6-7).

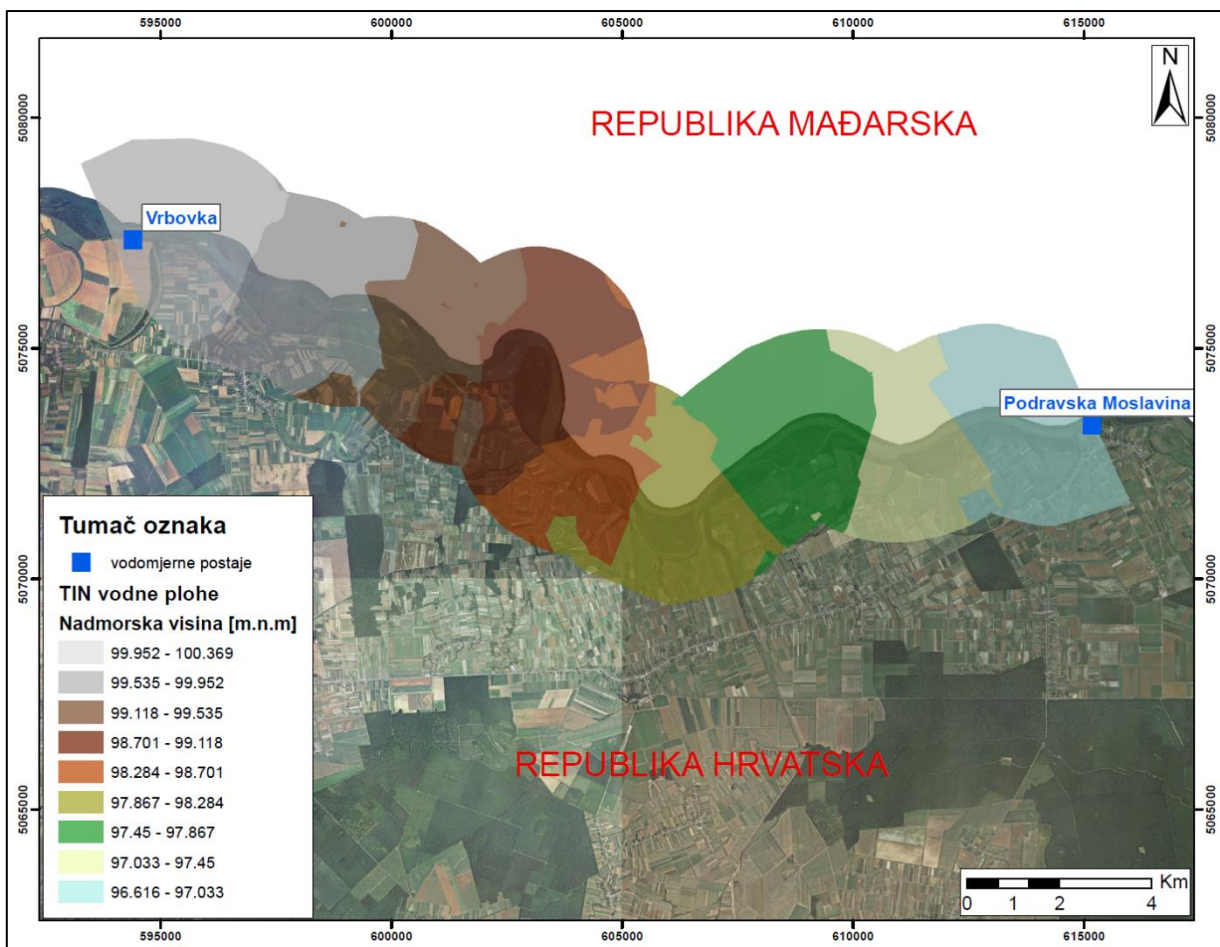


Slika 6-7 Primjena naredbe *Create TIN*

Naredbom *Buffer* kreirana je zona od dva kilometra oko osi vodotoka rijeke Drave (Slika 6-8). Nadalje, naredbom *Clip*, izdvojeni su dijelovi kreiranog TIN modela unutar te zone.



Slika 6-8 Primjena naredbe *Buffer*

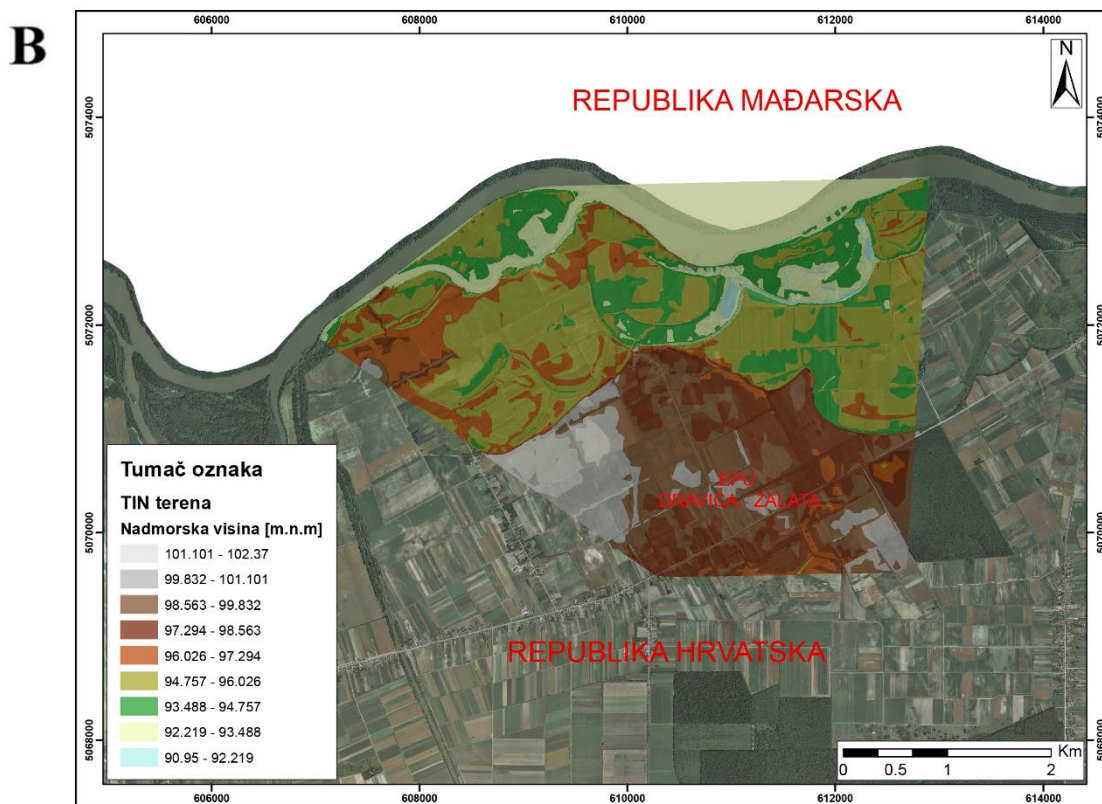
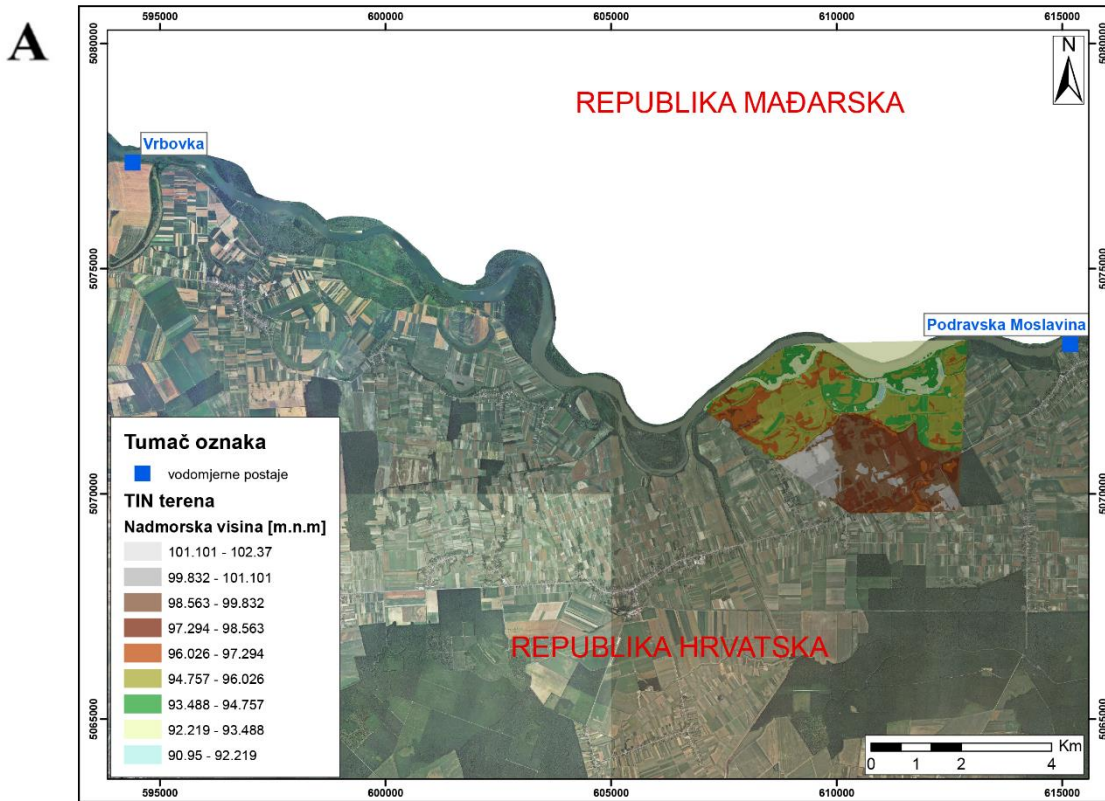


Slika 6-9 TIN model vodne plohe na istraživanom području

6.3.3 Generiranje TIN modela terena

Kako bi bilo moguće definirati područje na kojem postoji opasnost od poplavlivanja, uz TIN model vodne plohe, bilo je potrebno generirati i TIN model terena. Isti je kreiran korištenjem podataka geodetske izmjere.

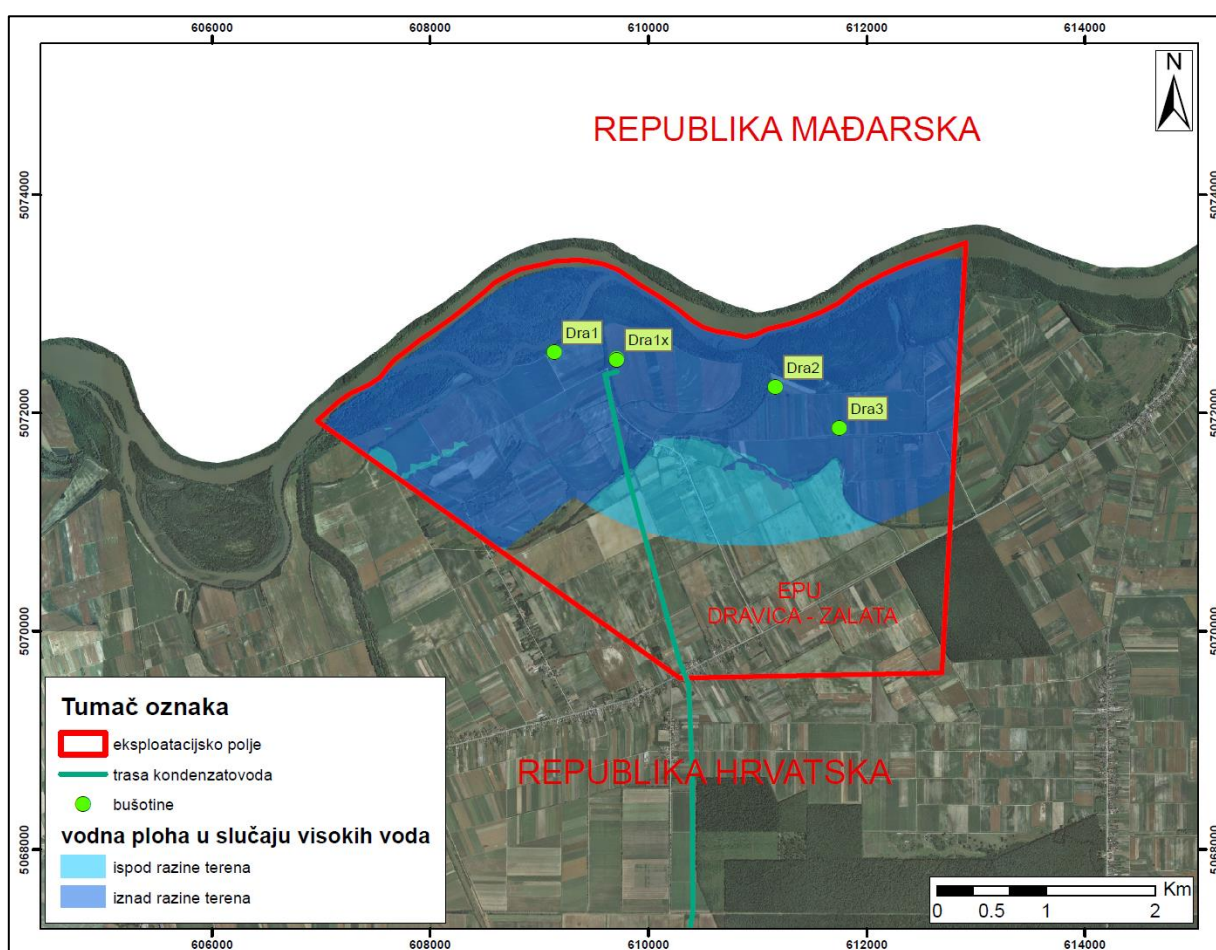
TIN model terena također je generiran korištenjem naredbe *Create TIN*. Kao ulazni podatak korišten je digitalni model reljefa eksploatacijskog polja ugljikovodika „Dravica – Zalata“. Dobiveni TIN prikazan je na Slici 6-10.



Slika 6-10 TIN model terena s prikazom vodomjernih postaja (A) i uvećani prikaz (B)

6.3.4 Definiranje poplavnog područja plinsko-kondenzatnog polja „Dravica - Zalata“

Naredbom *Surface Difference*, TIN model vodne plohe preklopljen je preko TIN modela terena, čime je dobiven rezultatni sloj s prikazom visinskog pomaka između dva ulazna sloja. Odnosno, definirana su područja na kojem je nadmorska visina vodne plohe niža, viša ili jednaka nadmorskoj visini terena (Slika 6-11). Poplavno područje definirano je područjem na kojem je nadmorska visina vodne plohe viša od nadmorske visine terena.

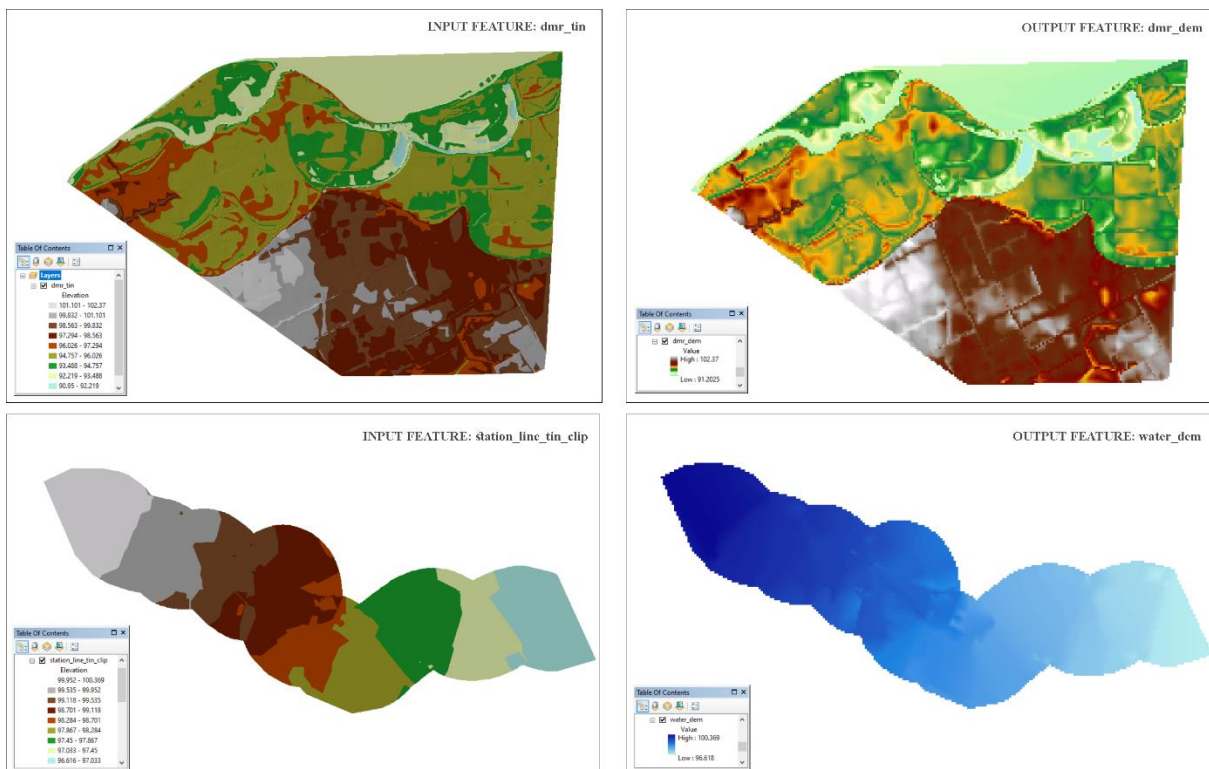


Slika 6-11 Odnos nadmorskih visina vodne plohe i terena u slučaju visokih voda na području eksploatacijskog polja „Dravica – Zalata“

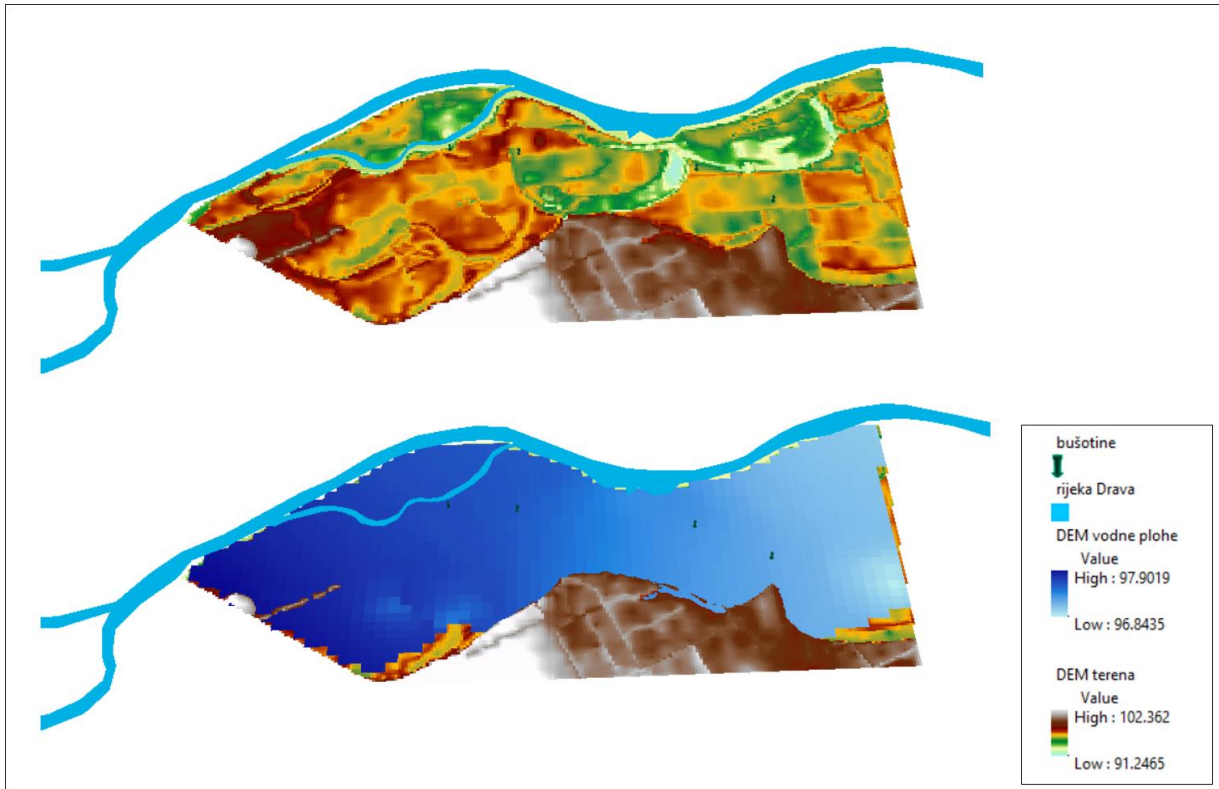
Korištenjem aplikacije *ArcScene* kreiran je trodimenzionalni prikaz poplavljenog područja. *ArcScene* je aplikacija za 3D vizualizaciju koja omogućuje pregled GIS podataka u tri

dimenzije. Slojevi su smješteni u 3D prikaz pridruživanjem podataka o visini iz geometrije, atributa, svojstava sloja ili definirane 3D površine (ESRI, 2019).

Naredbom *TIN to Raster*, iz prethodno kreiranih TIN modela vodne plohe i TIN modela terena, kreirani su DEM vodne plohe i DEM terena (Slika 6-12). Naredbom *Clip* slojevima je smanjen obuhvat te je njihovim preklapanjem dobiven je 3D prikaz poplavljenog područja eksploatacijskog polja „Dravica – Zalata“ (Slika 6-13).



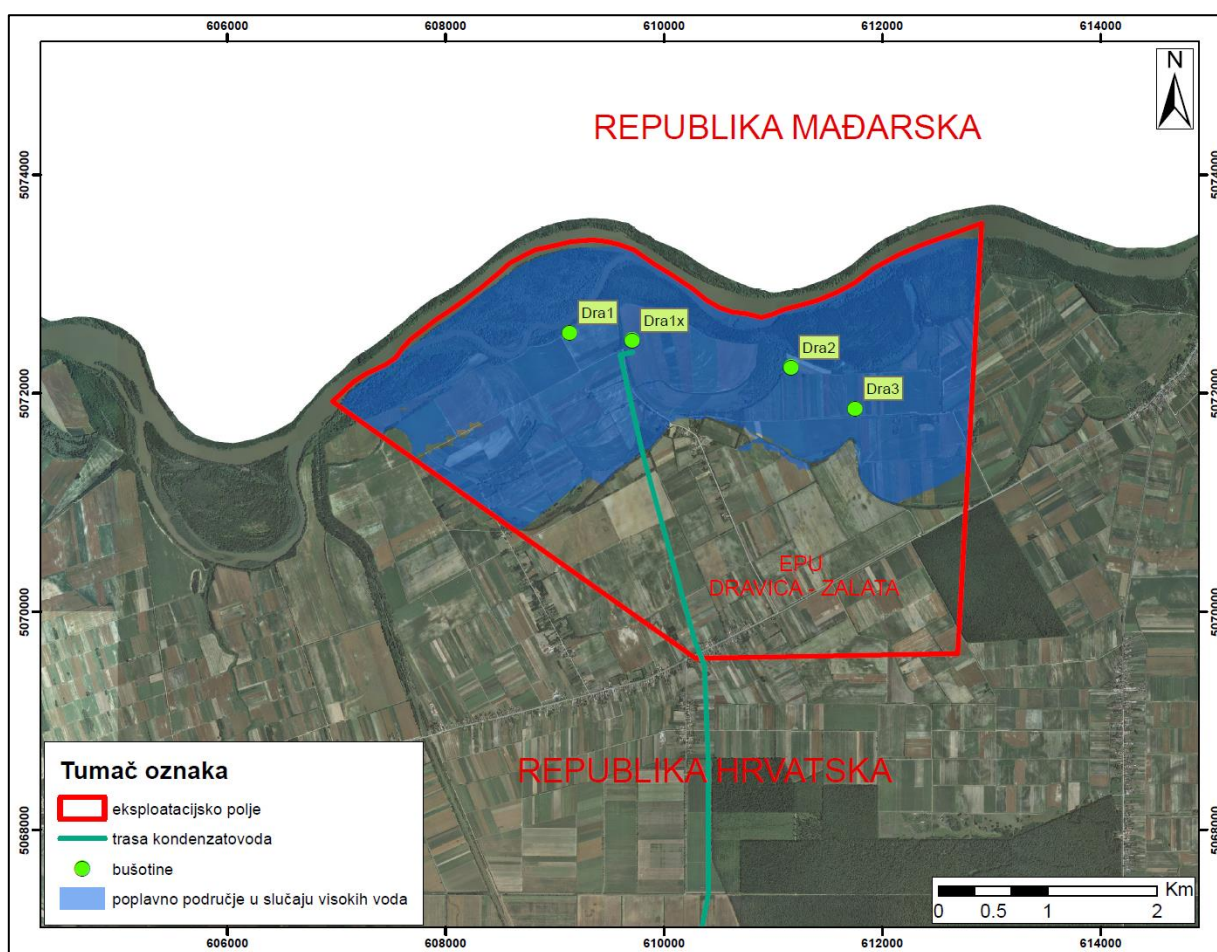
Slika 6-12 Primjena naredbe *TIN to Raster*



Slika 6-13 Trodimenzionalni prikaz poplavljenog područja eksploatacijskog polja „Dravica – Zalata“

7 REZULTATI

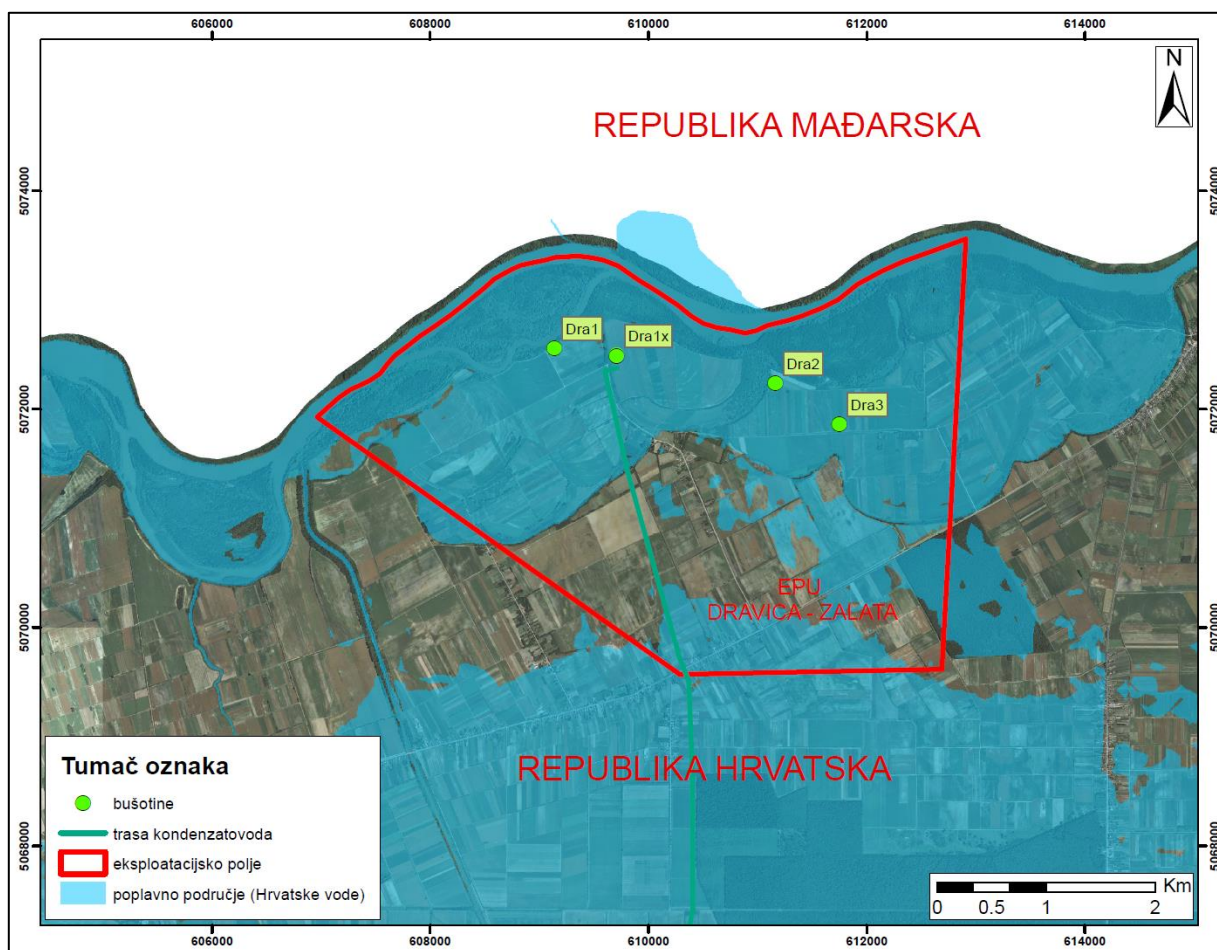
Temeljem provedene analize vidljivo je, kako u slučaju visokih vodostaja rijeke Drave, postoji opasnost od plavljenja svih bušotina na eksploatacijskom polju „Dravica – Zalata“ (Slika 7-1). Također, vidljivo je kako se na poplavnom području nalazi i dio trase kondenzatovoda.



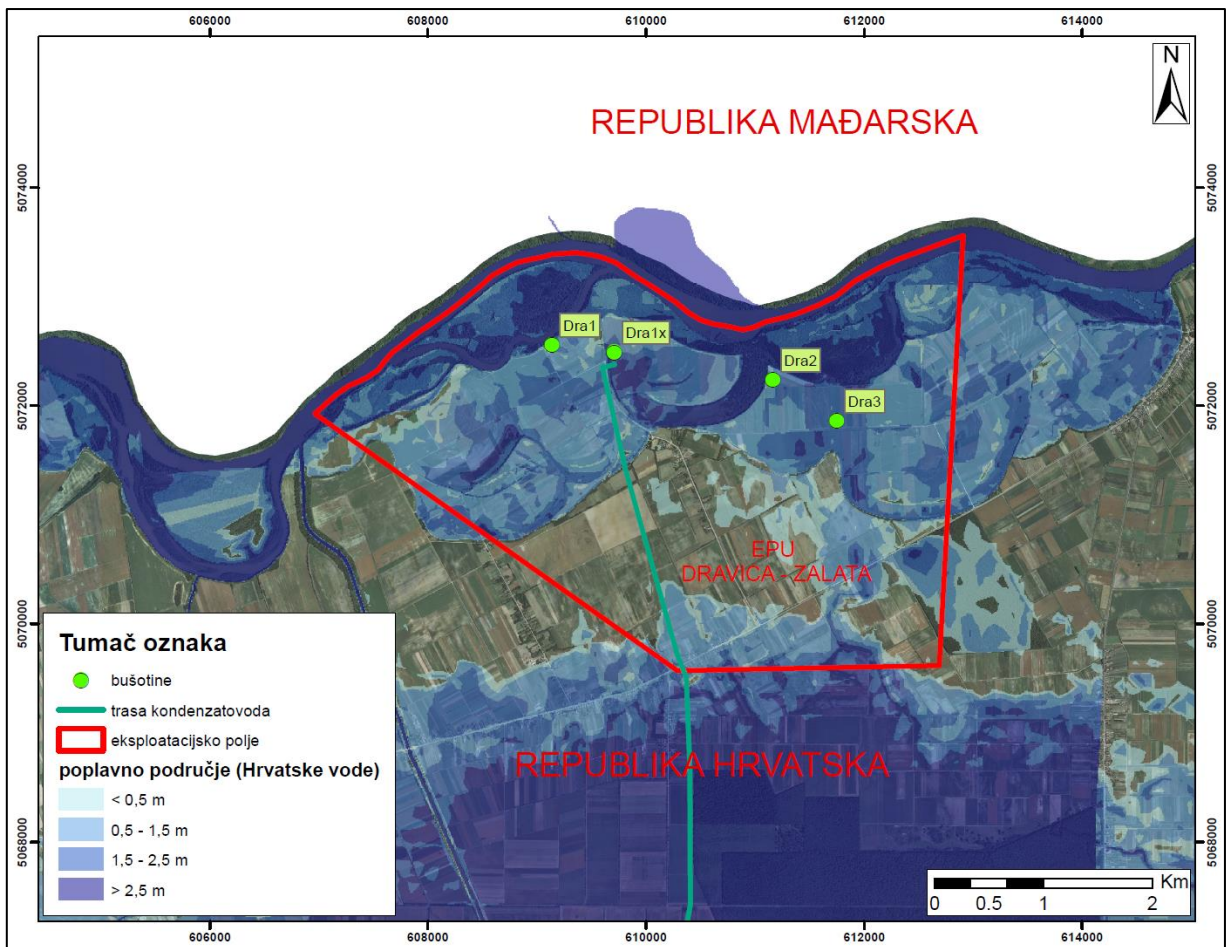
Slika 7-1 Poplavno područje u slučaju visokih voda na području eksploatacijskog polja „Dravica – Zalata“

Osim navedene analize, korišteni su i podaci WEBGIS-a Hrvatskih voda (Hrvatske vode, 2017). Korišten je sloj poplava velike vjerojatnosti pojavljivanja te je uzet povratni period u razdoblju od 25 godina. U GIS-u su kreirane dvije karte: jedna bez prikaza dubine vode (Slika 7-2) te druga s prikazom dubine vode (Slika 7-3). Na oba prikaza vidljiva je poplavljenost polja, koja iznosi 12,30 kilometara kvadratnih (od ukupnih 15,82 km²), što čini poplavljenost

istraživanog područja od oko 78 %. Također, vidljiv je položaj planiranih bušotina ispod vodenog stupca od 1,5 do 2,5 metra.



Slika 7-2 Poplavno područje u slučaju visokih voda s velikom vjerojatnosti pojavljivanja na području eksploatacijskog polja „Dravica – Zalata“ (WEBGIS Hrvatskih voda, 2017)



Slika 7-3 Poplavno područje u slučaju visokih voda s velikom vjerojatnosti pojavljivanja na području eksploatacijskog polja „Dravica – Zalata“, s prikazom dubina vode (WEBGIS Hrvatskih voda, 2017)

8 ZAKLJUČAK

Upotreba GIS-a u analizi mogućnosti plavljenja eksploatacijskog polja „Dravica – Zalata“ nedvojbeno daje interesantne informacije o ovom području. Rezultati dobiveni u obliku karata, odnosno grafičkih prikaza, pokazuju se korisnima za daljnje planiranje rada eksploatacijskog polja, odnosno poduzimanja mjera zaštite radnog prostora. Karte dobivene upotrebom GIS tehnologije omogućuju interaktivnu vizualizaciju podataka, što je nedvojbeno prednost u odnosu na klasične karte.

Općenito, čitava analiza može se svesti na četiri osnovna dijela: prikupljanje i obrada skupa podataka u svrhu definiranja maksimalnih vodostaja rijeke Drave, ulaz i obrada prostornih podataka u GIS-u, prostorna analiza te prikaz poplavnog područja. Prvi dio analize proveden je korištenjem programa za tablično računanje *Microsoft Excel*, gdje je maksimalni vodostaj rijeke Drave na vodomjernoj postaji Vrbovka, prognozirano korištenjem regresijske analize. Ostatak prostorne analize proveden u okviru aplikacije *ArcGIS*.

Važno je napomenuti kako provedena analiza ovisi o kvaliteti korištenih podataka. Budući da kvalitetniji podaci kao što je *Lidar* snimak područja i uzdužni profil rijeke Drave s vodnim licima visokih voda, nisu dostupni, analiza je učinjena u GIS-u na temelju postojećih podataka.

Provedena analiza pokazala je kako postoji opasnost od poplavljanja eksploatacijskog polja. U skladu s vodopravnim uvjetima Hrvatskih voda, radovi na eksploatacijskom polju ne smiju se izvoditi u periodu visokih vodostaja rijeke Drave.

9 LITERATURA

BAČANI, A., POSAVEC, K., (2014): Elaborat o zonama zaštite izvorišta Grada Zagreba, RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo.

BARBALIĆ, D., (2002): Usporedba proračuna fiziografskih parametara sliva, GRAĐEVINAR 54 (7), str. 411-415.

BERNAT GAZIBARA, S., (2019): Geohazardi. Interna skripta RGN fakulteta. Zagreb: RGN fakultet.

ESRI, (2012): What is GIS? Priručnik. SAD, str. 61.

HANDLING GEOGRAPHIC INFORMATION. Report of the Committee of Enquiry Chaired by Lord Chorley, Department of the Environment. (London: HMSO, 1987.), str. 208.

HRVATSKE VODE, (2013): Plan upravljanja vodnim područjima – Dodatak I. Analiza značajki Vodnog područja rijeke Dunav.

INA D.D., (2014): Elaborat o rezervama ugljikovodika istražnog prostora „Drava“ Plinsko-kondenzatno polje Dravica-Zalata. Stanje 30.6.2014, 1. Obnova. Fond stručne dokumentacije INA d.d.

INA D.D., (2017): Idejni rudarski projekt Zahvati u prostoru za eksploataciju ugljikovodika na plinsko-kondenzatnom polju „Zalata – Dravica“.

PERKOVIĆ, D., (1998): Hidrogeološki katastar kao dio geografskog informacijskog sustava, Magistarski rad, RGN, Sveučilište u Zagrebu

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET, (2019): Studija o utjecaju na okoliš eksploatacije ugljikovodika na plinsko – kondenzatnom polju Zalata – Dravica. Str. 106

POSAVEC, K., ŠKUDAR, S., (2016): Korelacijsko, regresijsko i kros-korelacijsko modeliranje vremenskih nizova podataka u hidrogeologiji, The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin, 2016, str. 75-90.

SRIVAS, S., KHOT, P. G., (2018): GIS-based Computational Tools & Techniques for Multidimensional Data Analysis & Visualization, International Journal of Applied Engineering Research, 13 (15), str. 11770-11775.

Popis internetskih izvora:

DRŽAVNI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD, SEKTOR ZA HIDROLOGIJU: Hidrološke postaje i podaci URL: <https://hidro.dhz.hr/> (13.03.2019.)

ESRI (2016): What is ArcCatalog. URL: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/using-arccatalog/what-is-arccatalog-.htm> (20.01.2020.)

ESRI (2018): Use the Five-Step GIS Analysis Process. URL: <https://community.esri.com/groups/esri-training/blog/2018/10/19/use-the-five-step-gis-analysis-process> (15.01.2020.)

ESRI (2019): What is GIS. URL: <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview#image6> (16.12.2019.)

ESRI (2019): Spatial operations. URL: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/using-sql-with-gdbs/spatial-operations.htm> (17.01.2020.)

ESRI (2019): 3D Analyst and ArcScene. URL: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/3d-analyst/3d-analyst-and-arcscene.htm> (22.01.2020.)

SLUŽBENI GLASNIK VIROVITIČKO-PODRAVSKE ŽUPANIJE (2013). URL: <http://www.vpz.com.hr/wp-content/uploads/2011/01/Sluzbeni-glasnik-6-VPZ-novo.pdf> (01.10.2019.)

HRVATSKE VODE (2017): Karta opasnosti od poplava po vjerojatnosti poplavljanja. WEBGIS URL: <http://voda.giscloud.com/map/321490/karta-opasnosti-od-poplava-po-vjerojatnosti-poplavljanja> (04.01.2020.)