# Mogućnost korištenja podzemnih voda za navodnjavanje u području donjeg toka Drave i Dunava u Republici Hrvatskoj

**Pavlin, Ida**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

*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:169:614944

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-05-16**

*Repository / Repozitorij:*

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij Hidrogeologije i inženjerske geologije

# MOGUĆNOST KORIŠTENJA PODZEMNIH VODA ZA NAVODNJAVANJE U PODRUČJU DONJEG TOKA DRAVE I DUNAVA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Diplomski rad

Ida Pavlin

GI 2122

Zagreb, 2022.

KLASA: 602-01/22-01/213
URBROJ: 251-70-15-22-2
U Zagrebu, 5. 12. 2022.

**Ida Pavlin, studentica**

# RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/213, URBROJ: 251-70-15-22-1 od 16. 11. 2022. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

**MOGUĆNOST KORIŠTENJA PODZEMNIH VODA ZA NAVODNJAVANJE U PODRUČJU DONJEG TOKA DRAVE I DUNAVA U REPUBLICI HRVATSKOJ**

Za mentora ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Izv. prof. dr. sc. Željko Duić nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentor:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Željko Duić

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za završne i diplomske ispite:

(potpis)

Doc. dr. sc. Zoran Kovač

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Borivoje Pašić

(titula, ime i prezime)

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

# MOGUĆNOST KORIŠTENJA PODZEMNIH VODA ZA NAVODNJAVANJE U PODRUČJU DONJEG TOKA DRAVE I DUNAVA U REPUBLICI HRVATSKOJ

IDA PAVLIN

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

**Sažetak:** U okviru diplomskog rada analizirane su dubine na kojima se pojavljuju vodonosni slojevi kvartarnog vodonosnog kompleksa i moguće izdašnosti zdenaca na području donjeg toka Drave i Dunava. Posebna je pozornost bila usmjerena na plitke vodonosnike koji pokazuju perspektivnost za navodnjavanje. Rad sadrži pregled literature o navodnjavanju u Republici Hrvatskoj i u svijetu. Obrađene su geografske, geološke i hidrogeološke karakteristike Dravskog vodonosnika i šireg područja ovog vodnog tijela. Izrada se temeljila na prikupljanju, georeferenciranju, digitaliziranju i prostornoj analizi povijesnih podataka (hidrogeološke karte, karte transmisivnosti, karte hidroizohipsi, te uzdužnog profila Dravskog vodonosnika), korištenjem programa *ArcMap*, *Microsoft Excel*, *Surfer*, te *Adobe Illustrator*. Rezultat rada je Zemljovid perspektivnosti zahvata podzemne vode koji je postavljen na web-platformu WEBGIS (*ArcGIS Online*) s ciljem pružanja informacija svakom korisniku.

**Ključne riječi:** navodnjavanje, podzemna voda, plitki vodonosnik, Dravski vodonosnik, izdašnost, zdenci, donji tok Drave i Dunava, *ArcGIS*, *ArcGIS Online*

**Diplomski rad sadrži:** 54 stranice, 22 slike, 3 tablice, 5 priloga i 51 literaturni navod

**Jezik izvornika:** hrvatski

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

**Mentor:** Dr. sc. Željko Duić, izvanredni profesor RGNF

**Ocjenjivači:** Dr. sc. Željko Duić, izvanredni profesor RGNF
Dr. sc. Jelena Parlov, izvanredni profesor RGNF
Dr. sc. Dario Perković, izvanredni profesor RGNF

**Datum obrane:** 16. prosinca 2022. godine, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Master's Thesis

# THE POSSIBILITY OF USING GROUNDWATER FOR IRRIGATION IN THE AREA OF THE LOWER FLOW OF THE DRAVA AND DANUBE IN THE REPUBLIC OF CROATIA

IDA PAVLIN

**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:** As part of the thesis, the depths at which the aquifers of the Quaternary aquifer complex appear and the possible yields of the wells in the area of the lower flow of the Drava and Danube rivers are analyzed. Special attention was focused on shallow aquifers that show prospects for irrigation. The paper contains an overview of the literature on irrigation in the Republic of Croatia and the world. The geographical, geological and hydrogeological characteristics of the Drava aquifer and the wider area of this water body are covered. The writing of Master's Thesis was based on the collection, georeferencing, digitization and spatial analysis of historical data (hydrogeological maps, transmissivity maps, hydroisohypsis maps, and the longitudinal profile of the Drava aquifer), using the programs ArcMap, Microsoft Excel, Surfer, and Adobe Illustrator. The result of the work is the Prospective Map of Groundwater Extraction, which has been placed on the WEBGIS web platform (ArcGIS Online) to provide information to every user.

**Keywords:** irrigation, groundwater, shallow aquifer, Drava aquifer, yield, wells, lower flow of the Drava and Danube, ArcGIS, ArcGIS Online

**Thesis contains:** 54 pages, 22 figures, 3 tables, 5 attachments and 51 references

**Original in:** Croatian

**Achived in:** Library of the Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

**Supervisor:** Associate Professor Željko Duić, PhD

**Reviewers:** Associate Professor Prof. Željko Duić, PhD
Associate Professor Jelena Parlov, PhD
Associate Professor Dario Perković, PhD

**Defence date:** December 16, 2022, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

# Sadržaj

1. UVOD ..... 1
2. PREGLED LITERAUTRE ..... 2
2.1. Navodnjavanje u svijetu ..... 2
2.2. Potreba za navodnjavanjem u Republici Hrvatskoj ..... 6
2.3. Navodnjavanje poljoprivrednih površina u Panonskoj Hrvatskoj ..... 8
3. GEOGRAFSKI POLOŽAJ ISTRAŽIVANOG PODRUČJA ..... 11
4. ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA ..... 13
4.1. Regionalna geološka i strukturna građa ..... 13
4.2. Hidrogeološke značajke istraživanog područja ..... 17
4.3. Dravski vodonosnik ..... 18
5. METODE ISTRAŽIVANJA ..... 23
5.1. Alati za obradu i prikaz podataka ..... 23
5.2. Izrada podloga ..... 25
5.2.1. Hidrogeološki zemljovid područja ..... 25
5.2.2. Zemljovid transmisivnosti ..... 33
5.2.3. Zemljovid hidroizohipsi podzemne vode ..... 34
5.3.4. Izvorišta javne vodoopskrbe ..... 36
5.3.5. Kriteriji izrade Zemljovida perspektivnosti područja za zahvat podzemne vode 44
6. REZULTATI − PERSPEKTIVNOST PODRUČJA ZA ZAHVAT PODZMENE VODE ..... 46
6.1. WEBGIS ..... 48
7. ZAKLJUČAK ..... 49
8. POPIS LITERATURE ..... 51

# Popis slika

Slika 2 - 1 (a) Povećanje navodnjavanih površina i crpnih količina od 1975. do 1995. godine; (b) Sniženje piezometarske razine (ITCG, 1995; modificirano prema de Santa Olalla Mañas i dr., 1999; uređena u programu *Adobe Illustrator*) 2

Slika 2 - 2 Preporučene količine vode za navodnjavanje pojedinih kultura u usporedbi sa stvarnom količinom vode koja se koristila tijekom 1996. i 1997. godine (de Santa Olalla Mañas i dr., 1999; uređena u programu *Adobe Illustrator*) 4

Slika 2 - 3 Karta pogodnosti poljoprivrednog zemljišta za navodnjavanje (modificirano prema Romić i dr., 2005; uređena u programu *Adobe Illustrator*) 8

Slika 3 - 1 Crveno označen geografski položaj istraživanog područja (podloga preuzeta s *Google Eartha*, uređena u programu *Adobe Illustrator*) 12

Slika 4 - 1 Depresije i uleknine u hrvatskom dijelu Panonskog bazena (Kranjec i dr., 1981, modificirano prema Velić, 2007) 13

Slika 4 - 2 Geološka građa istraživanog područja - isječak OGK 1:300 000 (HGI, 2009) 16

Slika 4 - 3 Regionalizacija Dravskog vodonosnika na 3 dijela s crpilištima 19

Slika 4 - 4 Hidrogeološki parametri aluvijalnog vodonosnika u sjevernoj Hrvatskoj i generalni smjer toka vode (Brkić i dr., 2010) 20

Slika 5 - 1 Georeferencirana hidrogeološka karta 25

Slika 5 - 2 Karta izobata podine prvog vodonosnika 27

Slika 5 - 3 Karta izobata krovine prvog vodonosnika 28

Slika 5 - 4 Transformacija linijskih podataka u točkaste naredbom *Generate Points Along Lines* uz prikaz x,y i z koordinati 29

Slika 5 - 5 Ulazni podatci i odabir metode interpolacije u programu *Surfer* 29

Slika 5 - 6 Definiranje domene u programu *Surfer* 30

Slika 5 - 7 Matematičke operacije nad kartama u programu *Surfer* 30

Slika 5 - 8 Dobivanje konačne karte izopaha u programu *Surfer* 31

Slika 5 - 9 Karta izopaha aluvijalnog vodonosnika 32

Slika 5 - 10 Područja izvorišta javne vodoopskrbe 40

Slika 5 - 11 Utjecaj radijusa zdenca na odabir crpnih količina uz uvjet postizanja jednakog sniženja na zadnji dan crpljenja (Rushton i de Silva, 2017; uređena u programu *Adobe Illustrator*) 43

Slika 5 – 12 Definiranje granica perspektivnih zona za zahvat podzemne vode 45

Slika 5 – 13 Definirane granice perspektivnih zona za zahvaćanje vode 45

Slika 6 - 1 Zone perspektivnosti za zahvat podzemne vode objavljene na WEBGIS platformi 48

# Popis tablica

Tablica 5 - 1 Površine i udjeli površina transmisivnosti pojedinih litoloških jedinica istraživanog područja ..... 26
Tablica 5 - 2 Podatci o razinama podzemne vode (2001.-2006.) na području donjeg toka Drave i Dunava ..... 34
Tablica 5 - 3 Karakteristike zdenaca na crpilištima javne vodoopskrbe istraživanog područja ..... 41

# Popis priloga

Prilog 1. Hidrogeološki zemljovid istraživanog područja, M 1:200 000

Prilog 2. Uzdužni profil Dravskog vodonosnika

Prilog 3. Zemljovid izolinija transmisivnosti zahvaćenog dijela kvartarnog vodonosnika, M 1:200 000

Prilog 4. Zemljovid hidroizohipsi podzemnih voda, M 1:200 000

Prilog 5. Zemljovid perspektivnosti zahvata podzemne vode, M 1:200 000

# 1. UVOD

Sveprisutniji utjecaj klimatskih promjena dovodi do učestalih pojava sušnih razdoblja što za posljedicu ima smanjivanje prinosa poljoprivrednih kultura. U Republici Hrvatskoj ovakav problem najviše zahvaća Panonsku regiju poznatu kao „žitnica zemlje“. Kao jedno od glavnih rješenja oporavka poljoprivredne proizvodnje, predloženo brojnim projektima, bilo je primjena navodnjavanja.

Cilj ovog rada je ukazati na mogućnost zahvaćanja podzemne vode iz kvartarnih vodonosnih slojeva Dravskoga vodonosnika u donjem toku Drave i Dunava, u svrhu navodnjavanja poljoprivrednih površina. Za potrebe navodnjavanja u radu su analizirani prigorski vodonosnici u miocenskim klastičnim i vapnenačkim naslagama manjeg značaja za regionalnu vodoopskrbu te važniji kvartarni aluvijalni vodonosnici ravničarskih krajeva. S tim u vezi pomoću računalne aplikacije *ArcMap* prikazana su perspektivna područja za zahvat podzemne vode s procijenjenim izdašnostima pojedinih zdenaca i sukladno tome vodonosnika na istraživanom području.

U radu su objedinjena istraživanja o navodnjavanju kako u Republici Hrvatskoj tako i u svijetu. Iako je Republika Hrvatska poznata po svojem vodnom bogatstvu, naglasak u ovom radu je na održivom korištenju vodnih resursa. Za određivanje područja s potencijalom za zahvaćanje podzemne vode analizirane su hidrogeološke značajke vodonosnika (geološka građa, hidrogeološki parametri i debljina vodonosnika) kao i karakteristike zdenaca na postojećim crpilištima javne vodoopskrbe. Prikupljanjem povijesnih podataka, digitalizacijom karata u *ArcMap* aplikaciji (hidrogeološkog zemljovida područja, zemljovida izolinija transmisivnosti zahvaćenog dijela kvartarnog vodonosnika, zemljovida hidroizohipsi podzemnih voda te uzdužnog profila Dravskog vodonosnika) te njihovim preklapanjem kreirana je glavna karta, Zemljovid perspektivnosti zahvata podzemne vode, mjerila 1:200.000. Na zemljovidu su istaknute i zone unutar kojih je zahvaćanje podzemne vode ograničeno. Kako bi informacije o preporučenoj dubini zahvata i izdašnosti zdenaca na istraživanom području bile dostupne svakom korisniku, zemljovid je objavljen na internetskoj platformi WEBGIS (*ArcGIS Online*).

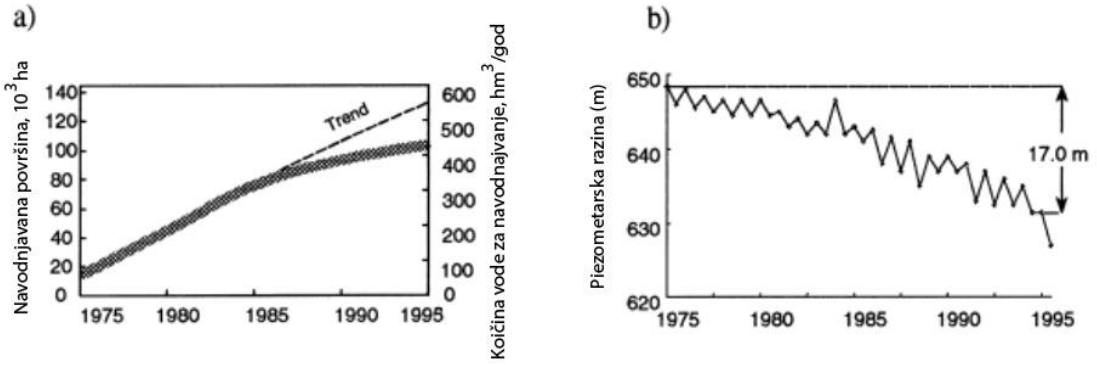
# 2. PREGLED LITERAUTRE

## 2.1. Navodnjavanje u svijetu

Globalno gledajući oko 301 milijun ha pokrivaju područja pogodna za navodnjavanje od čega je 38% opremljeno za navodnjavanje podzemnom vodom. Taj se postotak u najvećoj mjeri odnosi na zemlje kao što su Indija (39 milijuna ha), Kina (19 milijuna ha) i SAD (17 milijuna ha) (Siebert i dr., 2010). Ipak, države koje su agroekonomski ovisne o podzemnoj vodi često se susreću s ozbiljnim problemima poput onečišćenja podzemnih voda kao i iscrpljivanjem vodonosnika - poznato još kao „rudarenje vode“.

Kako su danas klimatske promjene sve više prisutne i intenzivnije (De Wrachien i dr., 2021; Husnjak i dr., 2011; Nikolau i dr., 2020; Šimunić i dr., 2014), postoje države koje su se na ekološki održiv način prilagodile novim uvjetima. Najreprezentativnije su Španjolska i Izrael. Svoja su rješenja bazirale na stvaranju integriranog i cjelovitog sustava upravljanja vodonosnicima kao i pripremi odgovarajućih tehničkih postupaka za njihovo adekvatno iskorištavanje. Cjelovito je upravljanje uzelo u obzir socioekonomske i ekološke potrebe, a integriranost je uključila različite discipline iz područja znanosti sa zajedničkim ciljem rješavanja problema.

Španjolska se u periodu od 1975. do 1995. godine suočavala s problemom intenzivnog iskorištavanja podzemnih voda na području Castile-La Mancha regije gdje je u početku navodnjavala oko 20x10$^3$ ha površina s oko 100 hm$^3$/god, što se do 1995. godine popelo na 100x10$^3$ ha s oko 430 hm$^3$/god. Za taj period od 20 godina piezometarska razina pokazala je pad razine podzemne vode za 17 m (Slika 2-1).




*Slika 2 - 1 (a) Povećanje navodnjavanih površina i crpnih količina od 1975. do 1995. godine; (b) Sniženje piezometarske razine (ITCG, 1995; modificirano prema de Santa Olalla Mañas i dr., 1999; uređena u programu Adobe Illustrator)*

S ciljem održivog korištenja podzemnih voda, odnosno racionalnog iskorištavanja vodonosnika, na ovom je problemu radilo 7 timova iz različitih struka od kojih su najvažniji bili hidrogeolozi jer definiraju hidrogeološke značajke područja. Metodologija rješavanja problema bazirala se na nekoliko ključnih elemenata od kojih je tehničku osnovu činilo detaljno poznavanje vodonosnika. Na temelju simulacija matematičkog modela toka podzemne vode u različitim uvjetima, mogle su se procijeniti potrebne količine vode za navodnjavanje. Ostali bitni elementi koji su se promatrali bili su izvedba sustava navodnjavanja, potrebe usjeva za vodom, procjena regionalne evapotranspiracije i učinkovitost korištenja vode. Budući da se pokazalo kako poljoprivrednici nisu bili sigurni koriste li dovoljnu količinu vode za navodnjavanje, rezultat je bio dizajniranje „Sustava za podršku u navodnjavanju“ (eng. IASA), korištenjem GIS sustava. Sučelje GIS-a bilo je dizajnirano tako da je svim korisnicima, koji nisu specijalizirani za područje hidrogeologije, omogućilo dobivanje informacija na godišnjoj razini koje bi im pomogle u maksimiziranju proizvodnje i profitabilnosti. GIS je sadržavao informacije o:

- procjeni količina vode koje se mogu zahvatiti iz vodonosnika za potrebe navodnjavanja,
- veličinama površina koje se mogu navodnjavati
- odabiru kultura i samim time potrebnih količina vode za kulturu

Informacije su bile dobivene praćenjem navodnjavanja jednom tjedno na razini imanja, na temelju čega se izračunala bilanca vode potrebna za planiranje navodnjavanja s obzirom na stvarne uvjete na terenu, kao i stvarne potrošnje vode. Sustav za podršku u navodnjavanju pokazao se preciznim u pružanju informacija o navodnjavanju usjeva za različite vremenske uvjete na cijelom području vodonosnika, a najvažnije je što je stvorio povjerenje i svijest poljoprivrednika o potrebi ispravnog gospodarenja podzemnom vodom. Prema podatcima iz 1996. i 1997. godine, za kulture s velikom potrebom za vodom poljoprivrednici su koristili 5 do 10 % više od preporučenih količina vode dok za kulture s manjom potrebom za vodom poljoprivrednici su koristili 75 do 30 % manje od preporučenih količina vode (Slika 2-2). Ovakva kontrola volumena navodnjavanja putem IASA sustava smanjila bi količinu crpljenja zaliha vode i dovela bi do smanjenja onečišćenja podzemne vode zagađivalima (de Santa Olalla Mañas i dr., 1999).

| Usjevi | 1996 | | | | | 1997 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *F* | *S* (ha) | *R* (mm) | *I* (mm) | Rt (%) | *F* | *S* (ha) | *R* (mm) | *I* (mm) | Rt (%) |
| Šećerna repa | 26 | 712 | 660 | 697 | 106 | 32 | 865 | 675 | 666 | 99 |
| Luk | 18 | 190 | 528 | 555 | 105 | 16 | 193 | 487 | 512 | 105 |
| Lucerna | 18 | 591 | 517 | 599 | 116 | 19 | 642 | 554 | 618 | 112 |
| Kukuruz (F-700) | 30 | 933 | 508 | 603 | 119 | 50 | 1.246 | 545 | 611 | 112 |
| Suncokret | 13 | 193 | 388 | 397 | 102 | 9 | 123 | 303 | 188 | 62 |
| Ljubičasti češnjak | 8 | 214 | 346 | 260 | 75 | 5 | 62 | 258 | 212 | 82 |
| Pšenica | 16 | 271 | 329 | 311 | 95 | 48 | 1.159 | 280 | 278 | 99 |
| Ječam | 23 | 521 | 250 | 197 | 79 | 17 | 449 | 221 | 174 | 79 |
| Repica | 4 | 163 | 163 | 116 | 71 | 10 | 216 | 166 | 52 | 32 |

F: Broj imanja koja surađuju s IASA-om.
S: Površina koja se navodnjava.
R: Preporuka količina vode za navodnjavanje za cijelu sezonu.
I: Stvarne količine vode koje se koriste za navodnjavanje u cijeloj sezoni.
Rt: Omjer (I/R)*100.

*Slika 2 - 2 Preporučene količine vode za navodnjavanje pojedinih kultura u usporedbi sa stvarnom količinom vode koja se koristila tijekom 1996. i 1997. godine (de Santa Olalla Mañas i dr., 1999; uređena u programu Adobe Illustrator)*

Jedna od najnaprednijih država na svijetu u učinkovitom navodnjavanju je Izrael. Nalazi se na području s dominantno aridnom do semiaridnom klimom gdje 75% površine prekriva pustinja, a godišnja količina padalina iznosi oko 90 mm. Nekoć se suočavala sa stalnim nestašicama slatke vode u središnjoj i sjevernoj regiji, a danas predstavlja model održive vodne infrastrukture – desalinizira morsku vodu, reciklira 85% otpadnih voda pomoću tzv. postrojenja s reverznom osmozom i kao takvu ju isključivo koristi za navodnjavanje. Pročišćena voda prolazi mikrobnu obradu, a u trenutku kada uđe u vodonosnik na dubini od 100 m (proces koji traje mjesecima) gotovo je bez zagađivala (Kramer, 2016).

Također, probleme je nadišla crpljenjem vode povišenog saliniteta iz geotermalnih bušotina, ali i izgradnjom rezervoara za skladištenje kišnice u aridnim dijelovima zemlje (Kolkovsky i dr., 2003; Kramer, 2016). Ova zemlja je pionir u upotrebi najučinkovitije metode navodnjavanja koja se koristi u poljoprivredi, tzv. sustavi pod pritiskom – metoda kap po kap (Josipović i dr., 2013). Stopa učinkovitosti ove metode iznosi od 70 do 80%, naspram otvorenog (površinskog) navodnjavanja, npr. tifonima ili brazdama, koje postiže učinkovitost od 40%. Učinkovitost ove metode leži u tome što se minimalizira ispiranje vode iz zone korijena te isparavanje budući da se voda ne raspršuje (Megersa i Abdulahi, 2015). Poljoprivrednici pri uzgoju kultura koriste sustav kapilarne barijere koji blokira gubljenje vode iz korijena biljke tako da se neposredno ispod zone korijena biljke u plitkim rovovima postavlja sloj šljunka. Urod se u pravilu poveća za oko 25%, a potrošnja vode je smanjena

(Kramer, 2016). Tako se pomaže u smanjenju prekomjerne eksploatacije podzemnih voda koja se dijelom javlja zbog neučinkovitog navodnjavanja površinskim vodama.

Jasne smjernice politike gospodarenja vodom potrebne su za bolje korištenje podzemnih voda. Da bi se takva politika ostvarila, ona mora biti prilagođena lokalnim hidrogeološkim i agroekonomskim uvjetima, mora zahtijevati angažman i podršku institucija (financijsku i pravnu) s jasnim fokusom na zakonsku regulativu upravljanja podzemnim vodama. Osim toga zahtjeva uključenost poljoprivredne zajednice kao i multidisciplinarnost struka te usklađivanje poljoprivrednih ciljeva s mogućnostima raspolaganja podzemnim vodama (Foster i Shah, 2012).

## 2.2. Potreba za navodnjavanjem u Republici Hrvatskoj

Brojna istraživanja pokazala su da Hrvatska, kao i ostatak svijeta, bilježi sve veću degradaciju tala, odnosno nestajanje poljoprivrednih zemljišta zbog acidifikacije, dehumifikacije, onečišćenja, erozije do dezertifikacije koje su povezane s klimatskim promjenama. Uz navedeno, nakon Domovinskog rata, Hrvatska je bilježila veliki pad poljoprivredne proizvodnje koji se još i danas osjeća, te tako umjesto zemlja-izvoznik postaje zemljom-uvoznik poljoprivrednih proizvoda (Pejdo i Šiljković, 2007; Husnjak i Bensa, 2018). Zbog ovog problema 2001. godine izrađen je projekt „Regionalizacija hrvatske poljoprivrede“ u sklopu kojega su definirane poljoprivredne regije i podregije s ciljem planiranja i oporavka poljoprivredne proizvodnje.

Regionalizacijom poljoprivrednog prostora (tzv. agrosfere), izdvojene su 3 poljoprivredne regije: Panonska, Gorska i Jadranska Hrvatska. Od kopnene površine Hrvatske koja iznosi 5 662 031 ha, površina poljoprivrednog zemljišta iznosi 3 212 816 ha. Panonska regija (tzv. žitnica zemlje) pokazala se najvažnijom i najvećom regijom budući da ondje poljoprivredna zemljišta pokrivaju 1 643 844 ha, odnosno 51.2% ukupnih poljoprivrednih zemljišta u RH, za razliku od Gorske i Jadranske gdje je taj postotak daleko manji. Razlog tomu su čimbenici poput reljefa, plodnosti tla, gustoće naseljenosti i razvijenosti poljoprivrednih tehnologija (Bašić i dr., 2007; Bašić, 2014; Husnjak i Bensa, 2018). Prema Tomiću (2014), Hrvatska raspolaže velikim brojem poljoprivrednih površina u odnosu na ostatak svijeta: prosjek u Hrvatskoj je 0,47 ha/stanovniku, Europe je 0,38 ha/stan., Afrike 0,27 ha/stan., Azije 0,14 ha/stan., svijeta 0,20 ha/stan.

Ipak, unatoč povoljnim agroekološkim uvjetima, prinosi glavnih ratarskih kultura u Hrvatskoj su znatno ispod maksimuma (tzv. biološkog potencijala sorti) (Bašić i dr., 2007). Od mnoštva navedenih, jedan od glavnih uzroka niske plodnosti i neuređenosti tla je sve češća pojava suša odnosno nedostatak melioracije i drenažnih sustava (Mihalić i dr., 1981; Romić i dr., 2005; Bašić i dr., 2007; Biondić, 2009; Husnjak i Bensa, 2018).

Posljednjih nekoliko desetljeća Hrvatsku pogađaju intenzivne i dugotrajne suše, a prema Mađaru i dr. (1998) u Hrvatskoj se pojavljuju svake treće do pete godine. U prosječnim klimatskim uvjetima redukcije prinosa poljoprivrednih kultura, uzgajanih bez navodnjavanja, na području RH, iznose od 10 - 60 % (Romić i dr., 2005; Šimunić i dr., 2007), a u ekstremno sušnim i do 90% od biološkog potencijala (Romić i dr., 2005). Kao posljedica toga, jedna od važnih mjera za unaprjeđenje poljoprivredne proizvodnje

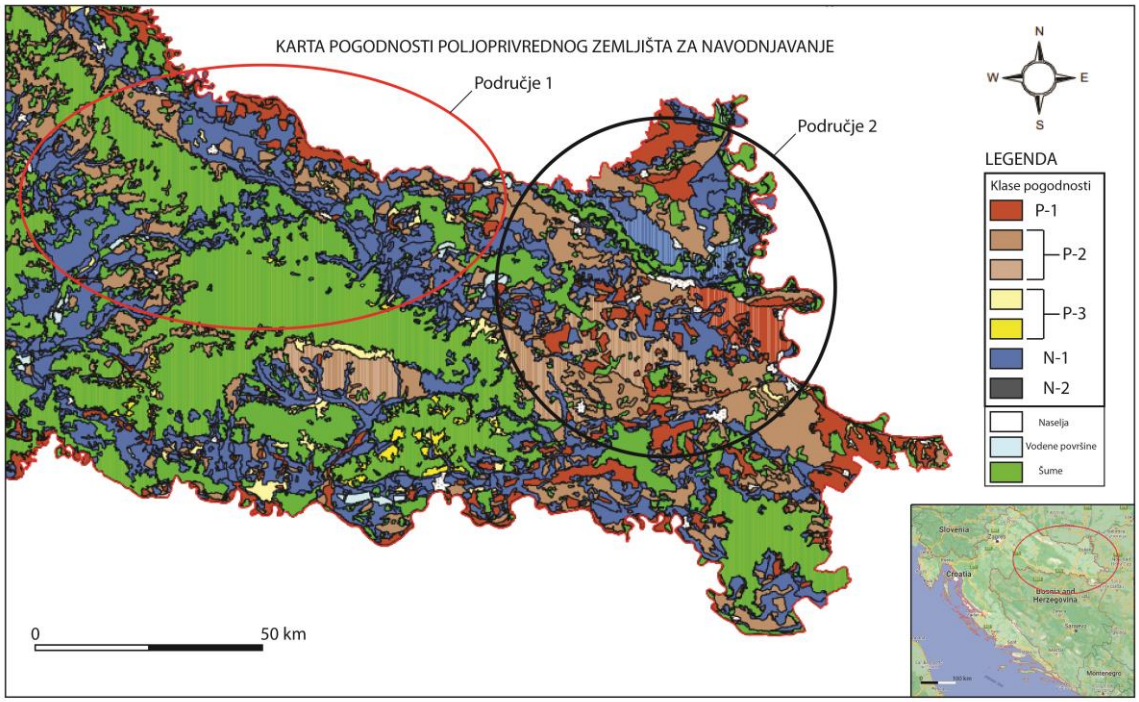
predložena projektom iz 2001. godine trebala je postati navodnjavanje poljoprivrednih zemljišta. Budući da RH raspolaže bogatim vodnim potencijalom, kao i velikim brojem poljoprivrednih površina koje su pogođene intenzivnim sušnim razdobljima, 2005. godine Vlada RH pokrenula je projekt navodnjavanja pod naslovom «Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u RH», skraćeno NAPNAV (Romić i dr., 2005).

Ovim projektom definirana su prioritetna područja za navodnjavanje, od kojih najveći potencijal ima Panonska Hrvatska, konkretnije Osječko-baranjska te Vukovarsko-srijemska županija (Romić i dr., 2005; Ondrašek, 2018). U sklopu NAPNAV-a, višekriterijskom analizom agroekoloških resursa utvrđeno je nešto više od 800 000 ha tala pogodnih za navodnjavanje u RH, pri čemu se 2005. godine navodnjavalo oko 9 000 ha. Plan NAPNAV-a je bio da se do 2010. godine izgrade sustavi za navodnjavanje na novih 35.000 ha poljoprivrednih površina, odnosno do 2020. godine na ukupno 65.000 ha. Međutim, 2013. godine navodnjavalo se samo 18.000 ha ili 1,3 % obradivih površina, odnosno, svega 0,84 % od potencijalno obradivih površina (Tomić, 2014). Premda je EU omogućila svakoj članici donošenje vlastitog zakonodavnog okvira za upravljanje vodama (u nas „Strategija upravljanja vodama“, 2008.g., kojom se među ostalim predlaže strategija navodnjavanja) držeći se smjernica EU-a, one nisu primjenjive na Hrvatsku zbog usitnjenosti zemljišta, odnosno male površine obiteljskih gospodarstava koja čine prevladavajući dio hrvatske agrarne strukture. Zbog ovakvih problema Hrvatska se prema udjelu navodnjavanih površina nalazi na jednom od posljednjih mjesta u Europi što današnju hrvatsku poljoprivredu čini nekonkurentnom (Husnjak i dr., 2011; Romić i dr., 2005; Tomić, 2014; Ondrašek, 2018).

## 2.3. Navodnjavanje poljoprivrednih površina u Panonskoj Hrvatskoj

Navodnjavanje predstavlja melioracijsku mjeru kojom se iz određenog izvora zahvaća voda koja se po potrebi čisti te distribuira u tlu, što pospješuje normalan rast i razvoj uzgajanih kultura (Struna, 2011).

S poljoprivrednog aspekta, najveću pogodnost za navodnjavanje pokazuju površine Panonske Hrvatske (Romić i dr., 2005; Husnjak i Bensa, 2018). Pogodnost navodnjavanja tala označava se klasama P-1 (pogodna tla), P-2 (umjereno pogodna tla), P-3 (ograničeno pogodna tla), N-1 (privremeno nepogodna tla) i N-2 (trajno nepogodna tla) (Slika 2-3). Najpogodnija tla za navodnjavanje, od P-1 do P-3, nalaze se u istočnom dijelu ove regije (Područje 2). Ipak, treba naglasiti da privremeno nepogodna tla (N-1) također zauzimaju veći dio površine, a glavna ograničenja im predstavljaju visoka razina podzemne vode i slaba dreniranost. Stoga je za takva tla potrebno najprije provesti detaljnu odvodnju cijevnom drenažom, a zatim navodnjavanje (Bašić i dr., 2007; Bašić, 2014; Husnjak i Bensa, 2018).




*Slika 2 – 3 Karta pogodnosti poljoprivrednog zemljišta za navodnjavanje (modificirano prema Romić i dr., 2005; uređena u programu Adobe Illustrator)*

Prirodni čimbenici o kojima ovisi navodnjavanje su tlo, voda i klima (Šimunić i dr., 2006).

Najznačajnije tlo istočnog dijela regije, ujedno i najplodnije hrvatsko tlo, čini rastresit sediment - crnica formirana na lesu. Ima vrlo povoljne fizikalne karakteristike (osrednji do visok kapacitet za vodu, dobra propusnost za vodu), kemijske (dosta humusa, visok kapacitet adsorpcije, dobra opskrbljenost hranjivim tvarima) i biološke značajke. Zbog nedostatka i nepravilnog rasporeda oborina, povišenja temperature i povećanja aridnosti klime, vodna bilanca ovog područja pokazuje manjak vode pa bi se, primjerice u Iloku, navodnjavanjem trebao namiriti deficit u rasponu od 2.360 do 3.360 $m^3$/ha/god. (Bašić i dr., 2007; Bašić, 2014). Uz odgovarajuće navodnjavanje ovog tla mogu se očekivati visoki i stabilni prinosi najznačajnijih kultura ovog kraja: pšenice, grahorice, kukuruza, te vinove loze.

Središnji dio Panonske regije uglavnom čine hidromorfna tla - močvarna glinovita tla (Slika 2-3, Područje 1). Radi se o tlima znatnijih ograničenja za navodnjavanje (visoka razina podzemne vode, površinska – stagnirajuća voda, slaba dreniranost i propusnost). Iako takva tla klase N-1 zauzimaju 57 % površine ovog dijela regije, što je značajno više nego u istočnom dijelu, hidromelioracijskim zahvatima – odvodnje i navodnjavanja, takva tla se mogu povoljno koristiti za uzgoj oraničnih – ratarskih i povrtnih kultura te za uzgoj voća. Sva tla pogodna za obradu pogodna su i za navodnjavanje (Bašić i dr., 2007; Bašić, 2014; Husnjak i Bensa, 2018). Vodna bilanca pokazuje nedostatak vode u vegetacijskom razdoblju (travanj-rujan), a izračun pokazuje da je navodnjavanjem potrebno dodati od 2.000 do 2.300 $m^3$/ha/god vode. (Bašić, 2014).

Količina i kakvoća prinosa poljoprivrednih kultura ovise o količini i rasporedu oborina, poglavito u vegetacijskom razdoblju, odnosno u razvojnom stadiju biljke kada biljka klije, cvjeta i razvija plod (Beltrão i dr., 1996; Šimunić i dr. 2006; Šimunić i dr., 2007; Šimunić i dr., 2014). Kako klimatske promjene utječu na povećanu evapotranspiraciju i samim time određuju izbor i mogućnost uzgajanja određenih biljnih vrsta na nekom području, tako utječu i na količinu i zalihu voda u tlu (Šimunić i dr., 2014). Zbog toga uspješno navodnjavanje zahtjeva poznavanje zalihe voda u tlu i kapacitet tla za vodu (Šimunić i dr., 2006). Sustavi za navodnjavanje projektiraju se i izvode s ciljem nadoknade nedostatka vode potrebne za optimalan uzgoj biljaka, izazvanog nedostatkom oborina i/ili

zaliha vode u tlu. Ocjena o potrebi navodnjavanja odnosno nedostatak vode u tlu, dobiva se računanjem razlike parametara:

- Referentne evapotranspiracije – čija vrijednost ovisi o vrijednosti podataka klimatskih elemenata područja za koje se izračunava evapotranspiracija (Šimunić i dr., 2014) i

- Efektivnih oborina (u agronomiji se odnose onaj dio oborina koji izravno zadovoljava potrebe usjeva za vodom)

U slučaju da je referentna evapotranspiracija viša od efektivnih oborina radi se o nedostatku vode u tlu, te je nužno provesti navodnjavanje (Šimunić i dr., 2006; Šimunić i dr., 2007; Šimunić i dr., 2014). Tla pogodna za navodnjavanje ne posjeduju nikakve zapreke u pogledu mogućnosti izgradnje sustava za navodnjavanje (Pejdo i Šiljković, 2007).

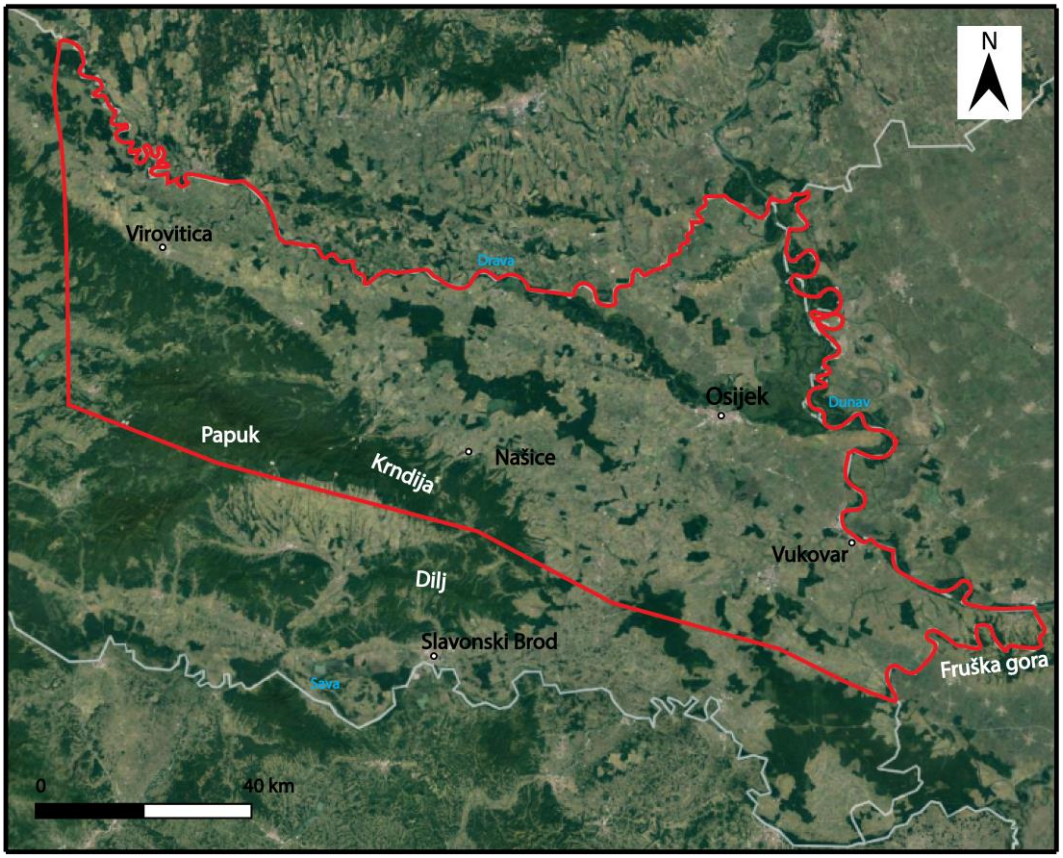
Tla se mogu navodnjavati površinskim ili podzemnim vodama. Općenito, navodnjavanje podzemnim vodama produktivnije je u usporedbi s navodnjavanjem površinskim vodama. Razlog tomu je što se voda osigurava na mjestu uporabe, zadovoljavaju se minimalni zahtjevi transporta vode, poljoprivrednicima se omogućuje navodnjavanje "na zahtjev". Također, sve učestalije pojave suša onemogućuju navodnjavanje površinskim vodama. Hrvatska sadrži izdašne resurse podzemnih voda koji čine oko 70% pitke vode, dok je njihova uporaba za navodnjavanje gotovo zanemariva (Pejdo i Šiljković, 2007). Zahvaćanje podzemne vode izvodi se uz pomoć kopanih i bušenih zdenaca, a odabir metode zahvata u Panonskoj Hrvatskoj ovisit će o hidrogeološkim značajkama podzemlja.

# 3. GEOGRAFSKI POLOŽAJ ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

U zemljopisnom pogledu vodno-gospodarsko područje sliva Donja Drava i Dunav, ukupne površine od 6076,1 $km^2$, obuhvaća cjelovito okružje Podravine s Baranjom i zapadnim Srijemom u Republici Hrvatskoj (Slika 3-1). To je pretežito ravničarsko područje u kojem se pojavljuje nekoliko morfoloških izdignuća. Njih predstavljaju brdski predjeli u jugozapadnom djelu koji zauzimaju sjeverozapadne obronke planina Papuka (953 m n.m.), Krndije (792 m n.m.) i Dilja (471 m n.m.). Na njih se istočno naslanja đakovački i vukovarski praporni ravnjak, te obronci Fruške gore. Postoje još dva izolirana morfološka izdignuća. To su Banovo brdo (271 m n.m.) u Baranji i Erdutsko brdo (190 m n.m.) ispod ušća Drave u Dunav.

Na ovom području razvijeni su terasasti predjeli s duboko izbrazdani stalnim i povremenim potocima. Cijeli kraj omeđuju dvije velike rijeke, Dunav na istoku i Drava na sjeveru sa svojim širokim dolinama. U nizinskom sutoku ovih rijeka nastao je Kopački rit predstavljen širokim pojasom riječnih rukavaca, mrtvaja, kanala, močvara i jezera čije se veličine mijenjaju s visinom vodostaja. Vodno bogatstvo ovog kraja čine i brojne manje nizinske rijeke, potoci i kanali poput baranjske Karašice, Haljevo kanala i Barbara kanal u Baranji, a južno od Drave nalaze se Karašica, Vučica, Vuka i Bobotski kanal.

Na istraživanom području prevladala umjereno topla vlažna klima s toplim ljetom. Godišnja količina padalina na sjeveroistoku Slavonije i Baranje iznosi oko 650 mm dok zapadnije, na području Legrada-Slatine, raste na oko 850 mm (DHMZ, 2021; RH METEO, 2012).




*Slika 3 - 1 Crveno označen geografski položaj istraživanog područja (podloga preuzeta s Google Eartha, uređena u programu Adobe Illustrator)*

# 4. ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Osnovni preduvjet zahvaćanja podzemnih voda u svrhu navodnjavanja jest poznavanje geološke građe istraživanog područja, te hidrogeoloških značajki Dravskoga vodonosnika.

## 4.1. Regionalna geološka i strukturna građa

Dravski vodonosnik manjim je dijelom smješten unutar Slavonsko-srijemske depresije, a najvećim dijelom unutar Dravske depresije koju Malvić i Cvetković (2013) definiraju kao volumen stijena i naslaga neogenske i kvartarne starosti (Slika 4-1).

*Slika 4 - 1 Depresije i uleknine u hrvatskom dijelu Panonskog bazena (Kranjec i dr., 1981, modificirano prema Velić, 2007)*

Kvartarne naslage prekrivaju najveći dio promatranog područja. Neogenske ili još starije stijene nalaze se na površini duž pojedinih uzdignutih strukturnih jedinica.

Najstarije stijene na površini nalaze se na Papuku i Krndiji. Papuk dominantno prekrivaju metamorfne i granite stijene iz perioda ordovicija, silura i devona, dok Krndiju dominantno čini kompleks metamorfnih prekambrijskih stijena (Velić i Vlahović, 2009). Paleozojske stijene često su nabušene i u dubini Dravskog bazena ispod neogenskih naslaga (Malvić i Cvetković, 2013). Položaj i opis naslaga određene stratigrafske pripadnosti

prikazan je na Geološkoj karti Republike Hrvatske M 1:300 000 s pripadajućim tumačem (Slika 4-2).

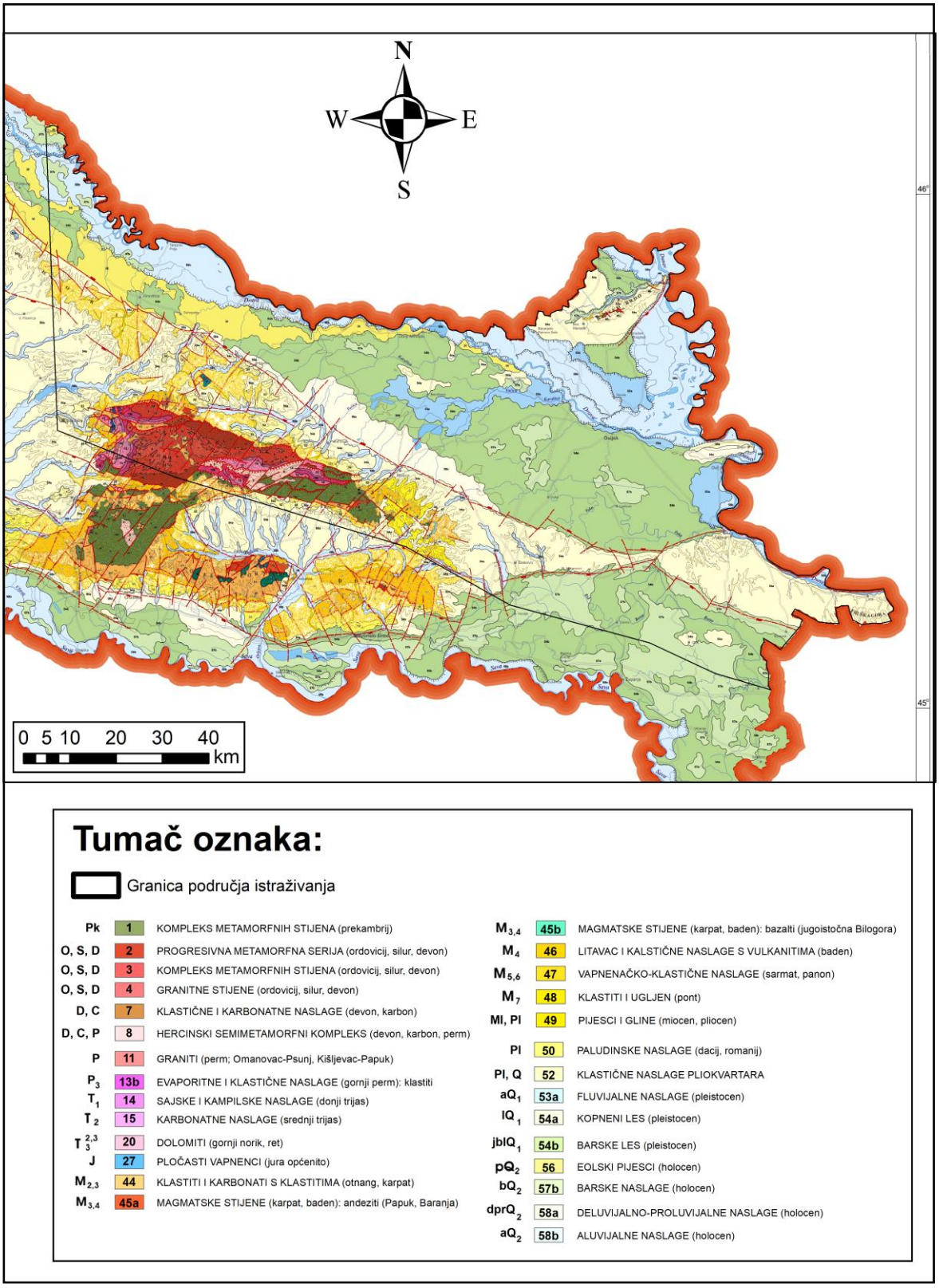
Mezozojske stijene započinju klastitima u donjem trijasu (Papuk). Češće se javljaju vapnenci, dolomiti, mjestimice klastiti i spiliti srednjeg i gornjeg trijasa. Jurski vapnenci, pješčenjaci i rožnjaci mjestimice su prisutni na površini. Kredne naslage pretežito u klastičnom razvoju (Papuk) su raširenije. Bušenjima na području Bilogore, kod Crnca, sjeverno od Drave, u Fruškoj gori, u Baranji i duž Vukovarskog ravnjaka su ustanovljene mezozojske stijene. Kod Belog Manastira blizu površine nađeni su vapnenci gornje krede, a u jezgri Erdutskog brda prisutne su gornjokredne klastične naslage.

Neogenske naslage taložene su transgresivno na opisane naslage. U starijem miocenu prisutni su breče, konglomerati i pješčenjaci. Srednji miocen karakteriziraju marinske naslage: pretežito vapnenci, konglomerati, lapori i pješčenjaci. Na njih se talože brakični vapnenci, pješčenjaci i lapori. Ponegdje se pojavljuju i bazalti, andeziti i rioliti (izdanci kod Voćina i brda Budim). Prve brakične naslage mlađeg miocena relativno su tanke, a dominantno ih čine slatkovodni lapori i pješčenjaci, te su česte njihove izmjene. U Aljmašu i Erdutskom brdu otkriveni su dijabaz-spiliti, a u Banskom brdu andeziti-bazalti. Prisutnost eruptivnih stijena potvrđena je bušotinama kod Crnca i Beničanaca. Pliocenske naslage čine fluvio-jezerski šljunci, pijesci i proslojci glina, malih debljina.

Kvartarne naslage većinom čine šljunci, gline, pijesci, les, eolski, aluvijalni i barski sedimenti. U zapadnom dijelu Dravskog bazena, na području Ferdinandovca, Bilogore, Pitomače, Virovitice i Suhopolja, ustanovljeni su donjepleistocenski Belvederski šljunci. Velikih su debljina, dolaze u izmjeni s pijescima, a nastali su taloženjem iz potoka i rijeka. Ostali dio Dravskog bazena čine dominanto pijesci donjopleistocenske starosti. Uz njih se javljaju i šljunkoviti pijesci, te sitnozrnati proslojci glina, silta i treseta. Srednji pleistocen obilježavaju izmjene šljunaka, pijesaka i glina, često prisutni na dravskim terasama. Za gornji pleistocen značajni su kopneni i barski les. Kopneni les prisutan je na obroncima Krndije i Papuka, duž Đakovačko-vinkovačkog i Vukovarskog ravnjaka, Banskog i Erdutskog brda. Barski se les javlja između Virovitice i Osijeka, te između Baranjskog Petrovog Sela i Luga u Baranji.

Holocenske naslage se prema genezi dijele na eolski tip, jezerske i barske naslage, deluvijalno-proluvijalne i aluvijalne naslage. Na području istraživanja eolski tip sedimenata je prisutan od Koprivnice do Valpova. Naslage su primarno taložene kao fluvijalni sedimenti

rijeka Drave i Mure, a kasnije su pješčane frakcije tih sedimenata nošene djelovanjem snažnih oluja. Karakteriziraju ih sitnozrnati siltni pijesci. Posebno su poznati „Đurđevački peski“ debljina do 20 m. Jezerske i barske naslage uglavnom čine prahovi, gline i sitnozrnati pijesci. Erozijsko-denudacijskim procesima, te odlaganjem rastrošnog materijala nastale su deluvijalno-proluvijalne naslage. Aluvijalni sedimenti su na istraživanom području uglavnom razvijeni u obliku terasa, a taložili su se u dolinama današnjih rijeka. Čine ih krupno do sitnozrnati sedimenti (Velić i Vlahović, 2009).




*Slika 4 - 2 Geološka građa istraživanog područja - isječak OGK 1:300 000 (HGI, 2009)*

## 4.2. Hidrogeološke značajke istraživanog područja

Hidrogeološke značajke uvjetovane su geološkim značajkama i rubnim uvjetima koji predstavljaju sve ulaze i izlaze vode u sustav.

Na istraživanom području regionalno se mogu izdvojiti dva tipa vodonosnika ključna za vodoopskrbu:

1. Kvartarni vodonosnici u nizinskim predjelima u kojima su najveće ukupne zalihe podzemnih voda i najveće obnovljive količine podzemnih voda, te
2. Prigorski vodonosnici u srednjetrijaskim dolomitičnim vapnencima te miocenskim klastičnim i vapnenačkim naslagama na obroncima Papuka i Krndije

U kvartarnim naslagama vodonosnika nizinskih predjela razvijena je primarna poroznost, ključna za akumuliranje podzemnih voda (Prilog 1). Javlja se u šljuncima i pijescima koji izgrađuju vodonosne slojeve. Na području Papuka i Krndije hidrogeološki su najinteresantniji dolomiti i dolomitični vapnenci srednjeg trijasa, te transgresivno na njima miocenske (badenske) naslage koje su u bazalnom dijelu predstavljene konglomeratima, brečokonglomeratima, te litavcem i litotamnijskim vapnencima (Nakić i dr., 2016).

Glede transmisivnosti ovdje je ključna sekundarna poroznost, razvijena u konglomeratima otapanjem vapnenačkog veziva i u vapnencima procesima okršavanja (Prilog 1). Voda se u prigorskim vodonosnicima skladišti i cirkulira zahvaljujući tektonsko-erozijskoj diskordanciji između kristalinskih stijena u podlozi (vapnenaca srednjeg trijasa) i bazalnih krupnoklastičnih badenskih taložina. S hipsometrijski viših, a ujedno i većih područja sjeverno od vodonosnika izgrađenim od kristalina, površinska voda se gravitacijski spušta prema vodonosniku kroz površinski degradirani kristalinski pokrivač i brojne razvijene diskontinuitete. U nizinskim predjelima voda ulazi u vodonosnik procjeđivanjem iz površinskih tokova ili infiltracijom padalina s površine.

Prigorski vodonosnici u pravilu su od lokalnog značaja za vodoopskrbu (Nakić i dr., 2016). Glavni izvor vodoopskrbe istraživanog područja predstavlja aluvijalni Dravski vodonosnik u ravničarskim predjelima.

## 4.3. Dravski vodonosnik

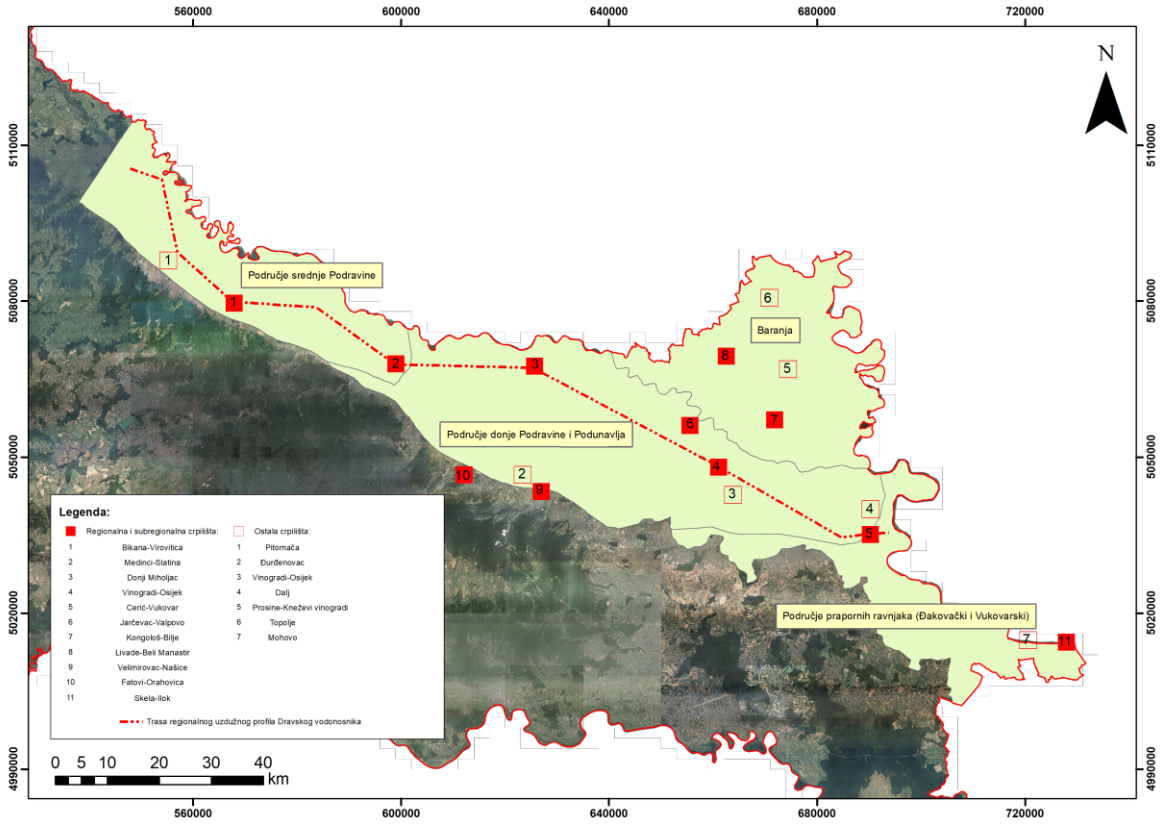
Dravski vodonosnik ima najveću važnost za vodoopskrbu istraživanog područja. Za potrebe vodoopskrbe najznačajnije su naslage do markera Q' (Prilog 2). Urumović i dr. (1978) utvrdili su da se naslage iznad do ovog markera pripisuju srednjem i gornjem pleistocenu, te holocenu, a predstavljaju *kvartarni vodonosni kompleks*. Okarakteriziran je relativno visokim udjelom propusnih slojeva, niskim stupnjem konsolidacije naslaga, niskom mineralizacijom podzemnih voda i mogućnošću „komuniciranja“ podzemnih voda (Urumović i dr., 1976). Ispod markera Q' naslage pripadaju donjem pleistocenu te pliopleistocenu. Stupanj konsolidacije je veći, udjel propusnih, gruboklastičnih slojeva je smanjen i znatne su razlike u mineralizaciji slojnih voda kako po vertikali tako i horizontali, a mineralizacija vode je općenito povišena u odnosu na gornji dio jedinice. Ova dva kontrastna dijela posljedica su regionalnih promjena uzrokovane promjenom paleoklimatskih uvjeta (Duić i Briški, 2010).

Općenito gledajući, idući od zapada prema istoku povećava se broj vodonosnih slojeva unutar Dravskog vodonosnika (Prilog 2). Uz spomenuto, raste i debljina vodonosnog kompleksa. U uzvodnom dijelu, oko Pitomače, kvartarni vodonosni kompleks sastoji se od 3 vodonosna horizonta, dok se prema istoku povećava prostranstvo i broj uložaka pijeska i gline. Oni uvjetuju lokalne pojave većeg broja vodonosnih horizonata (Miletić i dr., 1971).

Budući da je Dravski vodonosnik regionalnog karaktera, na temelju propusnosti, debljine naslaga te osnovnim svojstvima podzemnih voda, promatrano područje podijeljeno je na tri dijela (Slika 4-3):

- područje srednje Podravine,
- područje donje Podravine i Podunavlja i
- područje baranjskih, đakovačkih i vukovarskih prapornih ravnjaka

Analizom podataka iz istraživačkih i eksploatacijsko-istraživačkih hidrogeoloških objekata, kao i dubokih bušotina izvedenih u sklopu naftnogeoloških istraživanja dobiveni su podatci o hidrogeološkim značajkama vodonosnika ovih dijelova istraživanog područja.

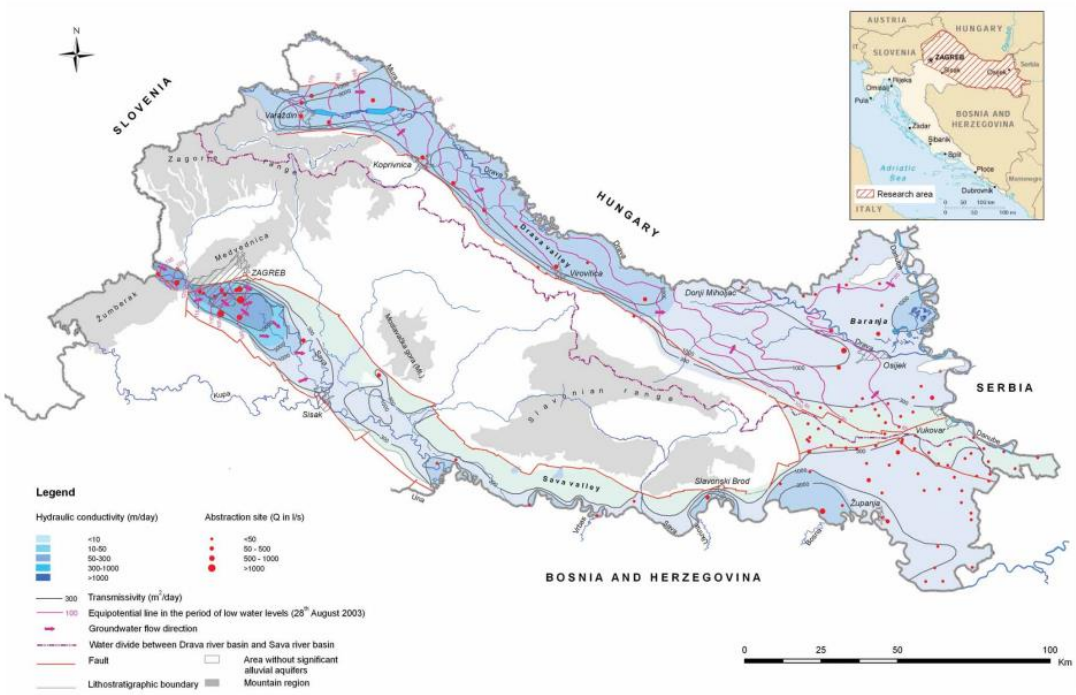



*Slika 4 - 3 Regionalizacija Dravskog vodonosnika na 3 dijela s crpilištima*

**Područje srednje Podravine** podudara se sa zapadnim dijelom Dravske depresije, a proteže se od Koprivnice (legradskog praga) do iza Podravske Slatine. U zapadnim predjelima vodonosnik je pretežito izgrađen od propusnih naslaga šljunka s proslojcima pijeska velikih debljina. Na nekim mjestima zabilježene su značajne pojave polupropusnih naslaga prahova i glina bilo kao primjese krupnoklastičniih naslaga, bilo kao slojevi. Idući prema istoku smanjuje se veličina zrna pa šljunci facijalno prelaze u pijeske. Također, broj i debljina polupropusnih prašinasto-ginovitih proslojaka raste (Prilog 2) (Miletić i dr., 1971). Debljina vodonosnog kompleksa naglo zadebljava istočno od legradskog praga i u najdubljim predjelima moguće premašuje 300 m. Debljine krovine vodonosnika vrlo su neujednačene, a čine ih pretežito prašinasti i glinoviti slojevi (Nakić i dr., 2016). U području između Koprivnice i Pitomače vodonosnik je prekriven humusnim pokrovom ili živim pijescima. U nekim istočnijim predjelima debljina pokrivača doseže i do 20 m. Vodonosni sloj se prihranjuje infiltracijom oborina kroz slabopropusnu krovinu, kao i procjeđivanjem iz korita Drave u uzvodnom dijelu područja (Urumović i Miletić, 1973). Najplići vodonosni slojevi su otvorenog i poluzatvorenog tipa.

Vrijednosti hidrogeoloških parametara kvartarnoga vodonosnika utvrđene su na pojedinim crpilištima na području srednje Podravine. Postojećim zdencima zahvaćaju se naslage do oko 90 m dubine. Prosječne vrijednosti hidrauličke vodljivosti iznose od oko 15 do 150 m/dan, s višim vrijednostima u zapadnom i nižim vrijednostima u istočnom dijelu (Slika 4-4). Karakteristična vrijednost transmisivnosti kvartarnog vodonosnika kreće se u rasponu od 30 $m^2$/dan u južnim, rubnim područjima do preko 5000 $m^2$/dan u središnjim dijelovima ovog područja (Brkić i dr., 2010). Koeficijent uskladištenja vodonosnika (S) iznosi od 0,1 do $2*^{10-3}$ (Nakić i dr., 2016).

Dominiraju reduktivni uvjeti, a oksidirane zone javljaju se u rubnim predjelima pa sadržaj željeza i mangana znatno opada ispod dopuštenog za pitku vodu (Fond stručne dokumentacije RGN-a; Nakić i dr., 2016).




*Slika 4 - 4 Hidrogeološki parametri aluvijalnog vodonosnika u sjevernoj Hrvatskoj i generalni smjer toka vode (Brkić i dr., 2010)*

**Područje donje Podravine i Podunavlja** (između Podravske Slatine i Dunava) zauzima istočni dio Dravske depresije, a odvojen je od središnjeg dijela strukturnim pragom koji je obilježen značajnim lokalnim stanjenjem vodonosnog kompleksa i promjenom granulometrijskog sastava. Vodonosnik je pretežito izgrađen od jednoličnog sitno do srednjezrnastog pijeska s proslojcima praha i gline (Nakić i dr., 2016). Pojave sitnih valutica šljunka su značajnije samo u nekim rubnim predjelima, koje se uglavnom nalaze na dnu velikih slojeva pijeska. Veličina prosječnog zrna se uglavnom ne mijenja idući prema istoku, a ukupna debljina polupropusnih prašinasto-glinovitih proslojaka mjestimice prelazi ukupnu debljinu slojeva pijeska. Debljina vodonosnog kompleksa u ovom dijelu područja pretežito iznosi oko 200 m (Prilog 2). Postupno oplićavanje može se pratiti prema rubnim predjelima depresije. Uz rub rasjeda vodonosni slojevi naglo uklinjavaju. Ukupna debljina propusnih slojeva iznosi od oko 10 do blizu 100 m (Prilog 2). Polupropusna krovina debljine je do nekoliko desetaka metara, a značajna je za zaštitu podzemnih voda. Infiltracija padalina se odvija preko polupropusnog pokrivača (Miletić i dr., 1971).

Hidraulička vodljivost kvartarnog vodonosnik na području donje Podravine i Podunavlja kreće se od oko 10 do oko 50 m/dan. Karakteristična vrijednost transmisivnosti kreće se od 30 do 1250 $m^2$/dan (Slika 4-4) (Brkić i dr., 2010).

Reduktivni uvjeti su izraženi u depresijama Karašice, Vučice i Vuke gdje u pojedinim dijelovima sadržaj željeza raste i preko 10 mg/l. Mjestimice se pojavljuju oksidirane zone u kojima je sadržaj mangana oko granice dopuštenog sadržaja, a željeza opada nešto ispod dopuštene granice za pitku vodu (Fond stručne dokumentacije RGN-a).

**Područje prapornih ravnjaka** (đakovački i vukovarski) predstavlja granično područje porječja Save i Drave te rubne dijelove Dravske i Slavonsko-srijemske depresije. Vodnom području porječja Save pretežito pripada đakovački ravnjak, a vukovarski vodnom području porječja Dunava. Đakovački ravnjak i zapadni dio vukovarskoga karakteriziraju tanki slojevi sitnozrnatog pijeska. Ovi se ravnjaci na jugu naslanjaju na strukture Krndije i Fruške gore. U sjevernom dijelu područja istraživanja javlja se baranjski praporni ravnjak s dva manja izdignuća, Banskim brdom na sjeveroistoku i Erdutskim brdom na istoku.

Krovinu kvartarnog vodonosnog kompleksa Baranje izgrađuju površinske naslage praha, gline i prašinastoga pijeska debljina uglavnom oko 10 do 25 m. U južnim dijelovima Baranje debljina pokrivača reducirana je na 3 -7 m. Ispod površinskih naslaga do oko 30 m,

pa i 50 m dubine prevladavaju slojevi uglavnom jednoličnoga pijeska, ali raznolike granulacije, a ponegdje se pojavljuju i tanji slojevi i leće šljunka. Na području Tikveša značajne su jako propusne naslage šljunka (Nakić i dr., 2016). Valja spomenuti i područje Kopačkog rita koje se nalazi unutar niza spuštenih struktura koje su nastale pomakom strukturnih jedinica što je izazvalo sužavanje i zadebljanje kvartarnih naslaga vjerojatno do 200 m (Urumović i dr., 2003). Podinu kvartarnog vodonosnika predstavljaju nepropusni glinoviti i prašinasti slojevi, te lapori (Miletić i dr., 1971; Duić i Briški, 2010).

U istočnim predjelima vukovarskog ravnjaka, oko Fruške gore, pojavljuju se slojevi konglomeratičnih šljunaka koji se mogu kontinuirano pratiti prema južnim predjelima Savske depresije. Prekriveni su 30-40 m debelim prapornim pokrivačem. Prema središnjim dijelovima vukovarskog ravnjaka šljunci prelaze u jednolične pijeske. Na ravnjaku se u praporima formiraju lebdeći, slabo propusni vodonosnici, a karakteristična je i pojava arteškoga tlaka (Miletić, 1969). Budući da vodonosni sustav uglavnom čine slojevi sitnozrnastog prašinastog pijeska skromne propusnost, zalihe voda su ograničene.

Kvartarni vodonosni kompleks karakteriziraju prosječne vrijednosti hidrauličke vodljivosti od 10 do 30 m/dan (Nakić i dr., 2016). Kao karakterističnu vrijednost parametara vodonosnika područja prapornih ravnjaka može se navesti transmisivnost vodonosnika koja se kreće od 30-750 $m^2$/dan (Slika 4-4) (Brkić i dr., 2010).

U rubnim dijelovima vukovarskog prapornog ravnjaka s konglomeratičnim šljuncima pojavljuju se oksidativni uvjeti sa sniženim sadržajem željeza u podzemnoj vodi (Fond stručne dokumentacije RGN-a).

# 5. METODE ISTRAŽIVANJA

Regionalizacija područja s obzirom na perspektivnost zahvata podzemne vode za potrebe navodnjavanja, zasnivala se na izradi podloga i analizi postojećih podataka prikupljenih iz Fonda stručne dokumentacije RGN fakulteta. Metodologija rada bila je sljedeća:

1. georeferenciranje i digitalizacija hidrogeološke karte istraživanog područja u programu *ArcMap*
2. georeferenciranje i digitalizacija karte transmisivnosti zahvaćenog dijela kvartarnog vodonosnika u programu *ArcMap*
3. analiza kretanja RPV pomoću karte hidroizohipsi podzemne vode
4. pregled podataka o postojećim crpilištima javne vodoopskrbe u području donjeg toka Drave i Dunava
5. Zemljovid perspektivnosti zahvata podzemne vode

## 5.1. Alati za obradu i prikaz podataka

U diplomskom radu korišteni su programi *Microsoft Excel*, *Adobe Illustrator*, *Surfer* te računalni program *ArcMap*.

*Microsoft Excel* je softverski program koji dolazi u sklopu paketa *Microsoft Office*, a koristi se za: analizu podataka, njihovu organizaciju, grafičko prikazivanje podataka, za stvaranje liste ili baze podataka, rješavanje problema matematičkog ili statističkog tipa (Corporate Finance Institute, 2022).

*Adobe Illustrator* je vektorski baziran računalni program za crtanje. Vektorske slike sastoje se od točaka, linija i krivulja, a njihovo dobivanje se temelji na matematičkim formulama zbog čega se kvaliteta slike prilikom povećavanja i smanjivanja ne narušava. U radu je korišten za uređivanje slika (American Graphics Institute, 2022).

*Surfer* je računalni program koji je razvila tvrtka *Golden Software Inc*, a služi za izradu i prikaz 2D i 3D površine terena, profila, izopaha, dobivanje statističkih informacija o ulaznim i izlaznim podatcima i slično. Grafičkom interpolacijom mreže nepravilno raspoređenih točaka sa *x*, *y*, *z* koordinatama, konstruiraju se konture odnosno reljef na temelju kojeg se dobivaju finalne karte. Program nudi različite metode interpolacije ovisno

o želji tumačenja podataka koje unosi korisnik. U radu je korišten za izradu karata izobata i izopaha (Surfer Help, n.d.).

*ArcMap* je centralna aplikacija *ArcGIS Desktop* paketa. Koristi se za izradu i izmjene karata, prostorne analize i upite, uređivanje (*Layout view*) i ispis karata, te pregled, unos i izmjenu postojećih podataka. Sastoji se od dvije osnovne grupe podataka uz koje su vezani atributni (opisni) podatci organizirani u obliku tablice. To su:

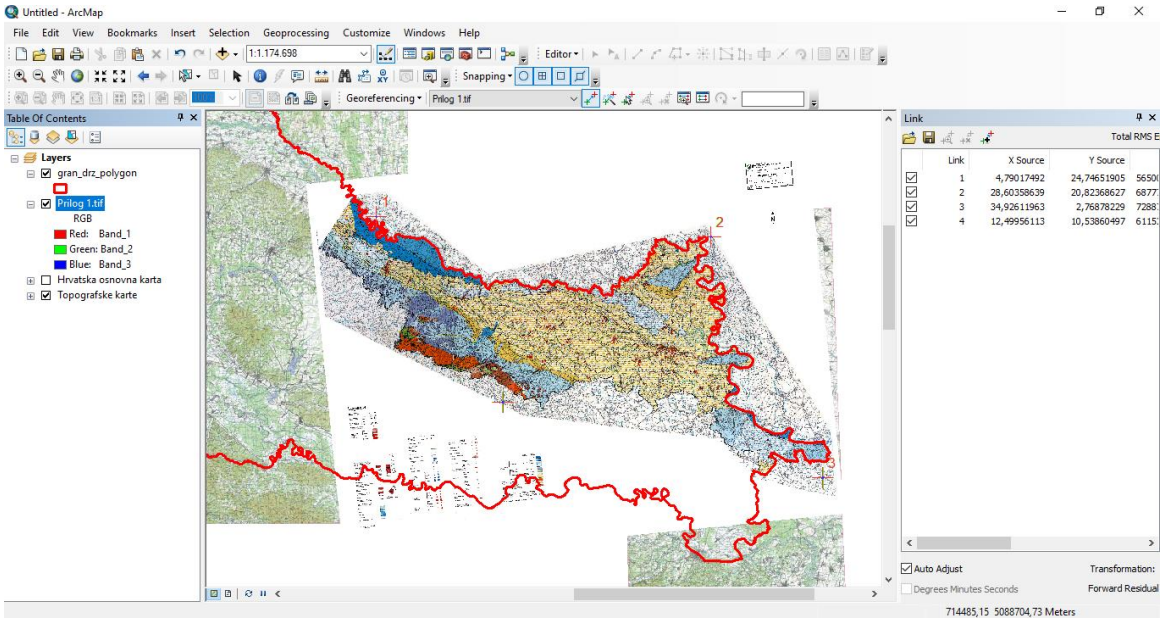
- rasterski podatci – rasterske slike: satelitske snime, skenirane, uslikane karte i slično (u radu su korištene TIFF i JPEG datoteke)
- vektorski podatci – objekti prikazani pomoću točaka, linija ili poligona (najčešće SHP datoteke)

U sklopu ovoga programa moguće je napraviti i konverziju negeoreferenciranih rastera u georeferencirane, odnosno pozicioniranje karte i dodjeljivanje joj željenog koordinatnog sustava. U ovom radu korišten je koordinatni sustav: HTRS96 Croatia TM. Također, izrađene projekte moguće je prikazivati online pomoću WEBGIS-a (vidi Poglavlje 6.1.) (Duke University Libraries, 2022; ESRI, 2021)

## 5.2. Izrada podloga

### 5.2.1. Hidrogeološki zemljovid područja

Izrada hidrogeološke karte bazirala se na georeferenciranju (Slika 5-1) i digitalizaciji postojeće hidrogeološke karte vodnog područja Drave i Dunava, M 1:200.000 (Šarin i Urumović, 1986). Digitalizacija karte izrađena je pomoću *ArcGIS* softverskog paketa, a podatci su prikazani u obliku vektoriziranih točaka, linija i poligona. Napravljena je prostorna analiza distribucije 13 litoloških jedinica s obzirom na njihove transmisivnosti (Prilog 1, Tablica 5-1). Ova analiza je važna radi definiranja vodonosnika koji će zadovoljavati kriterije navodnjavanja malih poljoprivrednih gospodarstava.




*Slika 5 - 1 Georeferencirana hidrogeološka karta*

Tablica 5-1 sastavljena je prema tumaču Priloga 1.

*Tablica 5 - 1 Površine i udjeli površina transmisivnosti pojedinih litoloških jedinica istraživanog područja*

| Litološke jedinice | | Transmisivnost | Površina [km$^2$] | Površina [%] | Ukupno [%] |
|---|---|---|---|---|---|
| Kvartarne naslage s vodonosnicima ukupne debljine do 200 m | | vrlo dobra | 188,16 | 3,1 | 25,45 |
| | | dobra | 192,47 | 3,17 | |
| | | srednja | 11,95 | 0,2 | |
| | | slaba | 941,07 | 15,49 | |
| | | vrlo slaba | 212,12 | 3,49 | |
| Litološke jedinice praktički bez vodonosnika | Ostale nevezane ili slabo vezane klastične naslage | slaba | 242,16 | 3,99 | 6,43 |
| | | pretežno vrlo slaba | 148,41 | 2,44 | |
| | Karbonatne stijene | srednja | 36,53 | 0,6 | 0,79 |
| | | slaba | 11,29 | 0,19 | |
| | Eruptivne i metamorfne stijene | vrlo slaba | 24,67 | 0,41 | 0,41 |
| | Različite nepropusne i slabo propusne naslage | / | 76,24 | 1,25 | 1,25 |
| Plitke kvartarne naslage s vodonosnicima ukupne debljine do 30 m | | vrlo dobra dobra srednja | 3991,01 | 65,68 | 65,68 |
| Ukupno | | | 6076,09 | 100 | |

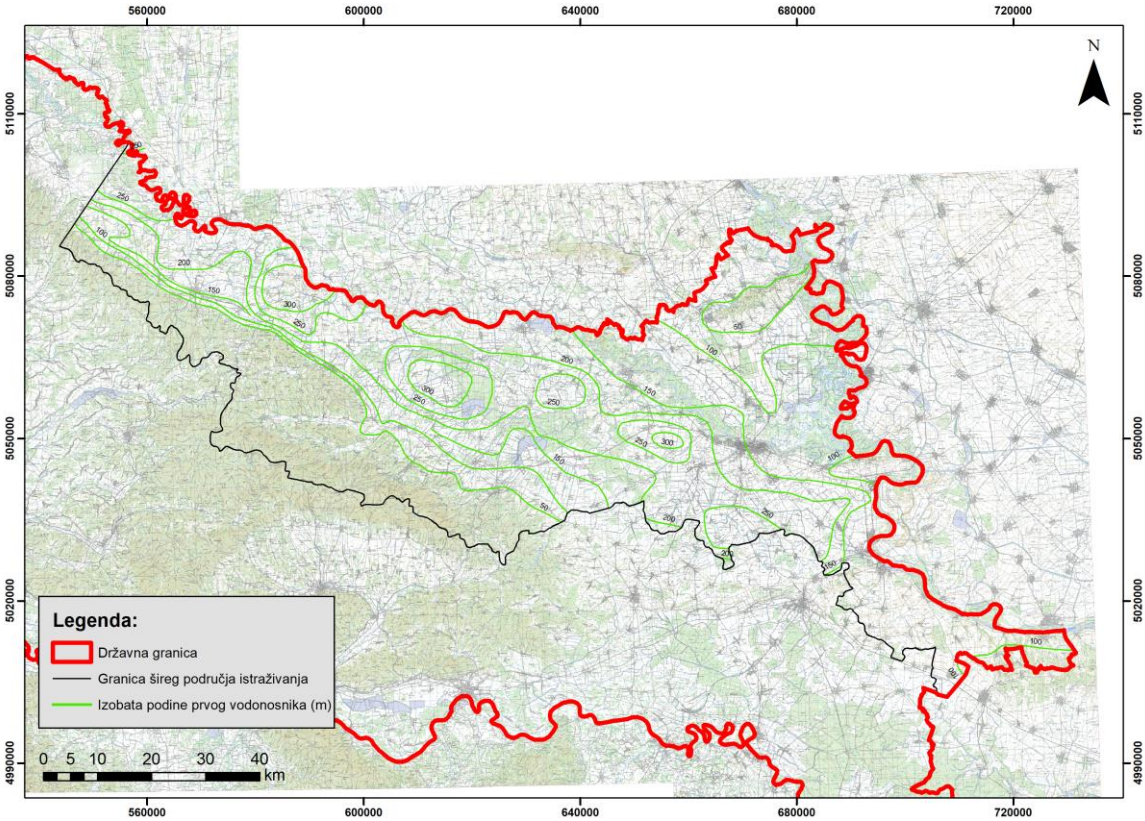
Tablica 5-1 ukazuje da oko 25,5 % područja čine kvartarne naslage s vodonosnicima ukupne debljine do 200 m, a najmanji udio zauzimaju litološke jedinice gotovo bez vodonosnika koje se dominanto javljaju u južnim dijelovima, na obroncima Papuka i Krndije. Prema Tablici 5-1 i Prilogu 1 vidljivo je da na istraživanom području najveći udio od 65,7 % zauzimaju plitke kvartarne naslage s vodonosnicima vrlo dobre, dobre i srednje transmisivnosti, ukupne debljine do 30 m. Dominanto su prisutne na području donje Podravine i Podunavlja, te na prapornim ravnjacima, dok ih je u srednjoj Podravini manje. Ovi podatci pokazuju da su po pitanju navodnjavanja najperspektivnije kvartarne naslage, a posebnu pozornost privlače plitki vodonosnici.

Uz litološke jedinice različitih transmisivnosti, na karti su prikazani hidrogeološki i meteorološki objekti, objekti vodovodne mreže, naftovodne infrastrukture i rudarski objekti, trasa litološkog profila Dravskog vodonosnika, te izobate krovine i podine prvog vodonosnika[1] (Prilog 1).

[1] Miletić i dr. (1971) sa stanovišta vodoopskrbe „kvartarni vodonosni kompleks“ ili „kvartarni vodonosnik“ zamjenjuju nazivom „prvi vodonosni kompleks“, skraćeno „prvi vodonosnik“

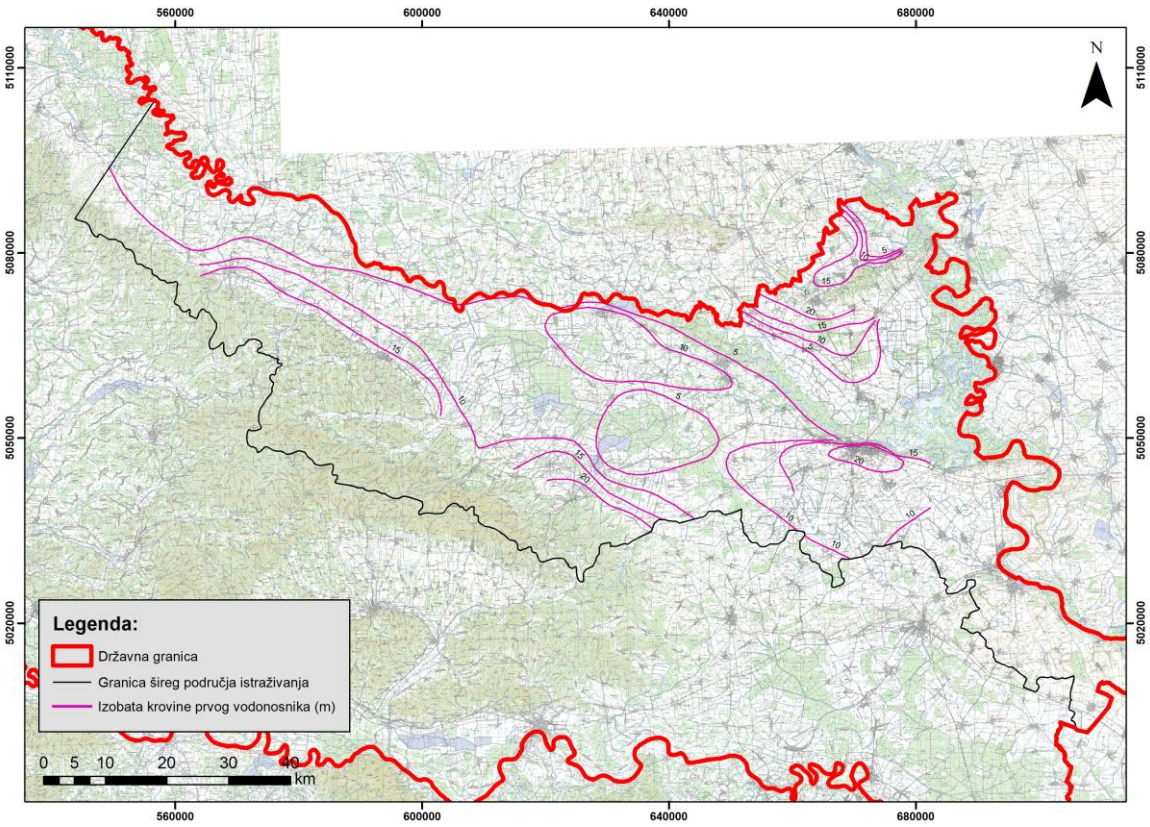
Digitalizacijom karte Šarina i Urumovića (1986) također su dobivene karte koje pobliže prikazuju izobate podine i krovine prvog vodonosnika (Slika 5-2 i Slika 5-3), spomenute u Poglavlju 4.3. Na temelju njih su određene debljine prvog vodonosnika.

Iz Slike 5-2 je uočljivo da su dubine do podine vodonosnika najveće po pružanju profila, odnosno u središnjem dijelu područja srednje Podravine i donje Podravine i Podunavlja, a iznose između 200 do 300 m. U rubnim dijelovima, dubine se smanjuju na 100 do 50 m (obronci Papuka i Krndije, Baranja, vukovarski praporni ravnjak te Ilok).




*Slika 5 - 2 Karta izobata podine prvog vodonosnika*

Slika 5-3 pokazuje dubine do krovine prvog vodonosnika. U zapadnom dijelu srednje Podravine debljina krovine iznosi maksimalno 5 m, a zatim istočnije postepeno raste na oko 10 m te na području donje Podravine i Podunavlja uglavnom varira između 5 i 10 m. Jugozapadno od Valpova dubina do krovine je manja od 5 m. Idući prema istoku debljina krovine raste na 15 m, a na području Osijeka doseže svoj maksimum od oko 20 m. U rubnim dijelovima (obronci Papuka i Krndije), dubine do krovine također rastu do 20 m, a na sjeveroistočnom dijelu, prema Belom Manastiru, vrijednosti najprije rastu na 20 m, a zatim sjevernije od grada se smanjuju na 5 m. Na području vukovarsko ravnjaka te Iloka debljina krovine je manja od 10 m.

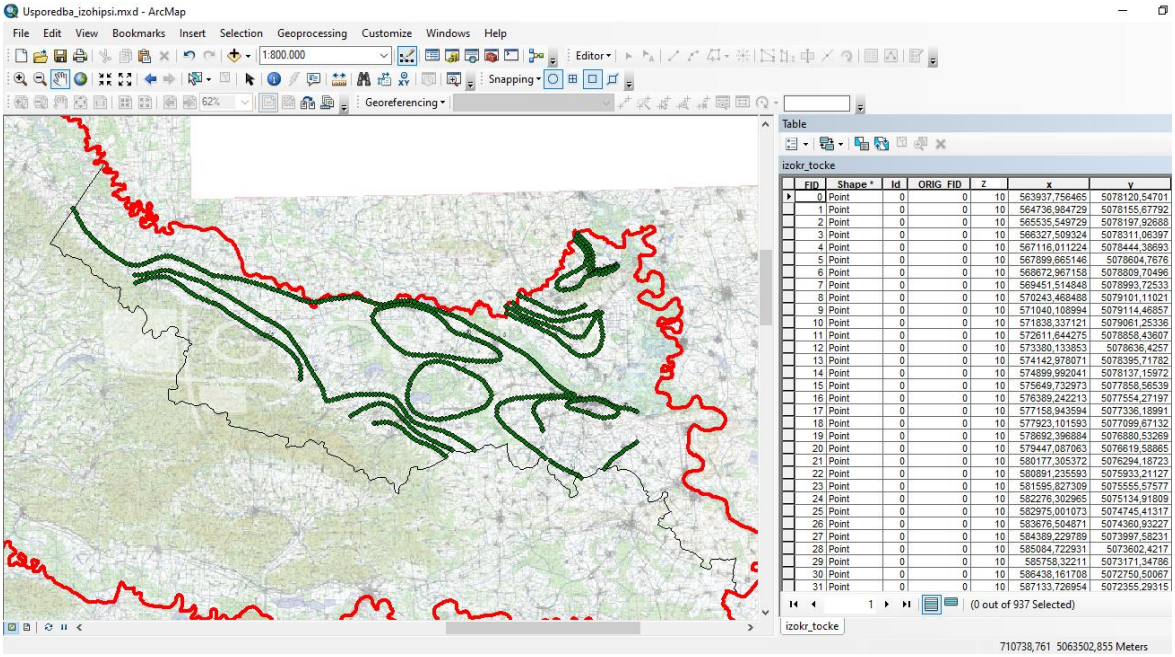



*Slika 5 - 3 Karta izobata krovine prvog vodonosnika*

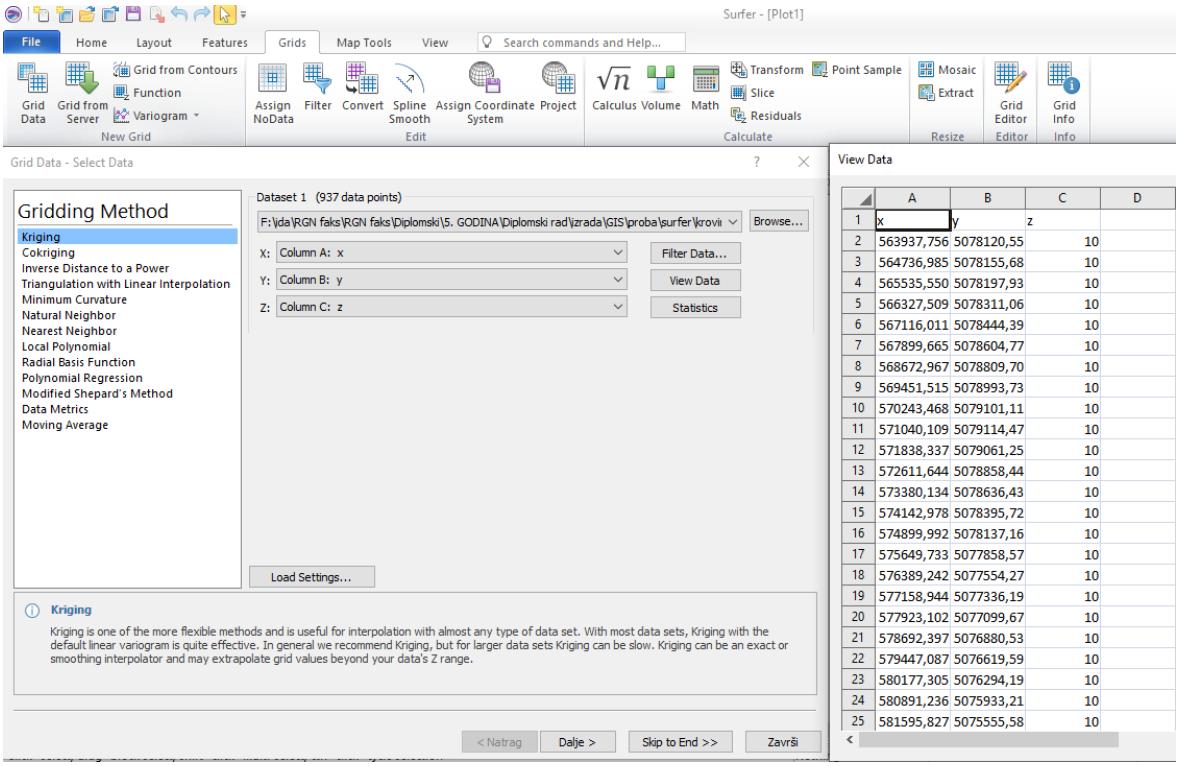
Praćenje debljina krovine prvog vodonosnika bitno je radi razumijevanja prihranjivanja vodonosnika. U zapadnom dijelu (do Pitomače) obnavljanje rezervi podzemne vode je povoljno zbog površinskog toka jer se Drava nalazi u direktnom kontaktu s vodonosnim horizontom. Dalje nizvodno raste debljina relativno nepropusnog pokrivača vodonosnih horizonata, a povećava se i njihova dubina, pa taj povoljni odnos nestaje (Miletić i dr., 1971).

Za dobivanje karata izopaha kvartarnog vodonosnika pomoću programa *Surfer*, bilo je potrebno najprije digitalizirane karte izobata podine i krovine pretvoriti u točkaste podatke. Ova transformacija napravljena je pomoću *ArcMap* naredbe *Generate Points Along Lines* nakon čega su točkama dodijeljene njihove *x*, *y* i *z* koordinate, gdje je *z* koordinata označavala vrijednost izobate (Slika 5-4). Također, oko točkastih podataka definirana je domena koja je nužna za izvršavanje interpolacije unutar *Surfera*. *X*, *y*, *z* koordinate su zatim bile pohranjene u *Excel* tablicu koja je predstavljala ulazne podatke programa *Surfer*. Za konstruiranje karata izobata i izopaha u *Surferu* korišten je interpolacijski algoritam *Kriging* zbog svoje pouzdane procjene prostorno distribuiranih varijabli (Malvić, 2008).

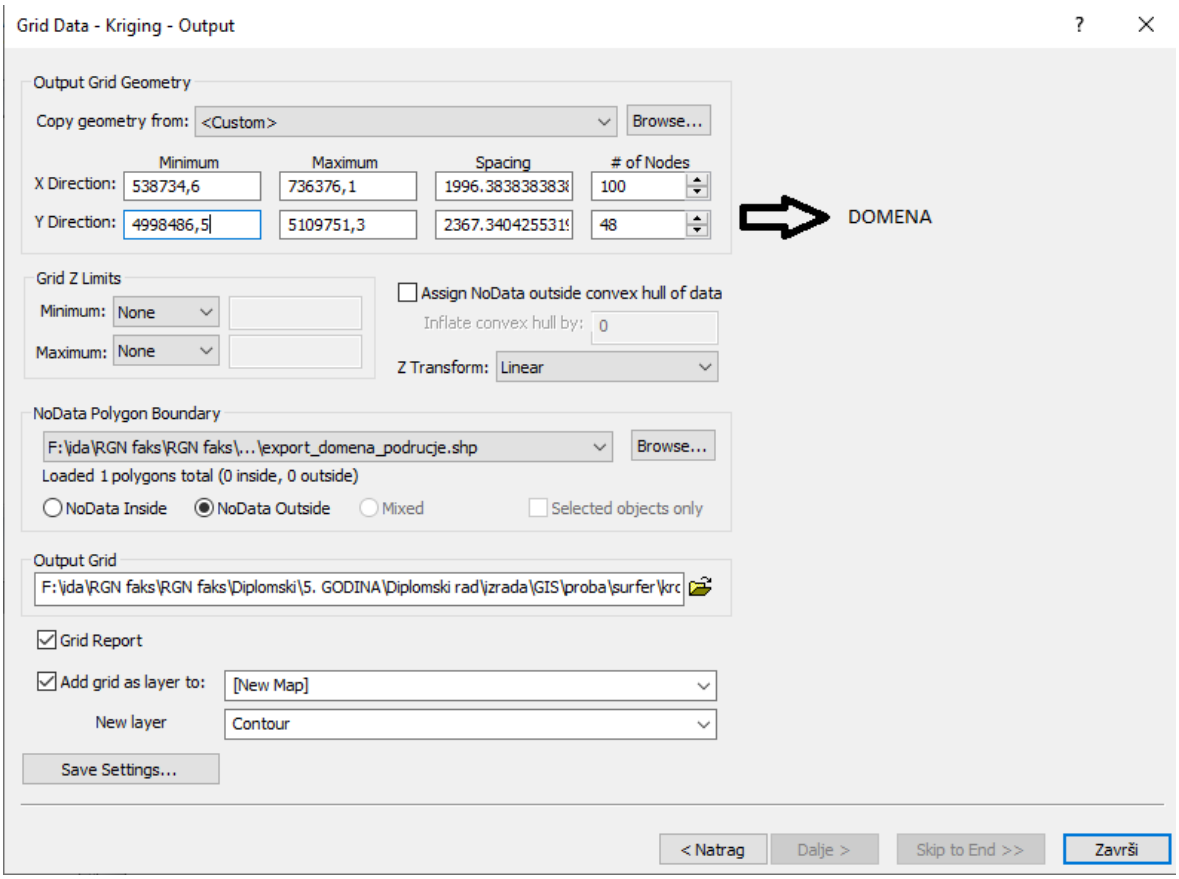
Oduzimanjem karata izobata krovine od izobata podine, dobivena je finalna karta izopaha (Slika 5-5 do Slika 5-8).



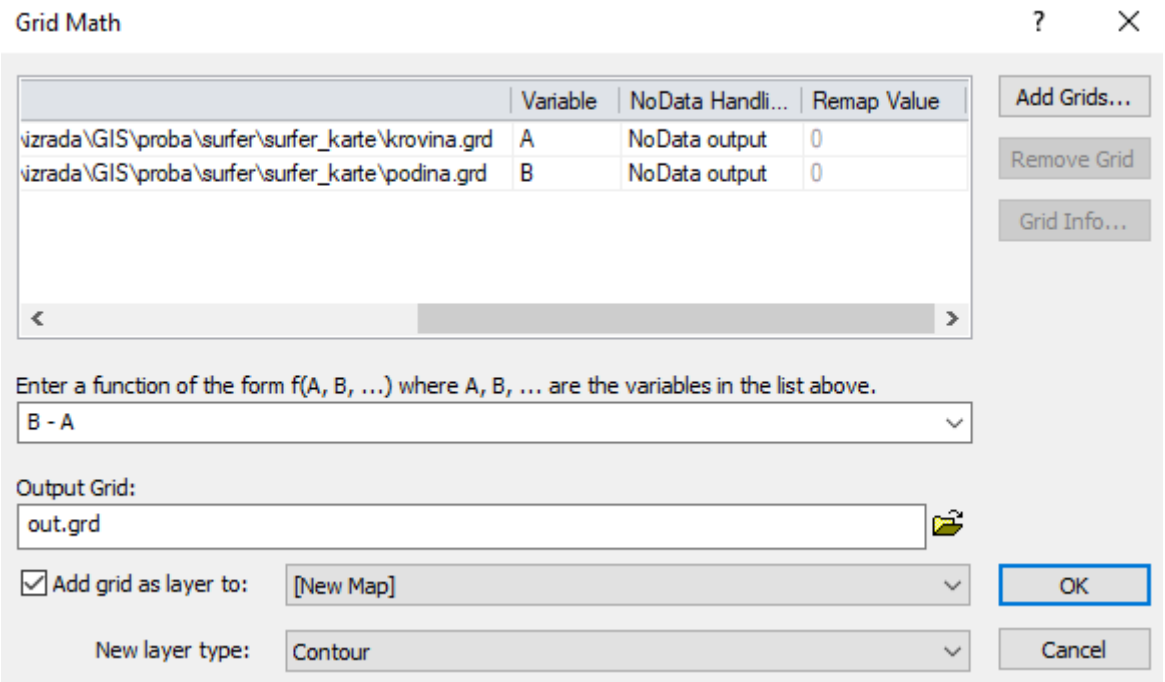

*Slika 5 - 4 Transformacija linijskih podataka u točkaste naredbom Generate Points Along Lines uz prikaz x,y i z koordinati*



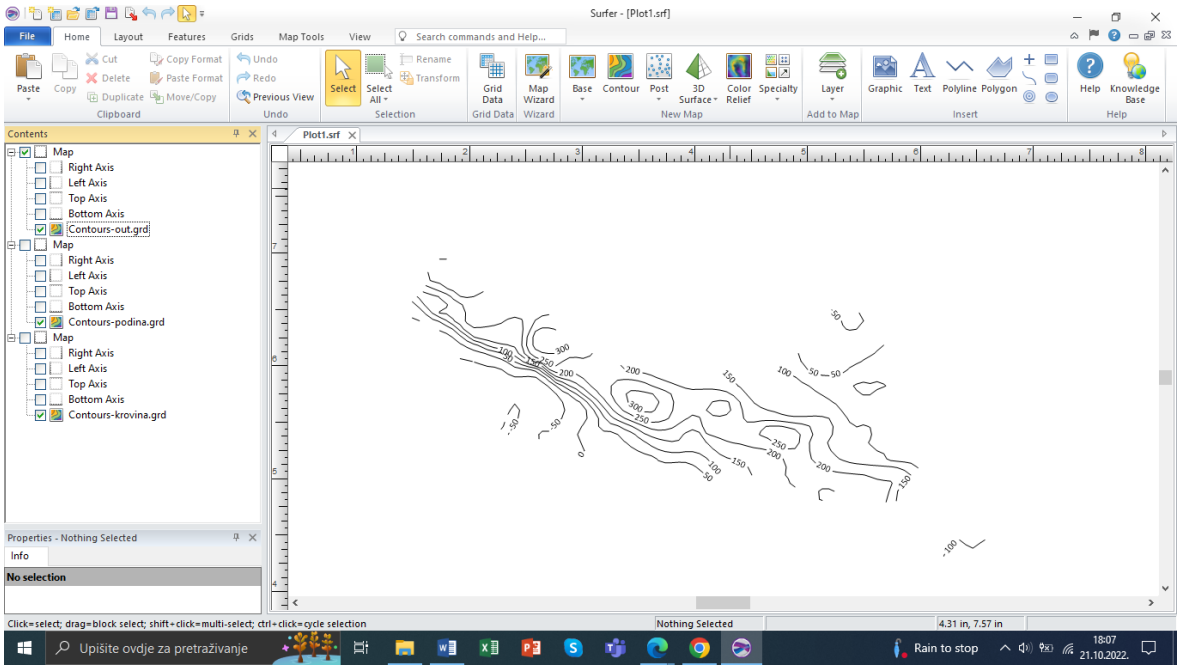

*Slika 5 - 5 Ulazni podatci i odabir metode interpolacije u programu Surfer*




*Slika 5 - 6 Definiranje domene u programu Surfer*



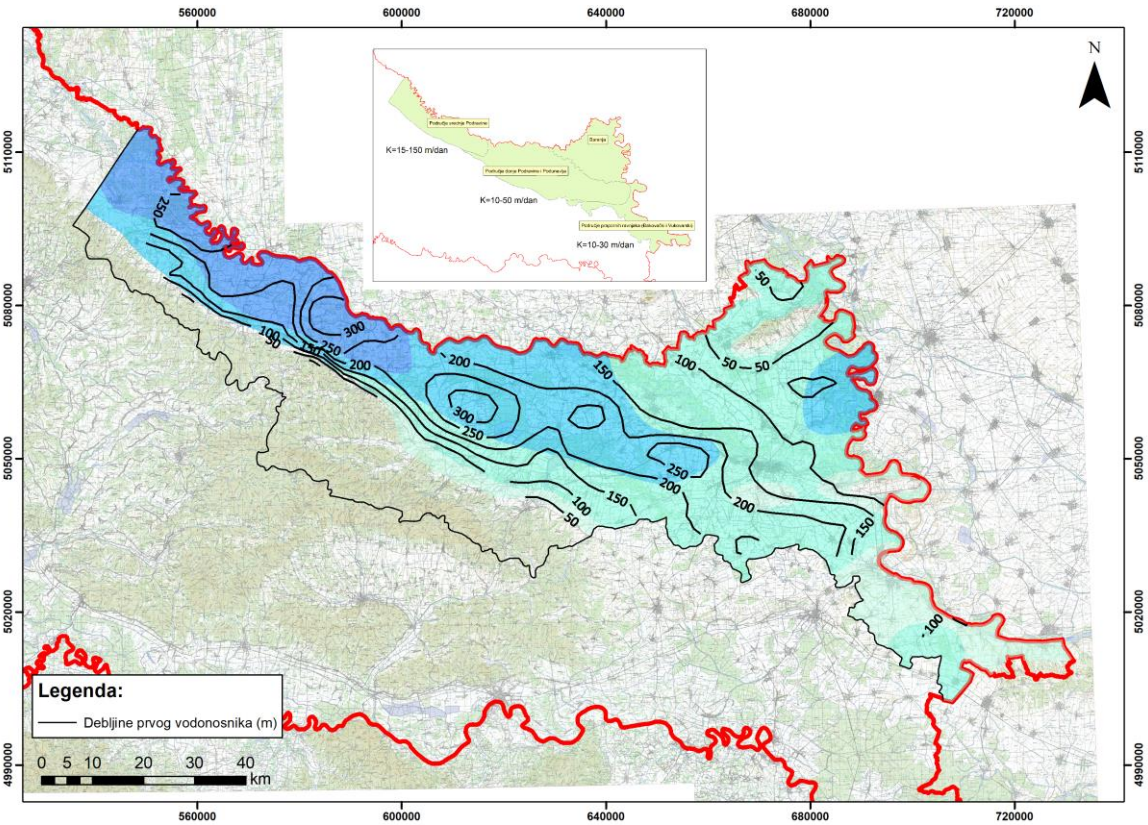

*Slika 5 - 7 Matematičke operacije nad kartama u programu Surfer*




*Slika 5 - 8 Dobivanje konačne karte izopaha u programu Surfer*

Slika 5-9 prikazuje kartu izopaha aluvijalnog vodonosnika. Prije samog opisa, treba napomenuti da dobivene debljine prvog vodonosnika nisu definitivne vrijednosti budući da su dobivene interpolacijskim algoritmom. Njihova točnost ovisit će o budućim, detaljnim-lokalnim hidrogeološkim istraživanjima područja. Na području srednje Podravine, te sjeverno od Đurđenovca javljaju se najveće debljine vodonosnog kompleksa. Istočno od legradskog praga moguće premašuje 300 m dok južnije debljina pada ispod 100 m. U donjoj Podravini i Podunavlju debljina vodonosnog kompleksa pretežito iznosi oko 200 m, a postupno oplićava prema rubnim predjelima. Na području prapornih ravnjaka debljine se kreću između 100 i 200 m. Pomoću stručne dokumentacije RGN fakulteta o prethodnim istraživanjima područja, određeni su rasponi hidrauličke vodljivosti za svaku regiju:

- srednja Podravina: K=15-150 m/dan
- donja Podravina i Podunavlje: K=10-50 m/dan
- područje prapornih ravnjaka: K=10-30 m/dan




*Slika 5 - 9 Karta izopaha aluvijalnog vodonosnika*

### 5.2.2. Zemljovid transmisivnosti

Budući da su do sada bile razmatrane litološke promjene vodonosnika, promjene debljina vodonosnih slojeva i čitavog kompleksa, te hidrauličke vodljivosti, sljedeći korak bio je prikazati promjene transmisivnosti, spomenute u poglavlju 4.3.

Transmisivnost je hidrogeološki parametar koji se definira kao količina vode koja protječe kroz poprečni presjek vodonosnog sloja, jedinične širine i ukupne debljine (m), uz jedinični hidraulički gradijent. Izražava se kao umnožak hidrauličke vodljivosti i debljine sloja:

$$T = K \times m \tag{5.1.}$$

gdje je: T - transmisivnost ($m^2/s$), K - hidraulička vodljivost (m/s), m - debljina vodonosnog sloja (m).

Zemljovid izolinija transmisivnosti (Prilog 3) dobiven je digitalizacijom već određenih granica izolinija transmisivnosti prikazanih na Slici 4-4.

Karakteristične vrijednosti parametara transmisivnosti na području donjeg toka Drave i Dunava kreću se između 0 i 10 000 $m^2$/dan (Brkić i dr., 2010; Brkić i Briški, 2018):

- na području srednje Podravine transmisivnost vodonosnika kreće se u rasponu od 30 $m^2$/dan u južnim, rubnim područjima do preko 5000 $m^2$/dan u središnjim dijelovima ovog područja
- na području donje Podravine i Podunavlja transmisivnost vodonosnika se kreće od 30 do 1250 $m^2$/dan, s manjim vrijednostima u južnijem dijelu i većim u središnjem i sjevernom dijelu
- na području prapornih ravnjaka transmisivnost se kreće od 30-750 $m^2$/dan

Poznavanje ovog hidrogeološkog parametra je važno jer o njemu ovisi eksploatacijska izdašnost zdenaca.

### 5.2.3. Zemljovid hidroizohipsi podzemne vode

Za izradu karte hidroizohipsi korišteni su podatci o razinama podzemne vode prikupljeni na 27 piezometarskih bušotina (Prilog 4). Programom *Microsoft Excel* obrađeni su podatci o piezometarskim razinama te su odabrani datumi minimalnih (niske vode), odnosno maksimalnih razina podzemne vode (visoke vode) i njihove vrijednosti za period od 2001. do 2006. godine (Tablica 5-2). Određeni datum za minimalne RPV bio je 03.09.2001., a maksimalne 01.06.2006. Mjerenja su se provodila 2 puta tjedno svaki 4. dan.

*Tablica 5 - 2 Podatci o razinama podzemne vode (2001.-2006.) na području donjeg toka Drave i Dunava*

| Oznaka piezometra | HTRS 96 / TM (16°30') | | RPV [m n.m.] | |
|---|---|---|---|---|
| | X [m] | Y [m] | niske (03.09.2001.) | visoke (01.06.2006.) |
| P-31 | 598337,96 | 5075223,2 | 96,0 | 97,2 |
| B-33 | 602465,468 | 5072648,8 | 97,6 | 99,6 |
| DP-18 | 602544,843 | 5061761,2 | 100,1 | 101,6 |
| P-27 | 612599,03 | 5063533,9 | 96,0 | 96,7 |
| P-28 | 614504,034 | 5072291,7 | 95,6 | 95,7 |
| P-53 | 621002,214 | 5071206,9 | 94,3 | 94,8 |
| P-23 | 622510,342 | 5054649,2 | 95,4 | 96,2 |
| B-36 | 630510,469 | 5068853 | 92,4 | 93,7 |
| P-55 | 621102,756 | 5050622,2 | 99,8 | 100,9 |
| B-6 | 625664,181 | 5049344,3 | 97,4 | 98,5 |
| P-59 | 634130,865 | 5057527,9 | 89,9 | 92,1 |
| P-58 | 638263,003 | 5067701,1 | 90,1 | 92,3 |
| P-57 | 647603,475 | 5056874,3 | 86,3 | 87,0 |
| B-9 | 647767,517 | 5061443,7 | 86,8 | 87,7 |
| B-43 | 643102,904 | 5052051 | 89,1 | 90,3 |
| P-17 | 644104,809 | 5052416,1 | 88,7 | 90,5 |
| P-18 | 638813,999 | 5042901,7 | 95,4 | 96,2 |
| P-15 | 639390,792 | 5034599 | 105,5 | 107,7 |
| P-14 | 650019,126 | 5032434,7 | 92,0 | 94,2 |
| P-16 | 659659,017 | 5043122,7 | 88,5 | 88,8 |
| P-9 | 670057,162 | 5059632,8 | 868,0 | 87,7 |
| P-8 | 672822,064 | 5049684,4 | 80,3 | 81,8 |
| P-6 | 671974,979 | 5030225,5 | 85,7 | 87,6 |
| P-10 | 674197,483 | 5069678,9 | 85,9 | 86,7 |
| B-3 | 656259,21 | 5071047,9 | 87,0 | - |
| P-5 | 683470,337 | 5056976 | 83,2 | 83,5 |
| P-1 | 692333,897 | 5028070,2 | 81,2 | 82,2 |

Prema Brkić i dr. (2010) u periodu 1997.-2007. analizom kolebanja RPV ustanovljen je trend opadanja RPV koji je pod pretežitim utjecajem snižavanja vodostaja rijeke Drave. Na pad vodostaja Drave utječu morfološke promjene u riječnom koritu nastale izgradnjom hidrotehničkih objekata. Analizom perioda 1997.-2001. te 2002.-2007. RPV su bile dominantno pod utjecajem klimatskih promjena. U periodu 1997.-2001. bio je zabilježen trend snižavanja RPV kao i trend smanjenja količine oborina, a 2002.-2007. zabilježeno je povećanje srednje godišnje količine oborina i razine podzemne vode. Ipak, zbog brojnih faktora koji utječu na prihranjivanje vodonosnika (raspodjela oborina, vrsta tla, retencijska svojstva tla, hidraulički parametri vodonosnika i njegova debljina) dalo se zaključiti sljedeće:

- obnavljanje RPV u dubljim dijelovima Dravskog vodonosnika nije pod utjecajem relativno kratkoročnog trenda porasta oborine, već je pod utjecajem dugoročnog smanjenja oborina
- snižavanje RPV posljedica je zajedničkog utjecaja višegodišnjeg smanjenja godišnje količine oborine i višegodišnjeg snižavanja vodostaja Drave

Na temelju hidroizohipsi određeni su smjerovi toka podzemne vode čije je poznavanje važno prilikom pozicioniranja zdenaca kako si ne bi radili sjenu tijekom crpljenja. Također, praćenjem smjera toka može se i pratiti pronos onečišćenja u vodi. Generalni smjer toka u srednjoj Podravini je sjeverozapad-jugoistok (uglavnom prati smjer toka rijeke Drave), dok su u donjoj Podravini i Podunavlju te na području prapornih ravnjaka smjerovi različiti (Prilog 4). Zapadno od Osijeka opaža se lokalna anomalija uzrokovana crpljenjem zdenaca na izvorištu Vinogradi-Osijek. Redovitim monitoringom razina podzemnih voda tijekom kišnih i sušnih razdoblja izračunavaju se obnovljive količine sezonskih zaliha podzemne vode, bitne zbog određivanja crpnih količina koje će se koristiti za određene poljoprivredne kulture.

### 5.3.4. Izvorišta javne vodoopskrbe

Prilikom određivanja zona s perspektivnošću zahvaćanja podzemne vode trebalo je voditi računa o područjima u kojima su takvi zahvati ograničeni. Znatan dio područja pokriven je vodozaštitnim zonama crpilišta javne vodoopskrbe. Na slivnom području donje Drave i Dunava nalazi se 16 crpilišta javne vodoopskrbe (Slika 5-10). Navedeni podatci o crpilištima preuzeti su iz Fonda stručne dokumentacije RGN-a:

**Crpilište Pitomača** nalazi se na terasastim predjelima Podravine, oko 2 km jugoistočno od središta grada Pitomače na lokaciji Lisičine. To je morfološki blago izražena nagnuta terasa koja se od sjevernih obronaka Bilogore gdje su kote terase oko 170 m n.m. postupno spušta i doseže sve do južne periferije Pitomače gdje su kote dravske doline oko 120 m n.m. Na lokaciji crpilišta nalaze se tri vodonosna sloja na 10-29 m, 35-46 m i 58-85 m dubine.

Na crpilištu je izveden jedan zdenac koji zahvaća sloj šljunka s pijeskom na dubini od oko 58 do 85 m. U zdenac je ugrađena konstrukcija promjera 400 mm. Pri maksimalnoj crpnoj količini postignuta je specifična izdašnost zdenca Q/s = 3,17 l/s/m, a maksimalna eksploatacijska izdašnost zdenca je 20 l/s.

**Crpilište Bikana - Virovitica** nalazi se u sjevernom dijelu grada Virovitice, u rubnom djelu između urbaniziranih dijelova na jugu i poljodjelskih površina na sjeveru. Ovo crpilište je glavno izvorište virovitičkoga vodoopskrbnog sustava.

Na crpilištu su načinjena četiri stara i tri nova zdenca. Zdencima je zahvaćen vodonosnik izgrađen od šljunka i pijeska u dubinskom intervalu od 45 do 82 m. U zdence je ugrađena konstrukcija promjera 400 mm. Prosječna specifična izdašnost zdenca je Q/s = 27 l/s/m, a maksimalna eksploatacijska izdašnost zdenca je 80 l/s.

**Crpilište Medinci - Slatina** nalazi se istočno od naselja Medinci između magistralne ceste Slatina - Donji Miholjac i njenoga odvojka za selo Grabić.

Na crpilištu je izgrađeno ukupno pet zdenaca koji zahvaćaju vodonosnik šljunka i pijeska u dubinskom intervalu 20-70 m. U zdence je ugrađena konstrukcija promjera 350 i

400 mm. Specifična izdašnost zdenca je Q/s = 10,4-18,2 l/s/m, a maksimalna eksploatacijska izdašnost zdenca je 56 l/s.

**Crpilište Donji Miholjac** smješteno je na zapadnoj periferiji grada, s jugoistočne strane ceste za Ivanovo.

Na crpilištu je izgrađeno ukupno tri zdenaca koji zahvaćaju vodonosnik šljunka i pijeska u dubinskom intervalu 40-90 m. U zdence je ugrađena konstrukcija promjera 350 i 400 mm. Prosječna specifična izdašnost zdenca je Q/s = 10 l/s/m, a maksimalna eksploatacijska izdašnost zdenca je 55 l/s.

**Crpilište Đurđenovac** nalazi se unutar bivšeg kombinata DIK Đurđenovac u središnjem dijelu Đurđenovca.

Na crpilištu je izgrađeno ukupno tri zdenaca koji zahvaćaju vodonosnik šljunka i pijeska u dubinskom intervalu 29-56 m. U zdence je ugrađena konstrukcija promjera 400 mm. Pri maksimalnoj crpnoj količini postignuta je specifična izdašnost zdenca Q/s = 9,1 l/s/m, a maksimalna eksploatacijska izdašnost zdenca je 40 l/s.

**Crpilište Velimirovac - Našice** nalazi se oko 1 km sjeverno od grada Našica između naselja Velimirovac, Vrebačke šume i korita Našičke rijeke.

Na crpilištu je izgrađeno ukupno pet zdenaca koji zahvaćaju vodonosnik šljunka i pijeska u dubinskom intervalu 16-45 m. U zdence je ugrađena konstrukcija promjera 400 mm. Prosječna specifična izdašnost zdenca je Q/s = 7 l/s/m, a maksimalna eksploatacijska izdašnost zdenca je 30 l/s.

**Crpilište Vinogradi - Osijek** predstavljeno je nizom dubokih zdenaca položenih u smjeru jugozapad-sjeveroistok tako da presijecaju osječku terasu slijedeći desnu obalu Poganovačko-Kravičkog (Brondinskoga) kanala, oko 200 do 500 m udaljeni od korita.

Na crpilištu je izgrađeno ukupno osamnaest zdenaca koji zahvaćaju vodonosnik izgrađen od sitno do srednjezrnog pijeska u dubinskom intervalu 40-176 m. U zdence je

ugrađena konstrukcija promjera 400 mm. Specifična izdašnost zdenca je Q/s = 7-11 l/s/m, a maksimalna eksploatacijska izdašnost zdenca je 40 l/s.

**Crpilište Jarčevac - Valpovo** nalazi se u međuriječju Drave i Karašice, sjeverno od ceste Petrijevci - Valpovo.

Na crpilištu je izgrađeno ukupno tri zdenaca koji zahvaćaju vodonosnik izgrađen od sitno do srednjezrnog pijeska u dubinskom intervalu 30-120 m. U zdence je ugrađena konstrukcija promjera 400 mm. Specifična izdašnost zdenca je Q/s = 7 l/s/m, a maksimalna eksploatacijska izdašnost zdenca je 40 l/s.

**Crpilište Livade - Beli Manastir** nalazi se u jugoistočnome dijelu grada Belog Manastira.

Na crpilištu je izgrađeno ukupno šest zdenaca koji zahvaćaju vodonosnik izgrađen od sitno do srednjezrnog pijeska u dubinskom intervalu 20-34 m. U zdence je ugrađena konstrukcija promjera 400 mm. Specifična izdašnost zdenca je Q/s = 2,11 l/s/m, a maksimalna eksploatacijska izdašnost zdenca je 15 l/s.

**Crpilište Konkološ - Bilje** smješteno je na najnižoj baranjskoj terasi između Bilja i Darde.

Na crpilištu je izgrađeno ukupno četiri zdenca koji zahvaćaju vodonosnik izgrađen od sitno do srednjezrnog pijeska u dubinskom intervalu 23-57 m. U zdence je ugrađena konstrukcija promjera 400 mm. Specifična izdašnost zdenca je Q/s = 11-13 l/s/m, a maksimalna eksploatacijska izdašnost zdenca je 40 l/s.

**Crpilište Prosine - Kneževi Vinogradi** nalazi se južno od Kneževih Vinograda na rubnom predjelu srednjobaranjske terase, smješteno između ceste Grabovac – Kneževi Vinogradi i ruba terase prema inundacijskom područje Dunava.

Na crpilištu je izgrađeno ukupno tri zdenaca koji zahvaćaju vodonosnik izgrađen od sitno do srednjezrnog pijeska u dubinskom intervalu 38-46 m. U zdence je ugrađena

konstrukcija promjera 400 mm. Specifična izdašnost zdenca je Q/s = 1,65 l/s/m, a maksimalna eksploatacijska izdašnost zdenca je 11 l/s.

**Crpilište Topolje** nalazi se na rubu terasastog ravničarskog područja iznad inundacijskog područja Dunava.

Na crpilištu je izgrađeno ukupno dva zdenaca koji zahvaćaju vodonosnik izgrađen od pijeska i šljunka u dubinskom intervalu 20-40 m. U zdence je ugrađena konstrukcija promjera 400 mm. Specifična izdašnost zdenca je Q/s = 9 l/s/m, a maksimalna eksploatacijska izdašnost zdenca je 50 l/s.

**Crpilište Cerić - Vukovar** nalazi se sjeverno od Vukovara, između naselja Trpinja i željezničke pruge.

Na crpilištu je izgrađeno ukupno sedam zdenaca koji zahvaćaju vodonosnik izgrađen od sitno do srednjezrnog pijeska u dubinskom intervalu 36-102 m. U zdence je ugrađena konstrukcija promjera 300 i 400 mm. Specifična izdašnost zdenca je Q/s = 6 l/s/m, a maksimalna eksploatacijska izdašnost zdenca je 40 l/s.

**Crpilište Dalj** nalazi se oko 500 m južno od naselja Dalj, između ceste i željezničke pruge.

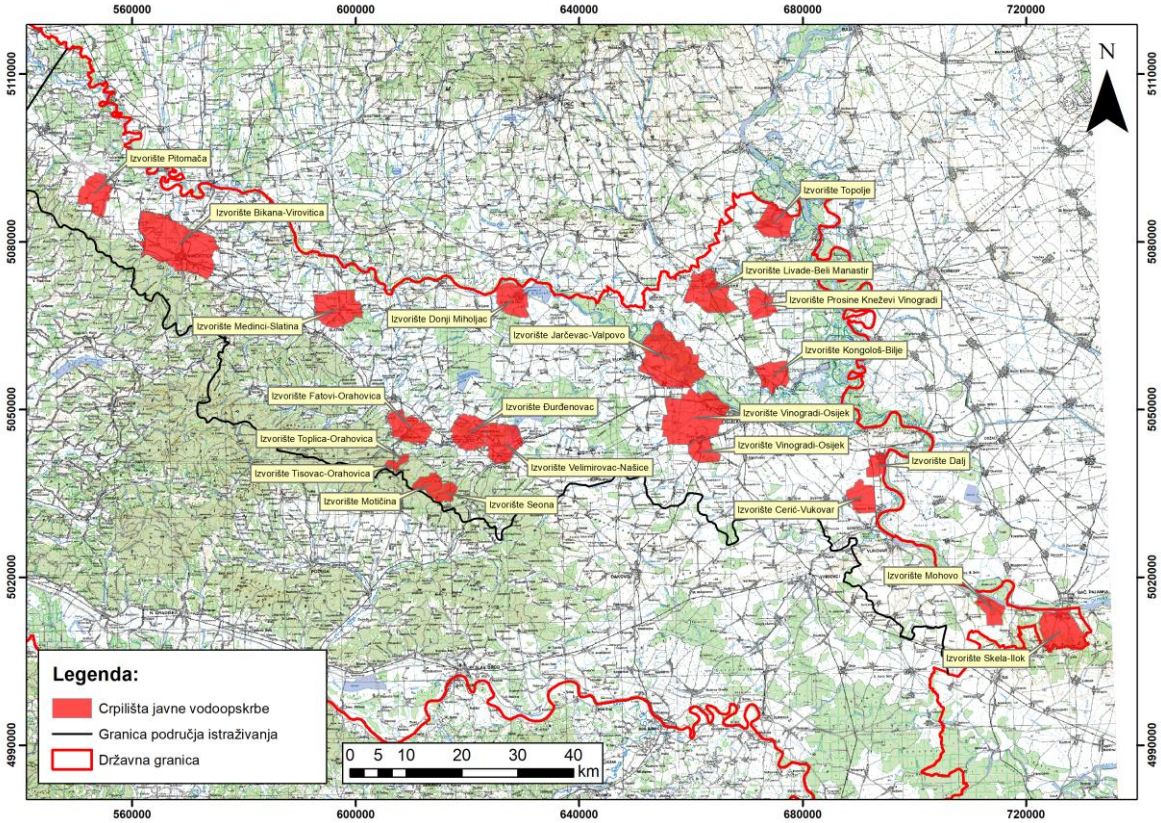
Na crpilištu je izgrađeno ukupno dva zdenaca koji zahvaćaju vodonosnik izgrađen od sitno do srednjezrnog pijeska u dubinskom intervalu 59-80 m. U zdence je ugrađena konstrukcija promjera 300 i 400 mm. Specifična izdašnost zdenca je Q/s = 2-3 l/s/m, a maksimalna eksploatacijska izdašnost zdenca je 20 l/s.

**Crpilište Mohovo** nalazi se uz rub i u inundacijskom području Dunava.

Na crpilištu je izgrađeno ukupno dva zdenaca koji zahvaćaju vodonosnik izgrađen od sitno do srednjezrnog pijeska u dubinskom intervalu 14-26 m. U zdence je ugrađena konstrukcija promjera 400 mm. Specifična izdašnost zdenca je Q/s = 2,1 l/s/m, a maksimalna eksploatacijska izdašnost zdenca je 16 l/s.

**Crpilište Skela - Ilok** nalazi u inundacijskom području Dunava ispod samog grada Iloka.

Na crpilištu je izgrađeno ukupno tri zdenaca koji zahvaćaju vodonosnik izgrađen od sitno do srednjezrnog pijeska u dubinskom intervalu 55-118 m, te jedan zdenac koji zahvaća vodonosnik u dubinskom intervalu 17-37 m. U zdence je ugrađena konstrukcija promjera 400 mm. Specifična izdašnost zdenca je Q/s = 1,3-3 l/s/m, a maksimalna eksploatacijska izdašnost zdenca je 15-20 l/s.




*Slika 5 - 10 Područja izvorišta javne vodoopskrbe*

Na spomenutim crpilištima izvedeni su bušeni zdenci standardnih promjera 300 do 400 mm koji su prilagođeni zahvaćanju dubljih vodonosnih slojeva (Tablica 5-3). Najpliće vodonosne horizonte moguće je zahvaćati izvođenjem kopanih zdenaca uz primjenu većih promjera.

Prema iskustvima u svijetu, posebno na azijskom kontinentu (Indiji i Šri Lanci) zdenci velikih promjera, većih od 5 m, pokazali su se učinkovitima za navodnjavanje poljoprivrednih kultura na područjima s aridnom i semiaridnom klimom (Slika 5-11). U otvorenim vodonosnicima zahvaćali su dubine do 8 m.

*Tablica 5 - 3 Karakteristike zdenaca na crpilištima javne vodoopskrbe istraživanog područja*

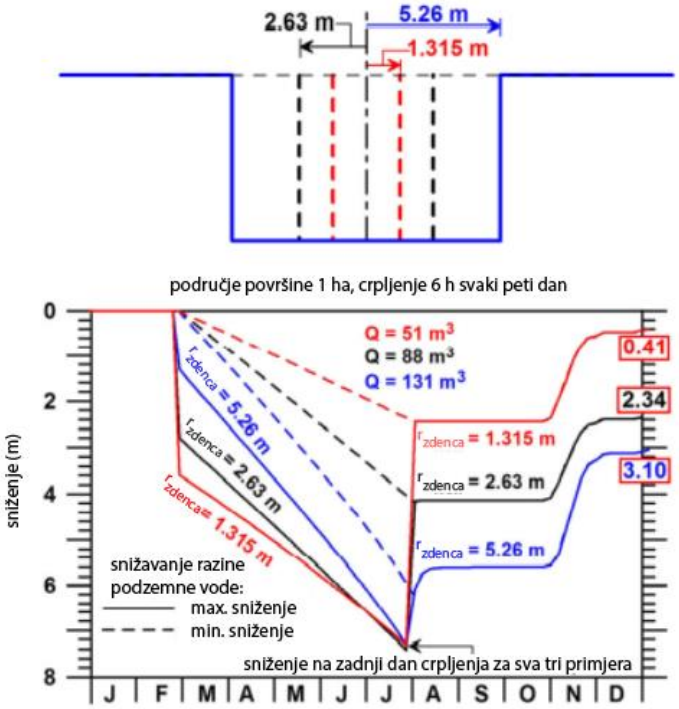
| Crpilište: | Izobata krovine i podine [m] | Broj zdenaca: | značajke zdenaca | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 2r [mm] | Q/s [l/s/m] | meiz[2] [l/s] |
| Pitomača | 10-29<br>35-46<br>58-85 | →1 | 400 | 3,17 | 20 |
| Bikana-Virovitica | 45-82 | →7 | 400 | 27 | 80 |
| Medinci-Slatina | 20-70 | →5 | 350 i 400 | 10,4-18,2 | 56 |
| Donji Miholjac | 40-90 | →3 | 350 i 400 | 10 | 55 |
| Đuđenovac | 29-56 | →3 | 400 | 9,1 | 40 |
| Velimirovac - Našice | 16-45 | →5 | 400 | 7 | 30 |
| Vinogradi - Osijek | 40-176 | →18 | 400 | 7-11 | 40 |
| Jarčevac - Valpovo | 30-120 | →3 | 400 | 7 | 40 |
| Livade - Beli Manastir | 20-34 | →6 | 400 | 2,11 | 15 |
| Konkološ - Bilje | 23-57 | →4 | 400 | 11-13 | 40 |
| Prosine - Kneževi Vinograd | 38-46 | →3 | 400 | 1,65 | 11 |
| Topolje | 20-46 | →2 | 400 | 9 | 50 |
| Cerić - Vukovar | 36-102 | →7 | 300 i 400 | 6 | 40 |
| Dalj | 59-80 | →2 | 300 i 400 | 2-3 | 20 |
| Mohovo | 14-26 | →2 | 400 | 2,1 | 16 |
| Skela - Ilok | 17-37<br>55-118 | →3 | 400 | 1,3-3 | 15-20 |

Istraživanja Rushtona i de Silve (2017) bavila su se problemom smanjenja izdašnosti zdenaca u otvorenim plitkim vodonosnicima pred kraj sušnih razdoblja, odnosno pred kraj

[2] Odnosi se na maksimalnu eksploatacijsku izdašnost zdenca

sezone navodnjavanja poljoprivrednih kultura. U svojem su radu iznijeli nekoliko čimbenika i preporuka koje je bitno razmatrati kako bi se smanjio rizik od presušivanja ovakvih zdenaca:

1. Približna procjena rezervi vode u vodonosniku na početku sušne sezone ključna je za planiranje budućeg navodnjavanja budući da sušni dijelovi godine imaju za posljedicu nepotpuno prihranjivanje vodonosnika
2. Za dugoročnu i održivu izdašnost zdenca važna je analiza formiranja procjednog lica na stranama zdenca tijekom crpljenja budući da ono ograničava koliki se volumen uskladištene podzemne vode može crpiti.
3. U područjima s aridnom i semiaridnom klimom veličina poljoprivredne površine ne bi trebala biti veća od polovice površine na kojoj se nalazi zdenac.
4. Zdenac s promjerom manjim od 3 m ima prednosti i nedostatke. Prednost je što su preostala sniženja nakon crpljenja mala, međutim nedostatak je što se mogu crpiti samo male količine uskladištene vode. Stoga se predlaže korištenje zdenaca s promjerom od 5 m.
5. Preporuča se ugradnja jednog zdenca/ha na razmaku od 100 m od susjednog zdenca.
6. U prvoj fazi crpljenja svake godine, sniženje vode u zdencu ne smije biti veće od 30 do 35% od ukupne visine stupca vode u zdencu.
7. U slučaju ograničenih količina uskladištene vode, predlaže se uzgajanje alternativnih kultura s kraćim vegetacijskim razdobljem.



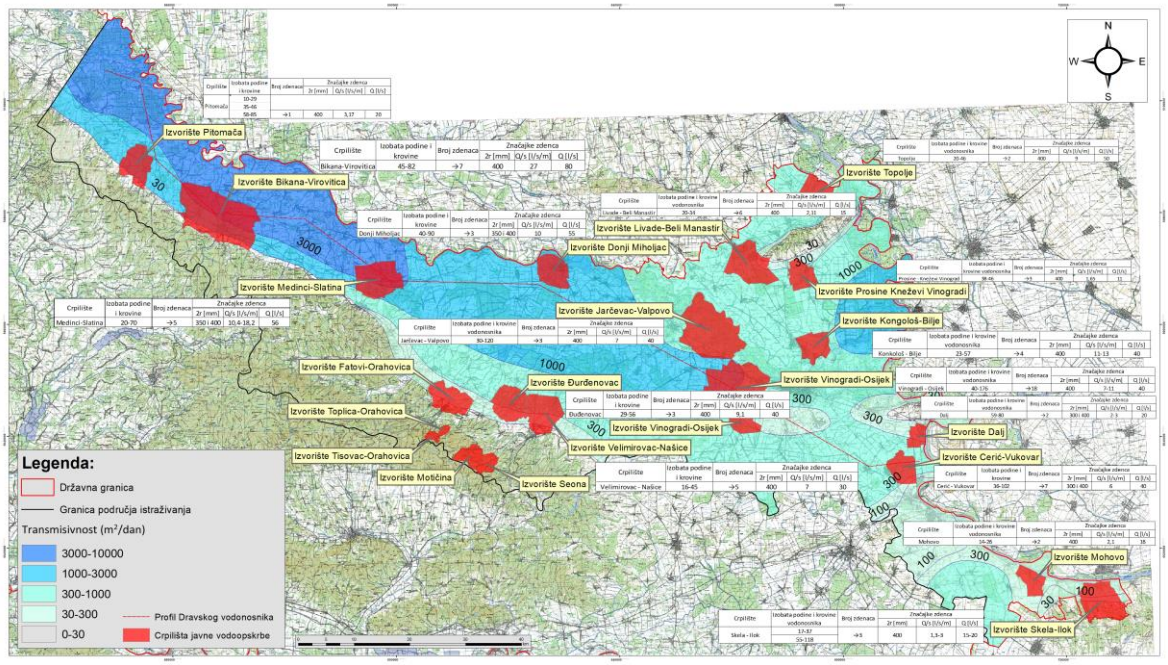

| radijus (m) | područje zdenca ($m^2$) | crpljenje ($m^3$ u danu) | iscrpljeno | visina procjednog lica (m) |
|---|---|---|---|---|
| 1.32 | 5.4 | 51 | 30% | 3.0 |
| 2.63 | 21.7 | 88 | 52% | 2.3 |
| 5.26 | 86.9 | 131 | 77% | 1.4 |

*Slika 5 - 11 Utjecaj radijusa zdenca na odabir crpnih količina uz uvjet postizanja jednakog sniženja na zadnji dan crpljenja (Rushton i de Silva, 2017; uređena u programu Adobe Illustrator)*

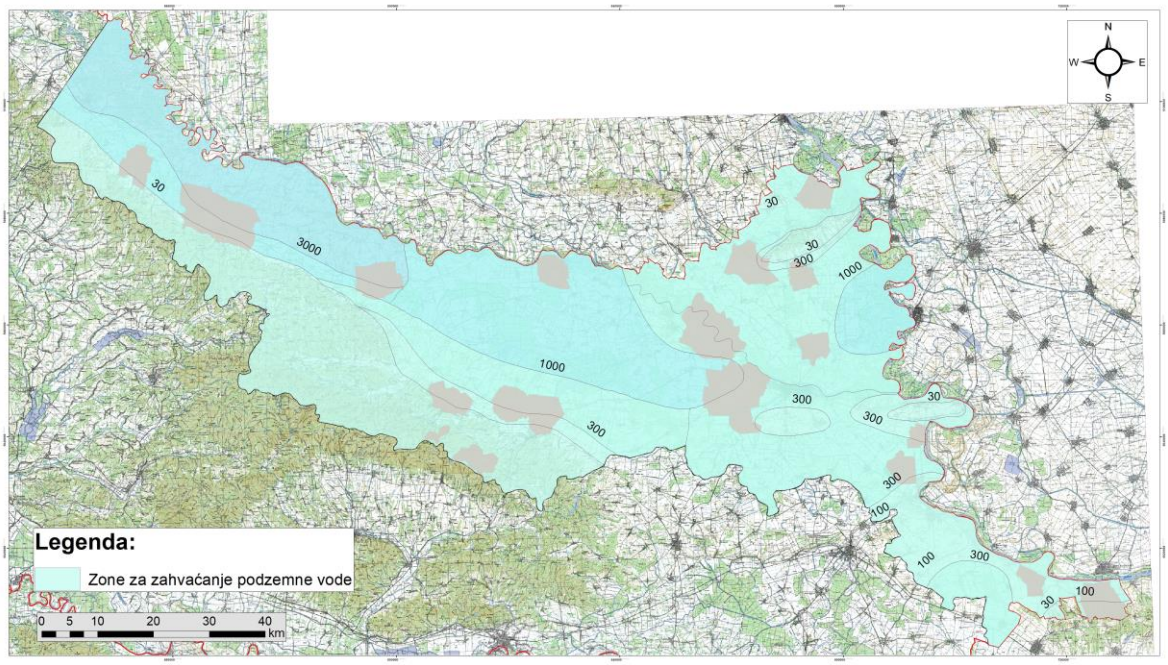
### 5.3.5. Kriteriji izrade Zemljovida perspektivnosti područja za zahvat podzemne vode

Definiranje zona s preporučenom dubinom zahvata vodonosnika i mogućoj izdašnosti zdenaca postignuto je pomoću Zemljovida izolinija transmisivnosti te pomoću profila Dravskog vodonosnika (Slika 5-12).

Prvi kriterij definiranja granica perspektivnih zona za zahvat podzemne vode bio je korištenje već utvrđenih zona različitih transmisivnosti (Prilog 3). Ukoliko se neki drugi parametar pokazao relevantnijim u definiranju granice zone, ona bi bila izmijenjena. Primjer takvog slučaja je područje u kojem se transmisivnosti kreću od 300 do 1000 $m^2$/dan (Prilog 3). Naime, jasno je da se na ovako velikoj površini ne mogu jednoznačno odrediti i preporučiti dubine zahvaćanja vodonosnika i crpne količine. Uzrok tome je lokalno izražena heterogenost podzemlja pa tako i vodonosnika. Stoga je promatrano područje podijeljeno na manje zone na temelju sljedećih promatranih kriterija - dubine na kojima se nalazi vodonosnik i poznatih izdašnosti zdenaca. Dubine su utvrđene pomoću profila (Prilog 2) na kojem se također mogu vidjeti promjene debljina vodonosnika i pomoću podataka o dubini krovine i podine vodonosnika registriranih na crpilištima. Na profilu su vidljivi plitki vodonosnici ukupnih debljina do oko 30 m, stoga je kod definiranja zona također preporučeno uzeti ih u obzir. Za preporuke o mogućim izdašnostima zdenaca promatrane su izdašnosti postojećih zdenaca na crpilištima. Bitno je napomenuti da se u ovom radu govori o <u>preporučenim</u> dubinama zahvaćanja vodonosnika i <u>mogućim</u> izdašnostima zdenaca, što znači da su njihove vrijednosti okvirno određene (imajući na umu heterogenost vodonosnika). Konačno definiranje granica zona prikazano je na Slici 5-13.




*Slika 5 - 12 Definiranje granica perspektivnih zona za zahvat podzemne vode*




*Slika 5 - 13 Definirane granice perspektivnih zona za zahvaćanje podzemne vode*

# 6. REZULTATI − PERSPEKTIVNOST PODRUČJA ZA ZAHVAT PODZMENE VODE

Obradom podataka o tipu i dubini zalijeganja vodonosnika, hidrogeološkim parametrima vodonosnika, izdašnosti pojedinih zdenaca i analogno tome vodonosnika u području donjeg toka Drave i Dunava dobiven je Zemljovid perspektivnosti područja za zahvat podzemne vode (Prilog 5). Područje na zemljovidu podijeljeno je na 9 zona:

**Prva zona (I)** nalazi se unutar područja srednje Podravine gdje nalazimo vodonosnik najveće izdašnosti u kojem se mogu očekivati vrijednosti hidrauličke vodljivosti od 15-150 m/dan, zaliježe na dubini 40-90 m uz moguću izdašnost pojedinog zdenca do 80 l/s. Vodonosnik je izgrađen od pijeska i šljunka.

**Druga zona (II)** zauzima područje srednje i donje Podravine, te inundacijsko područje Dunava u Baranji. Podijeljena je u dvije podzone:

Prva (II/1) proteže se uz rubne predjele prve zone do područja isklinjavanja vodonosnika. Završava istočno od crpilišta Medinci. Vrijednosti hidrauličke vodljivosti se kreću od 10-50 m/dan. Vodonosnik zaliježe na dubini 30-80 m uz moguću izdašnost pojedinog zdenca od 10 do 30 l/s.

Druga zona (II/2) pokriva najveće područje Dravskog vodonosnika. U njoj se mogu očekivati vrijednosti hidrauličke vodljivosti od 10-50 m/dan. Vodonosnik zaliježe na dubini 30-150 m uz moguću izdašnost pojedinog zdenca od 10 do 40 l/s. U sjevernom dijelu ove zone vodonosnik je izdašniji, dok u južnom dijelu lokalna izdašnost vodonosnika može biti nešto manja. Nije moguće utvrditi točnu granicu ovih područja s obzirom na relativno mali broj podataka.

**Treću zonu (III)** čine tri podzone:

Prva (III/1) pokriva dio najzapadnijeg područja srednje Podravine i Baranju, a prema jugu se rasprostire gotovo do granice đakovačkog-vinkovačkog ravnjaka.

Druga (III/2) zona pokriva rubne predjele prema srednje-slavonskom gorju.

Treća (III/3) pokriva dio đakovačko-vinkovačkog i vukovarskog ravnjaka.

U III se zoni mogu očekivati vrijednosti hidrauličke vodljivosti od 10-50 m/dan. Osnovna razlika u podzonama je dubina zahvaćanja podzemne vode. U prvoj od njih

preporučena dubina zahvata je od 15 do 50 m s izdašnosti pojedinog zdenca od 5 do 15 l/s, u drugoj je ista dubina zahvata, ali s izdašnosti pojedinog zdenca do 30 l/s, a u trećoj bi potrebna dubina zahvata bila 50-150 m, uz maksimalnu moguću izdašnost pojedinog zdenca do 30 l/s.

**Četvrta zona (IV)** nalazi se u rubnim predjelima, u vodonosnicima koji su nastali donošenjem šljunčanih materijala rječicama s Papuka i Krndije između Orahovice i Našica. Također se proteže u području vukovarsko-srijemskog ravnjaka te u istočnim predjelima Baranje (Erduta). Preporučena dubina zahvata u ovoj zoni je raznolika od 25-100 m s izdašnosti pojedinog zdenca do 20 l/s.

Unutar I, II/1 i III/3 zone javljaju se plitki vodonosnici na dubinama od 10-15 m (I zona), 10-30 m (II/1 zona) i 10-25 m (III/3) zona.

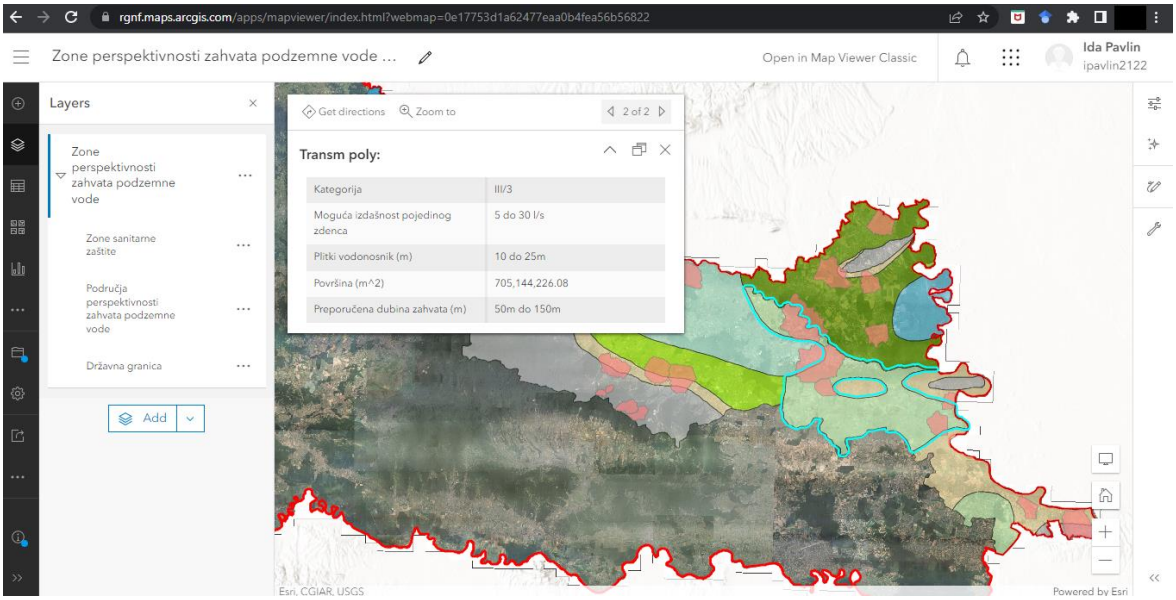
**U petoj zoni (V)** izostaju markantne vodonosne naslage. Mjestimice mogu očekivati područja u kojima je moguć zahvat podzemne vode, no to su lokalno izdvojena područja za koja je potrebno provesti dodatna hidrogeološka istraživanja.

Posebnu zonu čini **šesta (VI)** zona koja predstavlja vodozaštitna područja na kojima se nalazi 16 crpilišta javne vodoopskrbe. To su zdenački zahvati podzemnih voda: Pitomača, Bikana-Virovitica, Medinci-Slatina, Donji Miholjac, Fatovi-Orahovica, Đurđenovac, Velimirovac-Našice, Vinogradi-Osijek, Jarčevac-Valpovo, Livade-Beli Manastir, Konkološ-Bilje, Prosine-Kneževi Vinogradi, Topolje, Dalj, Cerić-Vukovar, Mohovo i Skela-Ilok. U brdskim dijelovima nalaze se izvorišta Sobunar-Voćin, Tisovac i Toplica u Orahovici, Gornja Motičina i Seona. Sve su definirane kao zone sanitarne zaštite izvorišta stoga je unutar ovih zona zahvaćanje podzemne vode ograničeno (Fond stručne dokumentacije RGN-a). Iznimno, uz ispunjavanje uvjeta propisanih Pravilnikom o zonama sanitarne zaštite izvorišta (NN 66/11 i 47/13), unutar ovih zona moguće je provođenje određenih zahvata.

## 6.1. WEBGIS

WEBGIS je napredni oblik geografskog informacijskog sustava (GIS) dostupan na web-platformi. Razmjena informacija odvija se između poslužitelja i korisnika, pri čemu je poslužitelj GIS, a korisnik je svaka osoba koja se pomoću jedinstvene web-adrese (tzv. URL) može povezati na web-platformu. Platformi se može pristupiti preko web-preglednika, mobilne ili računalne aplikacije. WEBGIS omogućuje integraciju GIS-a s drugim poslovnim sustavima i nudi organizacijama pravilno upravljanje svojim geografskim podatcima. Budući da ovu aplikaciju mogu koristiti svi u organizaciji kao i šira javnost, što je velika prednost u odnosu na računalni GIS, primjena joj je velika: mapiranje uličnih cesta, lociranje mjesta za označavanje osobnih fotografija, traženje prijatelja i prikazivanje Wi-Fi žarišnih točaka samo su neki od primjera (VizExperts, n.d.).

*ArcGIS Online* softver (sastavna komponenta WEBGIS platforme) korišten je za plasiranje Zemljovida perspektivnosti područja za zahvat podzemne vode. Online verziji zemljovida može se pristupiti putem linka: https://rgnf.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?webmap=0e17753d1a62477eaa0b4fea56b56822. Odabirom željenog područja na karti otvara se dijaloški okvir koji nudi podatke o potrebnoj dubini bušenja (m), mogućoj izdašnosti pojedinog zdenca (l/s), te mogućnosti zahvaćanja plitkog vodonosnog sloja (m) (Slika 6-1). Također, u ovom je projektu postavljena katastarska podloga koja korisnicima daje uvid u kojoj se zoni nalazi njihov posjed (katastarske čestice moguće je vidjeti pri velikom uvećanju karte).




*Slika 6 - 1 Zone perspektivnosti za zahvat podzemne vode objavljene na* WEBGIS *platformi*

# 7. ZAKLJUČAK

Analizom svih podataka i kreiranih podloga istraživano područje pokazuje veliki vodni potencijal i perspektivu za korištenje podzemnih voda. U tom smislu najvažniji i najproduktivniji su vodonosnici građeni od vrlo propusnih šljunkovito-pjeskovitih kvartarnih naslaga koji se dominantno nalaze u zapadnom dijelu istraživanog područja, te od propusnih pjeskovitih naslaga u istočnom dijelu Dravskog vodonosnika. Prostornom analizom 13 litoloških jedinica različitih transmisivnosti utvrđeno je da najveću površinu od 65,7 % zauzimaju plitke kvartarne naslage s vodonosnicima ukupne debljine do 30 m, vrlo dobre, dobre i srednje transmisivnosti. Uz njih, kvartarne naslage s vodonosnicima ukupne debljine do 200 m, različitog raspona transmisivnosti, zauzimaju 25,5 %. Ostatak od 8,8 % čine litološke jedinice slabih transmisivnosti, praktički bez vodonosnika, a nalaze se na obroncima Papuka i Krndije, manjeg značaja za regionalnu vodoopskrbu.

Analizom profila Dravskog vodonosnika te na temelju objedinjenih podataka iz brojne literature zaključuje se da od zapada prema istoku šljunci facijalno prelaze u pijeske, raste broj i debljina prašinasto-glinovitih proslojaka koji uvjetuju formiranje plitkih vodonosnih slojeva malih debljina, potencijalno značajnih za navodnjavanje manjih poljoprivrednih površina. Iako generalno gledajući navedene promjene dovode do smanjenja hidrauličke vodljivosti i redukcije debljina vodonosnih slojeva, što za posljedicu ima smanjivanje transmisivnosti i izdašnosti zdenaca od zapada prema istoku, vodonosnici su i dalje perspektivni za zahvaćanje podzemne vode i korištenje za navodnjavanje.

Prema Zemljovidu perspektivnosti zahvata podzemne vode najveće izdašnosti zdenaca, do 80 l/s, mogu se očekivati u srednjoj Podravini, dok u njezinom južnijem dijelu se smanjuju na 30 l/s. U donjoj Podravini očekuju se izdašnosti do 40 l/s, a na području đakovačkog prapornog ravnjaka do 30 l/s. Južno od Osijeka, izdašnost se lokalno smanjuje na mogućih 20 l/s, kao i na području Bijelog brda, a budući da je Erdutsko brdo uglavnom bezvodno nema zabilježenih izdašnosti. Na području vukovarskog prapornog ravnjaka očekuju se izdašnosti do 20 l/s, a u njegovom južnijem dijelu i do 30 l/s. U Baranji, očekivane vrijednosti izdašnosti zdenaca iznose do 15 l/s, na manjem području u sjevernom dijelu Baranje izostaju vodonosne naslage. U njezinom istočnom dijelu izdašnost je do 30 l/s. Budući da markantni vodonosnici izostaju u južnom dijelu središnje Podravine za njih nisu dane preporuke o zahvatima. Prema izloženom, ravničarski vodonosnici od većeg su značaja za regionalnu vodoopskrbu od prigorskih vodonosnika. Nadalje, na određenim mjestima

moguće je zahvaćanje plitkih vodonosnih slojeva na dubinama od 10 do 15 m, 10 do 30 m i 10 do 25 m. Ipak, za njih nisu prikazane moguće izdašnosti jer stvarna izdašnost vodonosnika ovisi o hidrološkim prilikama, odnosno u izrazito sušnim razdobljima oni su odvodnjeni i relativno suhi. Stoga je njihovo iskorištavanje za vodoopskrbu mjestimice upitno i nepouzdano.

Istraživanja su pokazala da na prihranjivanje dubljih dijelova Dravskog vodonosnika i na snižavanje RPV utječe smanjenje godišnje količine oborina uzrokovano klimatskim promjenama i višegodišnje snižavanje vodostaja rijeke Drave uzrokovano izgradnjom hidrotehničkih objekata. Dodatno, debljina polupropusnog pokrivača raste od zapada prema istoku, s oko 5 m na nekoliko desetaka metara, pa uz česte pojave suša ona dodatno otežava uvjete prihranjivanja podzemnih voda. Imajući na umu da je područje donjeg toka Drave i Dunava bogato plodnim tlima, uz preporuke o kontroliranoj i održivoj eksploataciji podzemnih voda, može se očekivati razvoj hrvatske poljoprivrede, a samim time i ekonomije.

Kao rezultat svih analiza kreiran je Zemljovid perspektivnosti zahvata podzemne vode dostupan svakom korisniku putem URL adrese: https://rgnf.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?webmap=0e17753d1a62477eaa0b4fea56b56822. Preporučene dubine zahvata podzemne vode i moguće izdašnosti zdenaca prilagođene su mjerilu istraživanja i nemaju apsolutnu pouzdanost zbog izražene heterogenosti vodonosnika, ali korisniku mogu ukazati na mogućnost zahvaćanja podzemne vode za potrebe navodnjavanja. Za određivanje preciznijih vrijednosti podataka potrebno je napraviti hidrogeološku interpretaciju s dokazom izdašnosti i mogućnosti korištenja podzemne vode.

# 8. POPIS LITERATURE

A) Objavljeni radovi

Bašić, F. (2014): Regionalisation of Croatian agriculture in common agricultural policy of the EU. Civitas Crisiensis: radovi Zavoda za znanstvenoistraživački i umjetnički rad Koprivničko-križevačke županije u Križevcima, 1(1), 143–176.

Bašić, F., Bogunović, M., Božić, M., Husnjak, S., Jurić, I., Kisić, I., Mesić, M., Mirošević, N., Romić, D., Žugec, I. (2007): Regionalisation of Croatian agriculture. Agriculturae Conspectus Scientificus, 72(1), 27–38.

Beltrão, J., Antunes da Silva, Asher, J.B. (1996): Modeling the effect of capillary water rise in corn yield in Portugal. Irrigation and drainage systems, 10:179-186.

Biondić, D. (2009): Strategija upravljanja vodama. Hrvatske vode, Zagreb.

Brkić, Ž., Briški, M. (2018): Hydrogeology of the western part of the Drava Basin in Croatia. Journal of Maps, 14(2), 173–177.

Brkić, Ž., Larva, O., Urumović, K. (2010): The quantitative status of groundwater in alluvial aquifers in norther Croatia. Geol Croat., 63/3, 283–298.

De Santa Olalla Mañas, F. M., Brasa Ramos, A., Fabeiro Cortés, C., Fernández González, D., López Córcoles, H. (1999): Improvement of irrigation management towards the sustainable use of groundwater in Castilla-La Mancha, Spain. Agricultural Water Management, 40(2), 195–205. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0378-3774(98)00121-8

De Wrachien, D., Schultz, B., Goli, M. B. (2021): Impacts of population growth and climate change on food production and irrigation and drainage needs: A world-wide view. Irrigation and Drainage, 70(5), 981–995.

Duić, Ž., Briški, M. (2010): Učinak geoloških struktura na hidrogeološke značajke kvartarnih naslaga u Baranji. Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 22/1, 1-9.

Foster, S., Shah, T. (2012): Groundwater resources and irrigated agriculture: Making a beneficial relation more sustainable. GWP Perspectives Paper, Global Water Partnership, Stockholm.

Hrvatski geološki institut (2009): Geološka karta Republike Hrvatske M 1:300.000.– Hrvatski geološki institut, Zavod za goelogiju, Zagreb.

Husnjak, S., Bensa, A. (2018): Pogodnost poljoprivrednog zemljišta za navodnjavanje u agroregijama Hrvatske. Hrvatske vode, 26(105), 157–180.

Husnjak, S., Romić, M., Poljak, M., Pernar, N. (2011): Recommendations for soil management in Croatia. Agriculturae Conspectus Scientificus, 76(1), 1–8.

Josipović, M., Kovačević, V., Rastija, D., Tadić, L., Šoštarić, J., Plavšić, H., Tadić, Z., Dugalić, K., Marković, M., Dadić, T. (2013): Priručnik za navodnjavanje za polaznike

edukacije IRRI projekta—Uvod u sustave za navodnjavanje i osnove navodnjavanja. Osijek: Poljoprivredni institut Osijek.

Kolkovsky, S., Hulata, G., Simon, Y., Segev, R., Koren, A. (2003): Integration of agri-aquaculture systems—The Israeli experience. Simon Hearn, 14.

Kramer, D. (2016): Israel: A water innovator. Physics Today, 69(6), 24–26.

Mađar, S., Šoštarić, J., Tomić, F., Marušić, J. (1998): Neke klimatske promjene i njihov utjecaj na poljoprivredu Istočne Hrvatske. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb. Znanstveni skup s međunarodnim sudjelovanjem: Prilagodba poljoprivrede i šumarstva klimi i njenim promjenama, 127–135.

Malvić, T. (2008): Kriging geostatistička interpolacijska metoda. Hrvatsko geološko društvo, Zagreb, 103pp.

Malvić, T., Cvetković, M. (2013): Korelacija litostratigrafskih jedinica u Dravskoj depresiji (hrvatski i mađarski dio). Hrvatski nacionalni komitet svjetskog vijeća za naftu i plin, HAZU-Znanstveno vijeće za naftu, Zagreb, 34-37 str.

Megersa, G., Abdulahi, J. (2015): Irrigation system in Israel: A review. International Journal of Water Resources and Environmental Engineering, 7(3), 29–37.

Mihalić, V., Butorac, A., Gotlin, J., Čižek, J. (1981): Agroekološki potencijali primarne biljne proizvodnje u SRH. Agronomski glasnik: Glasilo Hrvatskog agronomskog društva, 43(3), 265–301.

Miletić, P. (1969): Hidrogeološke karakteristike sjeverne Hrvatske. Geol. vjesn., 22, 511-524, Zagreb.

Miletić, P., Urumović, K. & Capar, A. (1971): Hidrogeologija prvog vodonosnog horizonta porječja Drave na području Hrvatske. Geol. vjesnik, 24, 149 – 154.

Nakić, Z., Bačani, A., Parlov, J., Duić, Ž., Perković, D., Kovač, Z., Tumara, d., Mijatović, I., Špoljarić, D., Ugrina, I., Stanek, D., Slavinić, P. (2016): Definiranje trendova i ocjena stanja podzemnih voda na području panonskog dijela Hrvatske. Studija. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, RGN fakultet, OP 2015/ 24.

Nikolaou, G., Neocleous, D., Christou, A., Kitta, E., Katsoulas, N. (2020): Implementing sustainable irrigation in water-scarce regions under the impact of climate change. Agronomy, 10(8), 1120.

Ondrašek, G. (2018): Stanje i potencijali vodnih resursa u proizvodnji hrane. U: Ondrašek, G., (ur.) Vodni resursi R. Hrvatske u funkciji proizvodnje hrane - Zbornik radova. Zagreb, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, str. 2-3.

Pejdo, A., Šiljković, Ž. (2007): Mogućnosti navodnjavanja podzemnim vodama u Hrvatskoj. Geoadria, 12(2), 111–129.

Romić D. i dr. (2005): Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u Republici Hrvatskoj (NAPNAV). Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet.

Rushton, K. R., de Silva, C. S. (2017): Abstraction strategies for irrigation from large diameter wells. Water Resources Management, 31(7), 2257–2270.

Siebert, S., Burke, J., Faures, JM., Frenken, K., Hoogeveen, J., Doell, P., Portman, FT. (2010): Groundwater use for irrigation–a global inventory. Hydrology & Earth System Science, 14/10: 1863-1880.

Šimunić I., Spalević V., Vukelić-Shutoska M., Šoštarić J., Marković M. (2014): Utjecaj nedostatka vode u tlu na prinose poljoprivrednih kultura. Hrvatske vode. 22, 203- 212.

Šimunić, I., Husnjak, S., Tomić, F. (2007): Influence of drought on reduction of yields of agricultural crops. Agronomski glasnik: Glasilo Hrvatskog agronomskog društva, 69(5), 343–354.

Šimunić, I., Senta, A., Tomić, F. (2006): Potreba i mogućnost navodnjavanja poljoprivrednih kultura u sjevernom dijelu Republike Hrvatske. Agronomski glasnik 1 ,13-31.

Tomić, F. (2014): State and measures for improving Croatian agriculture in the context of EU accession. Civitas Crisiensis: radovi Zavoda za znanstvenoistraživački i umjetnički rad Koprivničko-Križevačke Županije u Križevcima, 1(1), 129–142.

Urumović, K., Duić, Ž., Prelogović, E. (2003): Hidrogeološki uvjeti oblikovanja Kopačkog rita. Hrvatske vode u 21. stoljeću, Zbornik radova, Gereš, Dragutin (ur.), 131-141, Osijek.

Urumović, K., Hernitz, Z., Šimon, J. (1978): O kvartarnim naslagama istočne Posavine (SR Hrvatska). Geol. vjesnik, 30/1, 297-304, Zagreb.

Urumović, K., Hernitz, Z., Šimon, J., Velić, J. (1976): O propusnom mediju kvartarnih, te gornjo i srednjo-pliocenskih naslaga sjeverne Hrvatske. IV jug.simp.i hidrogeol. i inž.geol., 2, 395-410, Skopje.

Urumović, K., Miletić, P. (1973): Hidrogeološke značajke područja Donjeg Miholjca. Geol. vjesnik, 26, 257-263, Zagreb.

Velić, I., Vlahović, I. (ur.) (2009): Tumač geološke karte Republike Hrvatske 1:300.000. – Zagreb: Hrvatski geološki institut.

Velić, J. (2007) : Geologija ležišta nafte i plina, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 59-65, 176, 193, 208, 59-65 str.

B) Neobjavljeni radovi

Duić, Ž., Hlevnjak, B (2013): Studija mogućnosti s procjenom izdašnosti podzemnih vodonosnika na vodnom području donje Drave i Dunava (Studija) – Fond stručne dokumentacije RGN fakulteta. Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo, Zagreb.

C) Web izvori

American Graphics Institute, 2022. URL: https://www.agitraining.com/adobe/illustrator/classes/what-is-adobe-illustrator (20.9.2022.)

Esri, ArcGIS Desktop, 2022. URL: https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/map/main/what-is-arcmap-.htm (20.9.2022.)

Corporate Finance Institute, 2022. URL: https://corporatefinanceinstitute.com/resources/excel/study/excel-definition-overview/ (20.9.2022.)

DHMZ, godišnja količina oborina (2014.-2021.), 2022. URL: https://meteo.hr/klima.php?section=klima_podaci&param=k2_1&Godina=2021 (1.8.2022.)

Duke University Libraries, 2022. URL: https://guides.library.duke.edu/c.php?g=289313&p=1929408 (20.9.2022.)

RH Meteo, 2022. URL: http://rhmeteo.weebly.com/klima-u-hrvatskoj.html (1.8.2022.)

Struna, 2022. URL: http://struna.ihjj.hr/naziv/navodnjavanje/10455/ (24.7.2022.)

Surfer Help, 2022. URL: https://surferhelp.goldensoftware.com/surfer/introduction_to_surfer.htm (20.9.2022.)

VizExperts, 2022. URL: https://vizexperts.com/webgis/ (21.9.2022.)

WEBGIS (ArcGIS Online), 2022. URL: https://rgnf.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?webmap=0e17753d1a62477eaa0b4fea56b56822 (29.12.2022.)

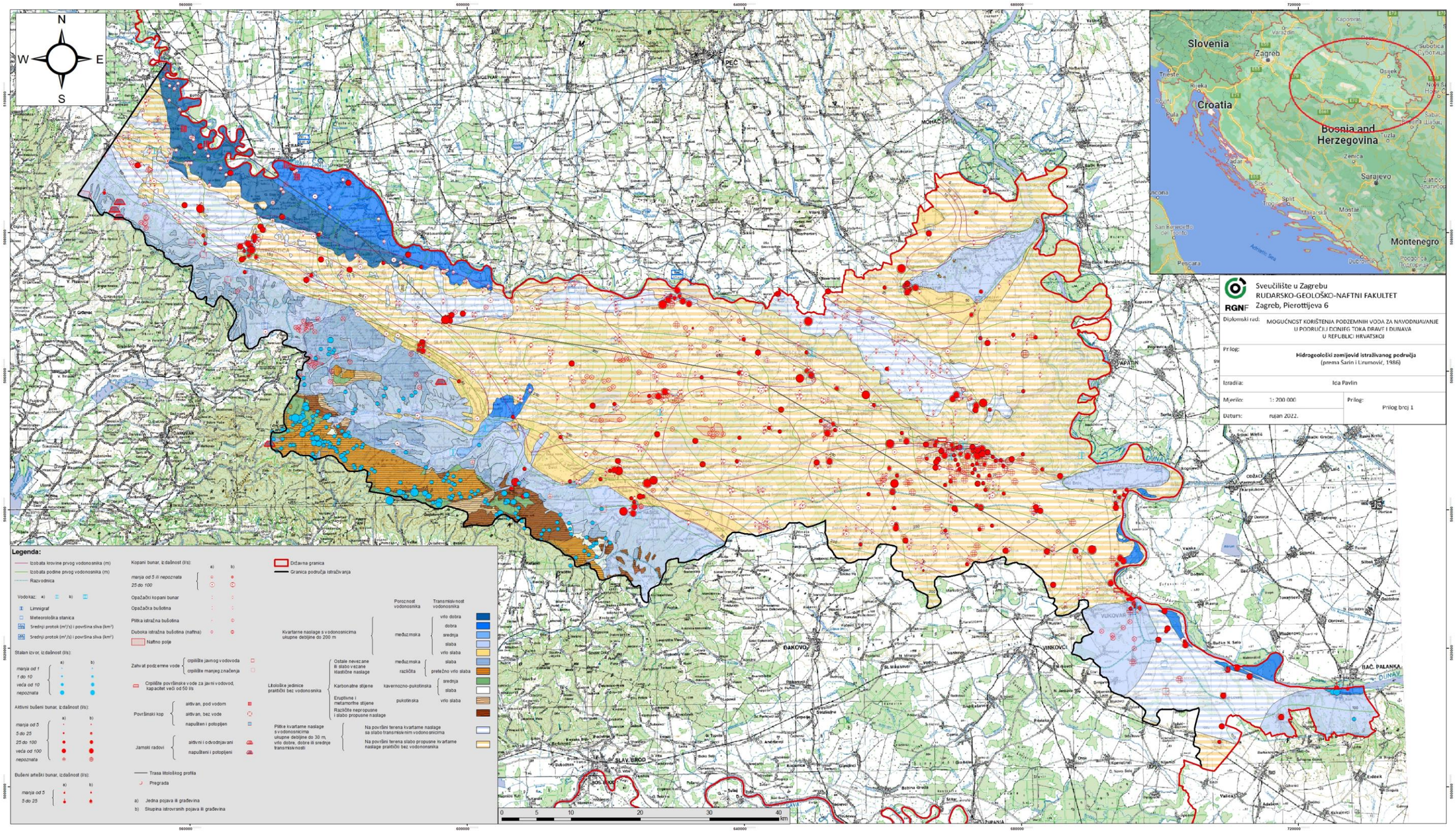
d) Pravilnici

NARODNE NOVINE br. 66/11 Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta. Zagreb: Narodne novine d.d.

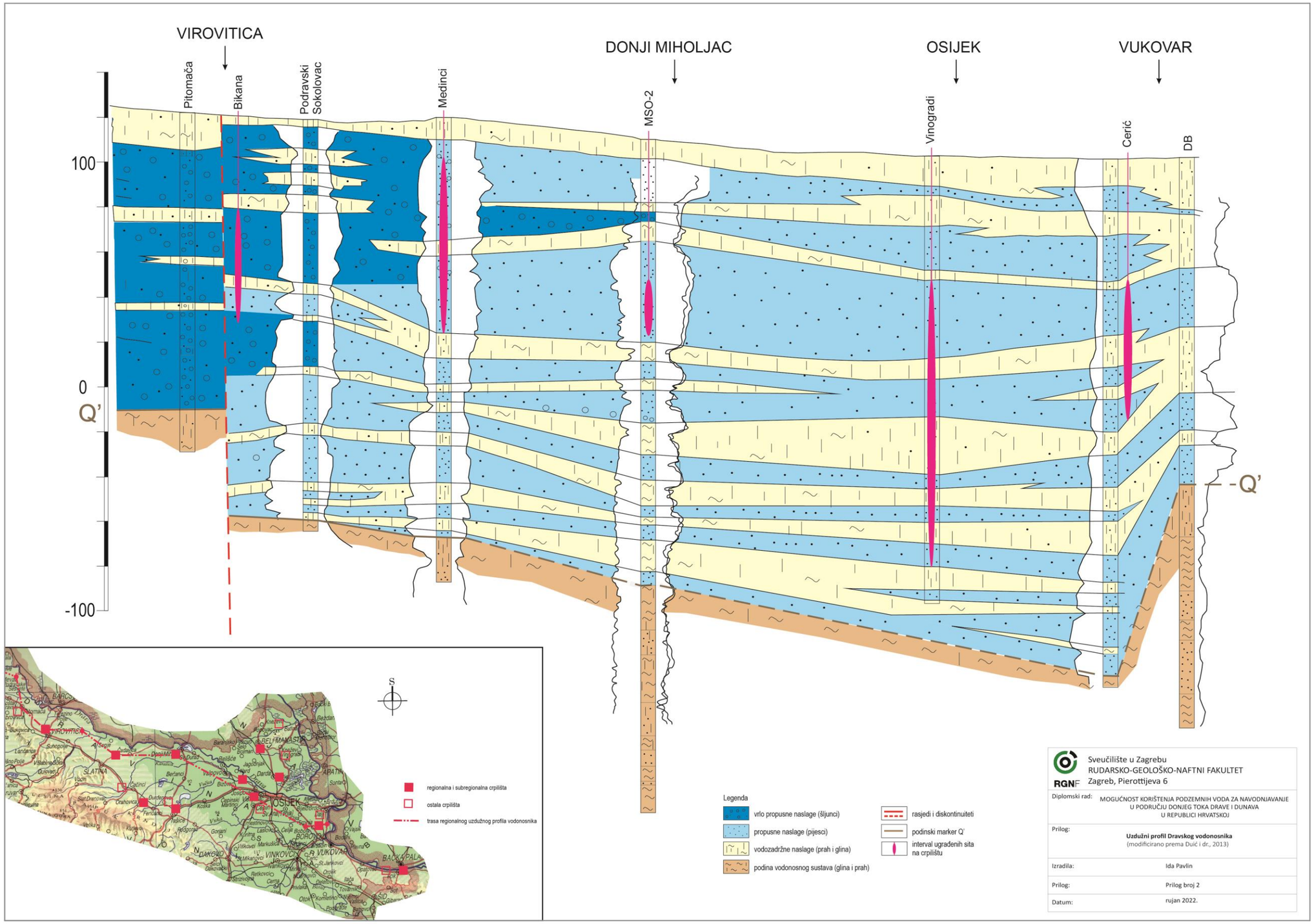
NARODNE NOVINE br. 47/13 Pravilnik o izmjenama Pravilnika o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta. Zagreb: Narodne novine d.d.

# PRILOZI

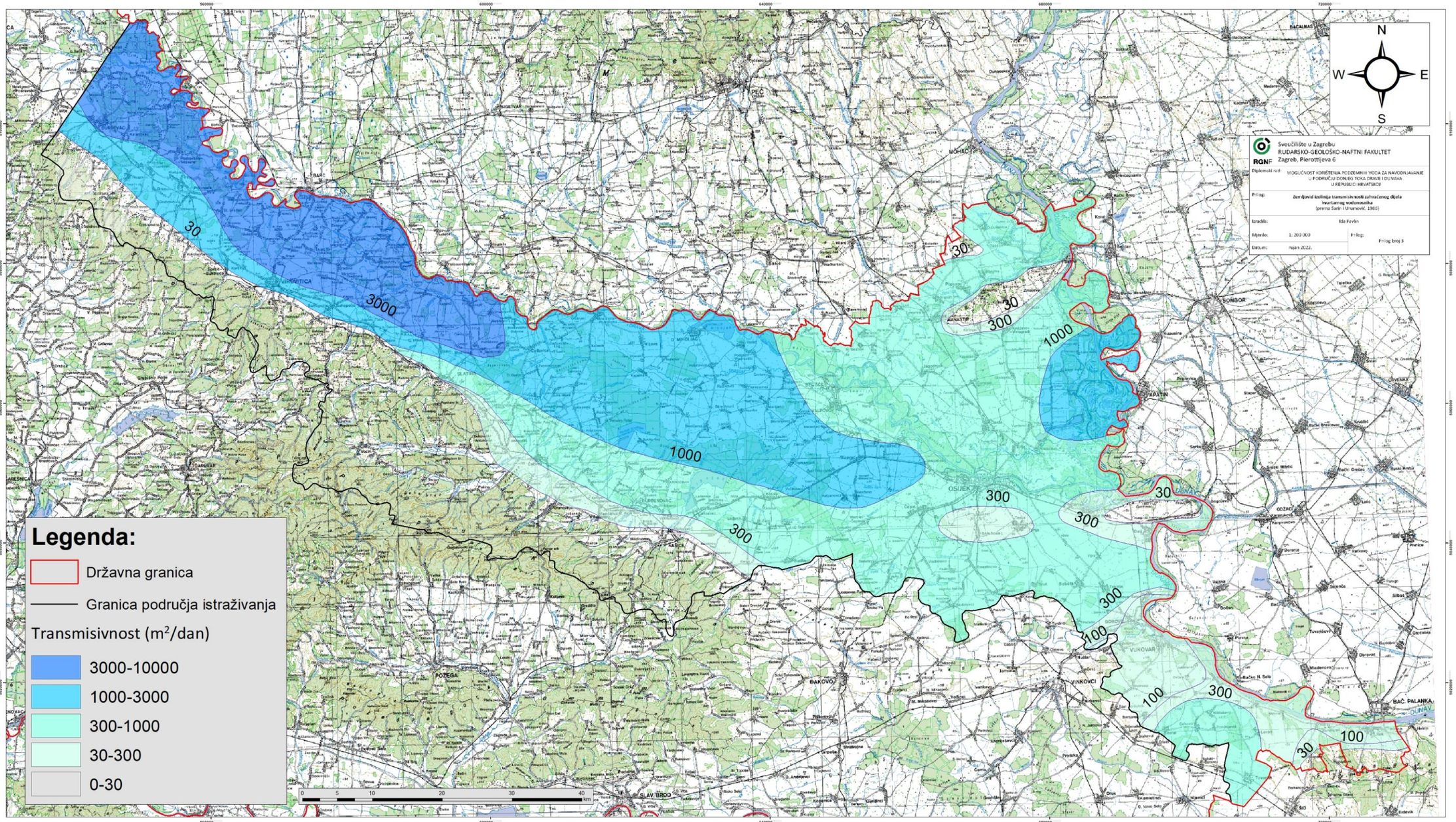
*Prilog 1 Hidrogeološki zemljovid istraživanog područja, M 1:200 000*



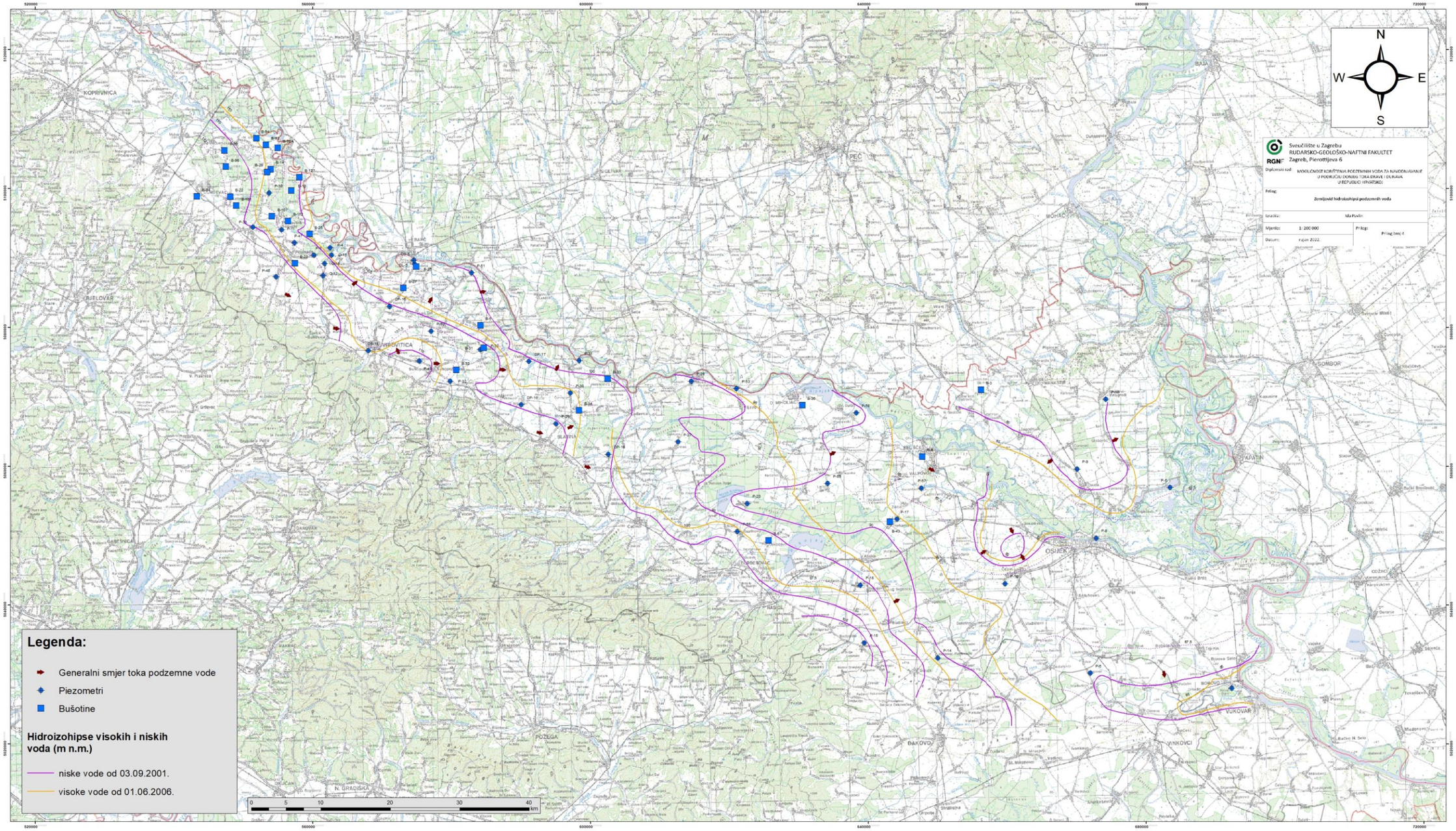
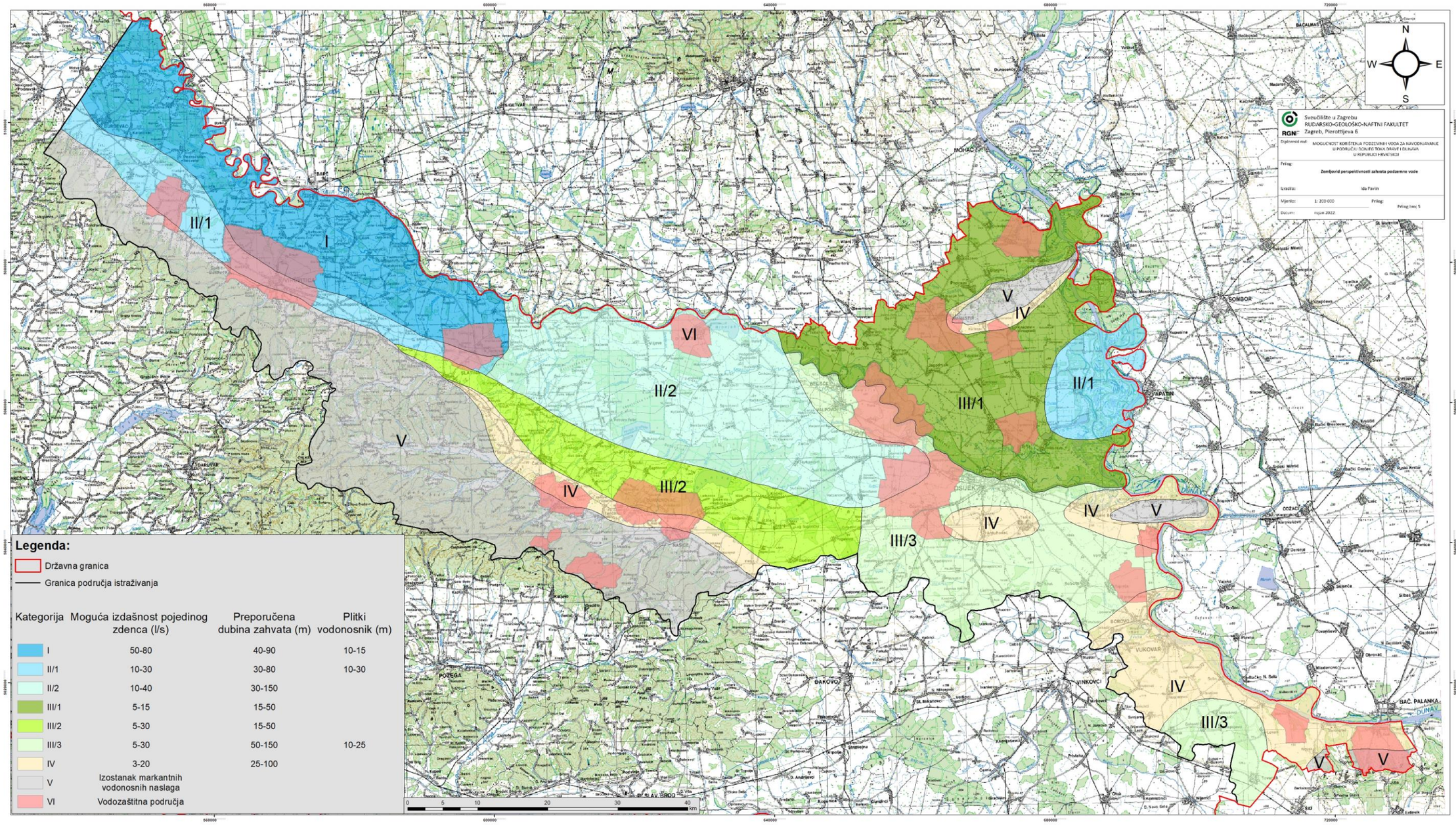
*Prilog 2 Uzdužni profil Dravskog vodonosnika*



*Prilog 3 Zemljovid izolinija transmisivnosti zahvaćenog dijela kvartarnog vodonosnika, M 1:200 000*



*Prilog 4 Zemljovid hidroizohipsi podzemnih voda, M 1:200 000*



*Prilog 5 Zemljovid perspektivnosti zahvata podzemne vode, M 1:200 000*