

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Diplomski studij geološkog inženjerstva

Ana Rečić

3D HIDROGEOLOŠKI MODEL ŠIREG VINKOVAČKOG PODRUČJA

Zagreb, 2022.

Ovaj rad izrađen je u Zavodu za geologiju i geološko inženjerstvo pod vodstvom mentora doc. dr. sc. Zorana Kovača i komentora izv. prof. dr. sc. Marka Cvetkovića te je predan na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2021./2022.

## Sadržaj:

<b>1. Uvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Opći i specifični ciljevi rada .....</b>	<b>2</b>
<b>3. Područje istraživanja .....</b>	<b>3</b>
3.1. Prethodna istraživanja .....	4
3.2.1. Geološka istraživanja .....	4
3.2.2. Hidrogeološka istraživanja .....	5
3.2. Geološke značajke istraživnog područja .....	7
3.3. Hidrogeološke značajke istraživnog područja .....	10
3.2.3. Hidrogeološke značajke Dravske potoline .....	10
3.2.4. Hidrogeološke značajke Đakovačko-vinkovačkog ravnjaka.....	11
3.2.5. Hidrogeološke značajke Savske potoline .....	12
<b>4. Materijal i metode .....</b>	<b>14</b>
4.1. Prikupljanje podataka.....	16
4.2. Priprema podataka.....	19
4.3. Izrada hidrogeološkog modela i variograma .....	21
<b>5. Rezultati i rasprava.....</b>	<b>29</b>
5.1. Analiza rasjeda .....	29
5.2. Analiza variograma .....	31
5.3. Izrada 3D modela .....	33
5.4. Izrada profila i procjena volumena vodonosnih slojeva.....	38
<b>6. Zaključci .....</b>	<b>48</b>
<b>7. Zahvale.....</b>	<b>49</b>
<b>8. Popis literature .....</b>	<b>50</b>
<b>9. Sažetak .....</b>	<b>58</b>
<b>10. Summary.....</b>	<b>59</b>
<b>11. Životopis.....</b>	<b>60</b>

## Popis slika:

Slika 3.1. Područje istraživanja.....	3
Slika 3.2. Prostorni položaj područja istraživanja na Osnovnoj geološkoj karti, listovi: Vinkovci (Brkić et al., 1989), Bačka Palanka (Čičulić-Trifunović i Galović, 1984), Bijeljina (Vrhovčić et al., 1984), Brčko (Buzaljko et al., 1985), Našice (Boško i Jamičić, 1989), Osijek (Magaš, 1987) i Slavonski Brod (Šparica et al., 1986).....	9
Slika 4.1. Dijagram tijeka rada.....	15
Slika 4.2. Litološko-tehnički profil zdenca BV-9Z/1 (Čulinović i Čulinović, 2015) i prikaz u računalnom programu Petrel.....	20
Slika 4.3. Naredbe korištene u računalnom programu Petrel.....	22
Slika 4.4. Histogram konačnih dubina bušotina.....	25
Slika 4.5. Parametri semivariograma ( <a href="https://www.aspexit.com">https://www.aspexit.com</a> ).....	26
Slika 4.6. Prostorni smještaj profila.....	28
Slika 5.1. Položaji rasjeda na Osnovnoj geološkoj karti, listovi Vinkovci (Brkić et al., 1989), Bačka Palanka (Čičulić-Trifunović i Galović, 1984), Bijeljina (Vrhovčić et al., 1984), Brčko (Buzaljko et al., 1985), Našice (Boško i Jamičić, 1989), Osijek (Magaš, 1987) i Slavonski Brod (Šparica et al., 1986) i Geološkoj karti (HGI, 2009).....	30
Slika 5.2. Karta seizmičnosti Hrvatske (Herak et al., 1996; Markušić et al., 1998; Ivančić et al., 2002, 2006, 2018).....	31
Slika 5.3. Variogrami za litološke jedinice: glina (gore), prahovita glina (dolje).....	32
Slika 5.4. Variogrami za litološke jedinice: glinoviti prah (gore), prah (dolje).....	32
Slika 5.5. Variogrami za litološke jedinice: pijesak (gore), šljunkoviti pijesak (dolje).....	33
Slika 5.6. Variogrami za litološke jedinice: šljunkoviti pijesak (gore), šljunak (dolje).....	33
Slika 5.7. 3D hidrogeološki model dobiven u računalnom programu Petrel.....	34
Slika 5.8. Južni presjek modela.....	35
Slika 5.9. Istočni presjek modela.....	35
Slika 5.10. Sjeverni i sjeveroistočni presjek modela.....	37
Slika 5.11. Zapadni presjek modela.....	37
Slika 5.12. Uzdužni profil broj 1.....	39
Slika 5.13. Uzdužni profil broj 2.....	39
Slika 5.14. Uzdužni profil broj 3.....	41
Slika 5.15. Uzdužni profil broj 4.....	41
Slika 5.16. Poprečni profil broj 1.....	43
Slika 5.17. Poprečni profil broj 2.....	43
Slika 5.18. Poprečni profil broj 3.....	45
Slika 5.19. Poprečni profil broj 4.....	45

**Popis tablica:**

Tablica 4.1. Popis bušotina korištenih pri izradi modela. ....	17
Tablica 4.2. Oznaka litoloških jedinica u računalnom programu Petrel. ....	21
Tablica 4.3. Bušotine korištene za izradu podine.....	24
Tablica 4.4. Efektivna poroznost litoloških jedinica (prema Urumović, 2013). ....	28
Tablica 5.1. Postotak zastupljenosti pojedinačnih litoloških članova. ....	46
Tablica 5.2. Izračunati volumeni u Petrelu. ....	47

## 1. Uvod

Dostupnost vode za piće u svijetu je sve manja. Iako Republika Hrvatska raspolaže s relativnom velikim zalihama podzemne vode koja se koriste kao voda za piće, potrebno ih je detaljno kvantificirati i zaštititi ukoliko se želi omogućiti održivo upravljanje vodnim resursom.

Aluvijalne naslage rijeke Save i Drave predstavljaju strateške zalihe podzemne vode Republike Hrvatske te glavne vodonosnike koji se koriste za potrebe vodoopskrbe stanovnika istočne Slavonije.

Na istraživanom području napravljena su brojna hidrogeološka istraživanja, dominantno lokalna. Međutim, postoji jako malo radova u kojima su podaci iz lokalnih hidrogeoloških istraživanja sistematizirani i iskorišteni na regionalnoj razini.

S obzirom na navedeno, u okviru ovog rada glavni cilj istraživanja bio je izraditi 3D hidrogeološki model šireg vinkovačkog područja. U tu svrhu prikupljeni su podaci o litološkim značajkama piezometara i zdenaca iz različitih izvora, koji su obrađeni i integrirani u Petrel E&P software. S obzirom da se navedeni softver dominantno koristi u naftno-geološkim istraživanjima, jedan od glavnih ciljeva bio je i definirati primjenu u hidrogeološkim istraživanjima. Nadalje, napravljena su četiri poprečna i četiri uzdužna hidrogeološka profila na temelju kojih je određen broj vodonosnih slojeva, njihova debljina te ukupni volumen pora vodonosnih naslaga.

Ovaj rad prikazuje prvu primjenu Petrel E&P software u hidrogeološkim istraživanjima u Republici Hrvatskoj, što je detaljno vidljivo kroz prikaze rezultata ovog rada.

## **2. Opći i specifični ciljevi rada**

Glavni cilj ovog rada bila je izrada 3D hidrogeološkog modela šireg vinkovačkog područja. Prije izrade samog rada definirani su opći i specifični ciljevi radi, koji su i ostvareni.

Opći ciljevi rada su:

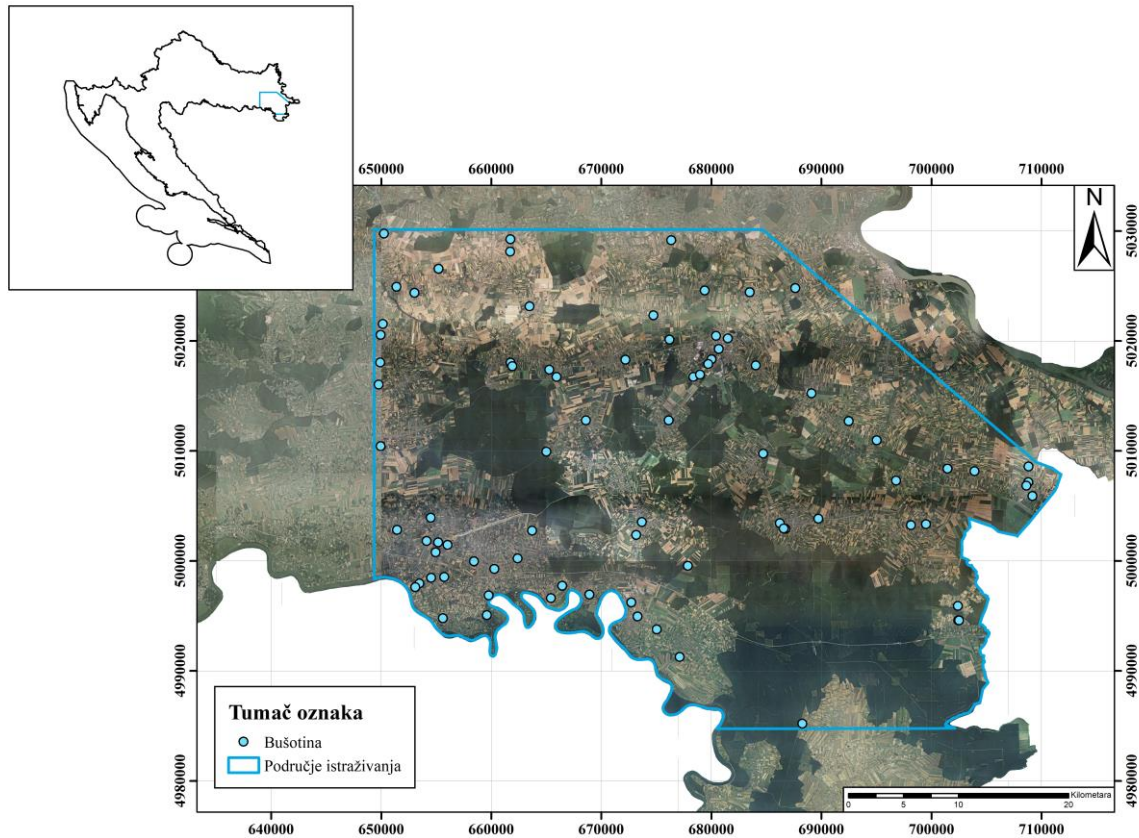
- Izraditi 3D hidrogeološki model i 2D hidrogeološke profile na istraživanom području.
- Kvantificirati ukupni volumen pora vodonosnih naslaga.
- Testirati primjenu Petrel E&P software u izradi hidrogeoloških modela.

Specifični ciljevi rada su:

- Sistematizirati podatke o piezometrima i zdencima na širem vinkovačkom području.
- Odrediti broj i debljine vodonosnih slojeva.
- Definirati kontinuiranost vodonosnih slojeva i njihovu prostornu raspodjelu.
- Kvantificirati udio dobropropusnih i slabopropusnih naslaga na razini pojedinačnog litološkog člana.

### 3. Područje istraživanja

Područje istraživanja smješteno je na istočnom dijelu Republike Hrvatske te je definirano rasporedom bušotina. Najvećim dijelom obuhvaća Vukovarsko-srijemsku županiju, krajnji istočni dio Brodsko-posavske županije i jugoistočni dio Osječko-baranjske. Na slici 3.1. prikazan je položaj područja istraživanja, podloga je preuzeta s geoportala Državne geodetske uprave (karta je prikazana koristeći službeni koordinatni sustav Republike Hrvatske – HTRS96/TM). Ukupna površina istraživanja iznosi oko 2.107 km<sup>2</sup>.



Slika 3.1. Područje istraživanja.



### 3.1. Prethodna istraživanja

#### 3.2.1. Geološka istraživanja

Početkom 20. stoljeća opisane su praporne naslage i fosilni sisavci za područje istočne Slavonije (Gorjanović-Kramberger, 1913, 1922). Krajem pedesetih godina naftno-geološka istraživanja utvrđuju litostratigrafski sustav i strukturno-tektonske odnose u dubini. Izrazita litofacijsna raznolikost miocena opisana je na temelju velikih i naglih razlika u brzini valova u Vukovarskoj formaciji (Hernitz, 1970). Mohorovičićev diskontinuitet na prostoru Slavonski Brod-Beli Manastir nalazi se na dubini od 28 do 32 km te je presječen glavnim uzdužnim potolinskim rasjedom (Zeljko, 1972).

Definirano je pet litostratigrafskih jedinica u rangu formacije od kojih je za potrebe ovog istraživanja važna jedino najmlađa formacija Vuka kojom su obuhvaćeni sedimenti vršnih dijelova pliocena i kvartarnih naslaga (Šimon, 1973).

U disertaciji o dubinskoj geološkoj građi istočne Slavonije istaknuto je kako područje istraživanja ne pripada jedinstvenom sedimentacijskom prostoru već se izdvajaju tri predjela: Dravska potolina, dio Slavonsko-srijemske i Đakovačko-vinkovački horst. Kvartarne naslage opisane su kao „rastresiti pokrivač“ koje obuhvaćaju naslage od površine terena do markera Q' te taj interval predstavlja naslage približno do granice između srednjeg i donjeg pleistocena (Hernitz, 1983). U Slavonsko-srijemskoj potolini poplavni pojas holocena nastao je intenzivnim procesima naplavlivanja Save i njezinih pritoka (Crnković i Bušić, 1970; Hernitz, 1983; Mutić, 1988 i Galović et al., 1989).

Radijalni tektonski pokreti stvorili su blokove (đakovački, vukovarski i erdutski) i depresije (savska i dravska) (Haček i Oluić, 1969). Najmlađi tektonski pokreti u sjevernoj Hrvatskoj najčešće su povezani sa sustavima starijih rasjeda (Prelogović i Kranjec, 1974; Hernitz, 1983). Tektonska obilježja istočne Slavonije posljedica su tektonskih kretanja, dok su reversni rasjedi rijetki (Hernitz, 1983).

Potresi su najučestaliji na području Đakovačko-vinkovačkog ravnjaka i Dilj gore (Cvijanović, 1969). Tektonska aktivnost bila je najintenzivnija tijekom najmlađeg pontona (Prelogović, 1975). Osim uzdužnih rasjeda koji omeđuju potoline i horstove, nalaze se rasjedi dijagonalni i poprečni na njih duž kojih su bili najveći pomaci u kvartaru (Prelogović i Cvijanović, 1976).

Kvartarne naslage u Slavonsko-srijemskoj potolini raščlanjene su na: donji, srednji i gornji pleistocen i holocen na temelju podataka iz vodoistražnih i naftnih bušotina. Granica između slabopropusnih naslaga u podini i propusnih pjekovitih naslaga u krovini predstavlja elektro-karotažni marker Q' (Urumović et al., 1978).

Na temelju fosilnog sadržaja bušotina u istočnoj Slavoniji izvršena je stratigrafska podjela kvartarnih naslaga na pretpostavljeni donji i sigurno dokazani srednji i gornji pleistocen (Sokač, 1976).

Naslage Dravske i Slavonsko-srijemske potoline izgrađuju najvećim dijelom terigeno-fluvijalni materijali, dok su naslage prapornih ravnjaka eolskog porijekla (Mutić, 1988, 1990, 1993).

### **3.2.2. Hidrogeološka istraživanja**

Tri vodonosna sloja do dubine od 140 m izdvojena su na području Vinkovaca tijekom prvih vodoistraživačkih radova (Urumović et al., 1973).

Sedamdesetih godina prošlog stoljeća provodila su se hidrogeološka istraživanja prisavskog dijela istočne Slavonije kako bi se definirali hidrogeološki odnosi te riješilo pitanje vodoopskrbe. Zaključeno je kako se vodoopskrba može zasnivati na eksploataciji prvog vodonosnog sloja zbog mogućeg prihranjivanja infiltracijom oborina (Rimac et al., 1977, 1977a, 1977b, 1977c, 1980, 1981, 1984, 1985).

Procijenjeno je kako se na lokaciji Štitar mogu dobiti značajne količine vode, te su određene rezerve podzemnih voda u istočnoj Slavoniji (Urumović, 1974). Lokacije pogodne za izradu regionalnog crpilišta su Štitar i Županja, dok su lokacije Vinkovaca, Đakova i Drenovaca pogodne za izradu grupnih crpilišta (Urumović et al., 1976).

Izdvojene su dvije hidrogeološke zone po dubini na području sjeverne Hrvatske (Miletić et al., 1975, 1975a).

Diferencijalni tektonski pokreti u istočnoj Slavoniji manje su izraženi nego u ostalom dijelu Savske depresije, stoga su postojali uvjeti za stvaranje prostranih arteških pjeskovitih horizonata čiji je kontinuitet prekidan uglavnom duž starijih rasjeda (Miletić i Urumović, 1975). Izdvojene su pjeskovite vodonosne naslage s arteškom vodom iz kojih je moguće ograničeno eksploatirati podzemnu vodu na području istočne Slavonije, dok je na uskom području oko rijeke Save moguće intenzivno eksploatirati podzemnu vodu iz šljunkovito-pjeskovitih riječnih nanosa (Miletić et al., 1976).

S obzirom na to da je bilo nedovoljnih količina vode u prvom vodonosnom sloju, istraživanja na području Vinkovaca se nastavljaju te se zahvaća i drugi vodonosni sloj. Prijašnje procjene zalihe podzemnih voda bile su precijenjene te mogućnost njihova obnavljanja je limitirana. Ukoliko bi se nastavilo crpiti s planiranom količinom crpljenja, došlo bi do rudarenja podzemne vode. Voda u drugom vodonosnom sloju lošije je kvalitete te obnavljanje potpuno izostaje (Miletić et al., 1981).

Utvrđene su hidrauličke veze šljunkovitog vodonosnog sloja s rijekom Savom te je izvedeno bilanciranje rezervi podzemnih voda. Izdvojena su četiri vodonosna sloja do dubine 200 m. Obnavljanje je moguće procjeđivanjem rijeke Save te infiltracijom iz oborina (Miletić et al., 1981b).

Regionalno crpilište na području između Velike Kapanice i Babine Grede najkvalitetnije je po lito-loškom sastavu i debljini, voda je najbolje kvalitete, te je lokacija podjednako udaljena od Vinkovaca, Đakova, Županje i Slavanskog Broda (Mayer et al., 1981).

Nastavljena su hidrogeološka istraživanja na lokaciji Kanovci na području istočne Slavonije. Količina vode oslobođena usred konsolidacije uzrokovane padom tlakom predstavlja preko 50% eksploatacijske količine vinkovačkog crpilišta (Kovačić et al., 1986).

Na području istočne Slavonije izdvojena su četiri vodonosna sloja. Prvi sloj, uz rijeku Savu, šljunkovitog sastava sa značajnim zalihama podzemne vode i mogućnosti prihranjivanja infiltracijom oborina i dotokom iz rijeke Save. Drugi sloj koji se prostire na cijelom području istočne Slavonije, pjeskovitog sastava s ograničenim mogućnostima obnavljanja. Treći i četvrti sloj prostiru se na cijelom području, pjeskovitog sastava, ograničenih zaliha s vrlo malom mogućnošću obnavljanja i problematičnom kvalitetom vode (Miletić et al., 1986c).

Istražnim radovima potvrđeno je kako postoje ograničene količine vode na lokaciji Kanovci, te voda dubljeg vodonosnog sloja sadrži koncentracije elemenata štetnih za zdravlje (Bačani et al., 1989).

Kontinuitet vodonosnog sloja Vinkovci prekinut je na području Županijske strukturne grede. Izdvajaju se četiri djelomično samostalne hidrauličke cjeline zapadno od Županijske grede. Jedna je uz rijeku Savu s izraženim utjecajem rijeke Save. Podzemni sliv Vinkovaca čini drugu cjelinu gdje je slabiji utjecaj rijeke Save. Treća cjelina obuhvaća područje podzemnog sliva Đakovo, predstavlja samostalnu hidrauličku cjelinu. Područje kontinentalnog prapora Đakovačko-vinkovačkog i Vukovarskog platoa četvrta je cjelina gdje postoji infiltracija oborina (Miletić et al., 1989).

Pretpostavka o kontinuiranosti vodonosnih slojeva na području istočne Slavonije u savskom slivu se mijenja, te postoji puno veća heterogenost naslaga nego što se prije pretpostavljalo (Miletić et al., 1993).

### 3.2. Geološke značajke istraživanog područja

Na prostoru istočne Slavonije, između Save i Drave, nalaze se tri tektonske jedinice: Đakovačko-vinkovački horst, Slavonsko-srijemska potolina i Dravska potolina (Bačani, 1997).

Đakovačko-vinkovački horst proteže se istočno od Krndije i Dilj gore do Vinkovaca (Bačani, 1997). Tijekom srednjeg miocena na području istočne Slavonije formiraju se dva regionalna depocentra u ekstenzijskom tektonskom režimu dok područje Đakovačko-Vinkovačkog ravnjaka ostaje relativno uzdignuto. Podlogu neogensko-kvartarnih naslaga čine magmatsko-metamorfne stijena. Regionalnim izdizanjima, područje je pretvoreno većinom u kopno za vrijeme i pod kraj sarmata te je sedimentacija reducirana (Galović et al., 1989). Tektonska aktivnost u panonu je dominantno pod utjecajem termalne subsidencije s otvaranjem novih akomodacijskih prostora (Pavelić i Kovačić, 2018). Početkom pliocena i pleistocena ponovno dolazi do izdizanja usred kompresijskog režima tektonike (Pavelić i Kovačić, 2018), a današnji oblik horsta oblikovan je početkom holocena (Hernitz, 1983; Šparica, 1986). Sa sjevera i juga horst je omeđen dubokim rasjednim zonama pružanja zapad/sjeverozapad – istok/jugoistok. Presijecaju ga brojni rasjedi koji uvjetuju stvaranje lokalnih struktura (Bačani, 1997). Područje dodira Đakovačko-vinkovačkog horsta i Vukovarske strukture karakterizirano je složenim tektonskim odnosima. U tom području gotovo da se dodiruju Dravska i Slavonsko-srijemska potolina (Bačani, 1997).

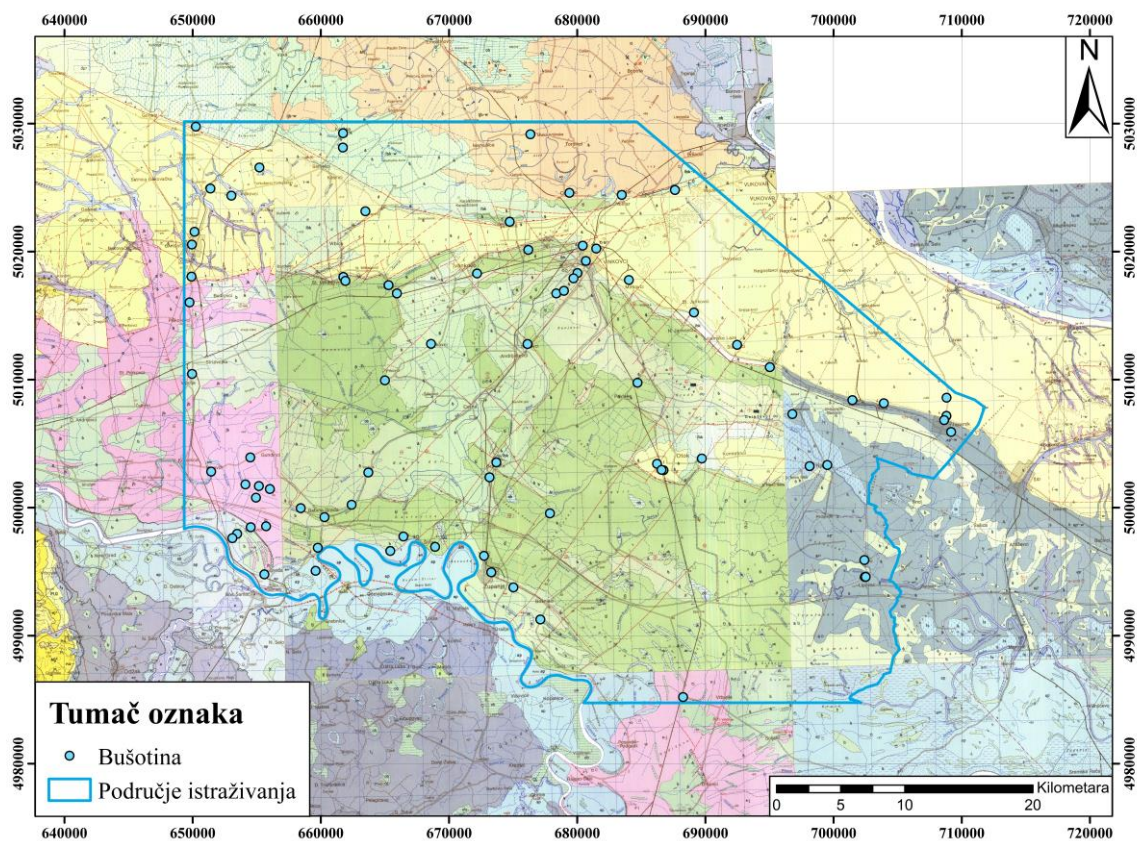
Galović et al. (1989) navode kako je strukturna građa Slavonsko-srijemske potoline vrlo raznolika. Podloga neogenih stijena izgrađena je od najčešće paleozojskih magmatsko-metamorfnih stijena, s mjestimično mezozojskim i paleogenim sedimentima (Bačani, 1997). Neogenim tektonskim pokretima formiraju se depresije i uzdignute strukture, koje tijekom sedimentacije do holocena prolaze faze preformiranja po sistemima rasjeda što je praćeno vulkanskom aktivnošću (Galović et al., 1989). Prevladavaju rasjedi pružanja zapad – istok, no značajni su mlađi rasjedi dijagonalni ili okomiti na njih. Bačani (1997) ističe najznačajniji rasjed koji brazdi od Županje prema Vukovaru iako na Osnovnoj geološkoj karti, list Vinkovci (Brkić et al., 1989) on nije istaknut.

Dravska potolina odvojena je od Đakovačko-vinkovačkog horsta dubokim „dravskim potolinskim rasjedom“. Potolina predstavlja složeni sinklinorij s brojnim uleknućima i uzvišenjima. Strukture se pružaju zapad/sjeverozapad – istok/jugoistok. Prisutni su nešto mlađi rasjedi okomitog ili dijagonalnog pravca pružanja u odnosu na uzdužne (Prelogović i Velić, 1992). Dravska potolina prekrivena je praporom i barskim naslagama (Galović et al., 1989).

Za opis geoloških naslaga obuhvaćenih područjem istraživanja korišteni su listovi Osnovne geološke karte (M 1:100 000) te pripadni tumači. Korišteni su sljedeći listovi: Vinkovci (Brkić et al., 1989), Bačka Palanka (Čičulić-Trifunović i Galović, 1984), Bijeljina (Vrhovčić et al., 1984), Brčko (Buzaljko et al., 1985), Našice (Boško i Jamičić, 1989), Osijek (Magaš, 1987) i Slavonski Brod (Šparica et al., 1986).

Kvartarni sedimenti koji se dijele na pleistocenske i holocenske naslage izgrađuju čitavo područje istraživanja. Na slici 3.2. prikazano je područje istraživanja na Osnovnim geološkim kartama. S obzirom na neusklađenost klasifikacije pojedinih litofacijskih jedinica između različitih listova Osnovne geološke karte i zbog toga što područje istraživanja najvećim dijelom obuhvaća Osnovnu geološku kartu list Vinkovci (Brkić et al., 1989), opisane su litofacijske jedinice koristeći tumač za osnovnu geološku kartu, list Vinkovci (Galović et al., 1989):

- Sedimenti korita – ade, plaže (a), holocenske starosti, taloženi u zonama korita rijeke Save i na bokovima bez strmih obronaka. Po sedimentološkom sastavu to su šljunci, pijesci i siltovi u horizontalnoj i vertikalnoj izmjeni. Debljina ovisi o nanosu Save i iznosi od 1 m na više.
- Sedimenti mrtvaja (am), holocenske starosti, izdvojeni su uz rijeku Savu. Predstavljaju sedimente završne faze aluvijalnih naslaga, napuštenih tokova rijeka. Debljina im varira od 1 do 3 m.
- Sedimenti poplavnih područja (ap), holocenske starosti, rašireni su na obje strane rijeke Save. Većinom se radi o siltozno-pjeskovitim, rijetko šljunkovitim, a češće glinovitim sedimentima. Debljina se kreće od 2 do 2,5 m na više.
- Organogeno-barski sedimenti (ob), holocenske starosti, sastoje se od humusnih-tresetnih, slabo pjeskovitih, glinovitih siltova, kao i siltoznih glina. Debljina im se kreće do 2 m.
- Mlađi barski sedimenti (b'), holocenske starosti, nalaze se južno od lesnog ravnjaka, čine blage depresije. Čine ih plavičastosmeđe tamne, sivocrne, siltozne gline, često tresetnog tipa. Debljina im se kreće od 0,5 do 2 m.
- Stariji barski sedimenti (b), pleistocenske starosti, taloženi su južno od lesnog ravnjaka sve do Save, te su djelomično pokriveni barskim močvarnim holocenskim naslagama. To su svijetlosmeđi, šareni, glinoviti siltovi često u nepravilnoj izmjeni s tamnosivim organskim siltom. Debljina im je pretpostavljena i iznosi od 5 do 8 m.
- Barsko-kopneni les (lbc), pleistocenske starosti, utvrđen je na dijelu Vukovarsko-vinkovačkog i Đakovačkog ravnjaka i na dijelu struktura Otok-Komletinci i Gradište. Litološki predstavljaju šarene i smeđe glinovite siltove u izmjeni, često s ulomcima sive gline. Debljina im iznosi oko 15 m.
- Les (l), pleistocenske starosti, izgrađuje lesni ravnjak Đakovo-Vinkovci i Vukovar. To je žutosmeđi prah (silt) donesen vjetrom, slabo vezan, mjestimično porozan s cjevastim šupljinama od istrnulog bilja. Debljina mu varira od 6 do 18 m.



Slika 3.2. Prostorni položaj područja istraživanja na Osnovnoj geološkoj karti, listovi: Vinkovci (Brkić et al., 1989), Bačka Palanka (Čičulić-Trifunović i Galović, 1984), Bijeljina (Vrhovčić et al., 1984), Brčko (Buzaljko et al., 1985), Našice (Boško i Jamičić, 1989), Osijek (Magaš, 1987) i Slavonski Brod (Šparica et al., 1986).

### **3.3. Hidrogeološke značajke istraživanog područja**

Na području istočne Slavonije, prema podacima iz Bačani (1997), propusne naslage pogodne za vođopskrbu nalaze se u prvih 150, najviše 200 m dubine. Granica propusnih i nepropusnih naslaga na području sjeverne Hrvatske definira se s obzirom na propusnost stijena i na fizikalno-kemijske karakteristike vode. Kvarterni vodonosni kompleks izdvojen je kao najzanimljiviji te zaliježe između površine terena i elektrokarotaznog repera Q' (Urumović et al., 1976, 1978). Iznad tog repera Q' dominiraju propusne naslage, ispod njega prevladavaju slabopropusne do nepropusne naslage. Hermitz (1983) navodi kako se taj reper nalazi na dubinama između 100 i 300 metara na području istočne Slavonije.

Istočna Slavonija podijeljena je s obzirom na fizikalno-kemijske karakteristike vode na dvije hidrogeološke zone (Miletić et al., 1975, 1975a). Prva zona sadrži vodu temperature ispod 20 °C s mineralizacijom ispod 2 g/l otopljenih tvari, a druga hidrogeološka zona sadrži vodu temperature iznad 20 °C s mineralizacijom preko 2 g/l. Dubina na kojoj se nalazi granica zona je u Dravskom području između 71 i 262 m, dok je u Savskom području između 63,5 i 295 m ili između 90 i 148 m na području Đakovačko-vinkovačkog ravnjaka (Bačani, 1997).

Istraživano područje obuhvaća krajnji južni dio Dravske potoline, Đakovačko-vinkovački ravnjak te najvećim dijelom Slavonsko-srijemsku potolinu stoga su za svaku tektonsku jedinicu ukratko opisane hidrogeološke značajke.

#### **3.2.3. Hidrogeološke značajke Dravske potoline**

Iako područje istraživanja obuhvaća samo krajnji južni dio Dravske potoline, navedene su hidrogeološke značajke za područje koje je Bačani (1997) opisala s naglaskom na južni dio Dravske potoline.

Uz rub Đakovačko-vinkovačkog ravnjaka, na jugu Dravske potoline, Bačani (1997) objašnjava da se debljina kvartarnog vodonosnog kompleksa smanjuje na 150 m. Debljine vodonosnih naslaga se smanjuju idući od sjeverozapada (debljine preko 100 m) prema južnom dijelu potoline, prema Đakovačko-vinkovačkom ravnjaku gdje iznose manje od 50 m.

Litološki, potolina je izgrađena od propusnih pijesaka, rijetko šljunaka, dok slabopropusne slojeve čine prah i glina. Debljina krovinskih naslaga kreće se od oko 5 m na sjeverozapadu, dok je u ostalim predjelima uglavnom od 10 do 30 metara. Čine ju prašinate gline do glinoviti prahovi, često s lećama ili proslojcima pijeska (Bačani, 1997).

Bačani (1997) opisuje kako se podzemne vode obnavljaju infiltracijom oborina, dok se procjeđivanje iz površinskih vodotoka može zanemariti.

Efektivna infiltracija za razdoblje 1970.-1973. godine iznosila je 7 do 30% godišnjih oborina (Urumović et al., 1981a), a za razdoblje 1971.-1975. godine otprilike 16% srednjih godišnjih oborina (Urumović, 1982).

Vodonosni slojevi su po tipu poluzatvoreni do zatvoreni. Hidrogeološki parametri određeni su iz pokusnog crpljenja zdenaca koji zahvaćaju maksimalne dubine do 180 m. Prema proračunu Bačani (1997) piše da se prosječne vrijednosti hidrauličke vodljivosti kreću od 10 do 20 m/dan, s lokalnim varijacijama. Vrijednosti transmisivnosti se kreću od ispod 70 do preko 1000 m<sup>2</sup>/dan. Veliki raspon objašnjen je različitim dubinama bušenja, samim time i različitom ukupnom debljinom zahvaćenih slojeva. Uskladištenje se kreće od  $4 \times 10^{-5}$  do  $3 \times 10^{-3}$ , faktor procjeđivanja iznosi od 250 do 5000 m, a koeficijent procjeđivanja od  $3 \times 10^{-5}$  do  $3,5 \times 10^{-3}$  dana<sup>-1</sup>.

#### **3.2.4. Hidrogeološke značajke Đakovačko-vinkovačkog ravnjaka**

Na području Đakovačko-vinkovačkog ravnjaka, debljina kvartarnog vodonosnog kompleksa manja je od 150 m, što ujedno odgovara granici hidrogeoloških zona koje se kreću na dubini od 90 do 148 m (Miletić et al., 1975).

Ukupne debljine propusnih slojeva ne premašuju 50 m. Do 120 m dubine, debljine propusnih slojeva variraju od 20 do 46 m. Probušeno je tri do osam vodonosnih slojeva, do 120 m dubine, debljine od 3 do 30 m. Litološki sastav slojeva čini sitno- do krupnozrnati pijesci, čija se veličina zrna smanjuje s dubinom. Uz sitnozrnati pijesak često dolazi i prah (Bačani, 1997).

Krovinske naslage debljine su između 20 i 30 m, osim na zapadnom dijelu ravnjaka gdje je debljina manja od 20 m. Prema Osnovnoj geološkoj karti list Vinkovci (Brkić et al., 1989), krovina je izgrađena od kopnenog lesa (prapora). Naslage prapora izgrađene su od sitnih zrna s primjesama gline i sitnozrnatog pijeska (Mutić, 1990).

Značajna vertikalna hidraulička vodljivost prapora omogućava procjeđivanje oborine te obnavljanje zaliha podzemnih voda. Smjer kretanja vode je od ravnjaka prema sjeveroistoku, odnosu jugoistoku (Bačani, 1997).

Na temelju pokusnog crpljenja pojedinih zdenaca (dubina do 107 m) izračunate su vrijednosti hidrogeoloških parametara. Transmisivnost iznosi od 52 do 413 m<sup>2</sup>/dan, hidraulička vodljivosti imaju vrijednosti od 4,9 do 30,7 m/dan, uskladištenje iznosi  $1,9 \times 10^{-4}$  do  $4,4 \times 10^{-3}$ , faktor procjeđivanja iznosi otprilike 278 m, a koeficijent procjeđivanja kreće se u rasponu od  $1,3 \times 10^{-4}$  do  $4,3 \times 10^{-4}$  dan<sup>-1</sup> (Bačani, 1997).



### 3.2.5. Hidrogeološke značajke Savske potoline

Tijekom 1974. i 1975. godine provedena su regionalna hidrogeološka istraživanja na području Savske depresije kojima je istražena prva hidrogeološka zona, to jest, kvartarni vodonosni kompleks do dubine od oko 200 m. Ta dubina podudara se s prosječnom dubinom repera Q' koji se u Savskoj depresiji nalazi na dubini između 150 i 250 m. Rezultati istraživanja pokazali su kako se potencijalno najzanimljivije naslage za vodoopskrbu nalaze na dubinama od 100 do 150 m (Bačani, 1997).

Najveća debljina propusnih naslaga (preko 100 m) pojavljuje se na jugu, uz rijeku Savu. Idući prema sjeveru, odnosno istoku, debljina se postupno smanjuje na vrijednosti ispod 50 m što uvjetuje hidrogeološku razliku između područja uz Savu i područja sjeverno i istočno od Save. Dubinska granica iznad koje dominiraju propusne naslage nalazi se između 50 i 125 m, što varira od lokacije do lokacije (Bačani, 1997).

#### 3.2.3.1. Šljunkoviti vodonosni sloj

Na jugu, između Save i linije Vrpolje-Cerna, šljunkoviti vodonosni sloj može imati debljinu i preko 90 m. Izgrađuje ga sitno do srednjezrnat šljunak, s nešto pijeska. Sloj na području između Velike Kopanice, Gundinaca i Kruševice ima najpovoljnije hidrogeološke karakteristike, rijetko se nalaze proslojci sitnozrnatijeg materijala. Miletić et al. (1986, 1992) i Capar (1992) nazivaju ovaj sloj „Velika Kopanica“. Idući na istok, nerijetko se pojavljuju proslojci prašinstog pijeska i gline (Bačani, 1997).

Debljina krovine uz Savu je najmanja i iznosi oko 10 m. Kretajući se prema sjeveru, debljina raste do maksimalnih 40 m stoga se mogućnost infiltracije oborina do vodonosnih slojeva smanjuje. Litološku građu krovine čine prašinsto-glinovite i pjeskovite naslage (Bačani, 1997).

Vrijednosti hidrogeoloških parametara mijenjaju se s obzirom na litološki sastav i debljinu. Veći iznosi transmisivnosti i hidrauličke vodljivosti su u zapadnom dijelu (krupnija zrna i veće debljine propusnih naslaga). Transmisivnost ima vrijednosti od 423 do 7344 m<sup>2</sup>/dan, hidraulička vodljivost pojavljuje se u rasponu od 30,27 do 211,7 m/dan, uskladištenje iznosi  $1,71 \times 10^{-4} - 8,25 \times 10^{-3}$ , koeficijent procjeđivanja je od  $2,47 \times 10^{-4} - 4,32 \times 10^{-3} \text{ dan}^{-1}$  (Bačani, 1997).

Dotok rijeke Save i infiltracija oborine omogućava obnavljanje podzemnih voda šljunkovitog sloja. Rijeka Sava je u izravnoj hidrauličkoj vezi sa slojem, za vrijeme visokih vodostaja napaja sloj, dok ga za vrijeme niskih voda drenira. Infiltracija oborina u prirodnim uvjetima u većem dijelu izostaje (Bačani, 1997).

### 3.2.3.2. Pjeskoviti vodonosni sloj

Pjeskoviti vodonosni sloj nalazi se sjeverno i istočno od šljunkovitog. Idući sjeverno i istočno od rijeke Save, ukupna debljina propusnih slojeva smanjuje se sa 100 m na iznose manje od 50 m. Najpovoljnije hidrogeološke zone nalaze se između Đakova, Mikanovaca i Strizivojne (debljine 40-50 m), potom između Vinkovaca, Mirkovaca i Đeletovaca (debljina veća od 40 m) i u području oko Lipovca (debljina preko 50 m). Između Ivankova i Vinkovaca, te između Privlake i Otoka debljina je ispod 30 m. Rezultati prethodnih istraživanja definirali su ova područja kao hidrogeološki nepovoljne zone (Bačani, 1997).

Broj vodonosnih slojeva je od dva do jedanaest, debljine rijetko preko 30 m. Grupiranjem navedenih vodonosnih slojeva nastala su dva do tri vodonosna horizonta, između kojih se nalaze deblji slabopropusni slojevi. Miletić et al. (1986, 1992) i Capar (1992) izdvajaju tri pjeskovita vodonosna sloja pod nazivima (idući od površine): „Vinkovci“, „Nijemci“ i „Strizivojna“ (Bačani, 1997).

Vodonosni slojevi građeni su od sitno do srednjezrnatih, mjestimično krupnozrnatih pijesaka s time da prvi (pličići) vodonosni sloj ima krupnija zrna nego dublji. U dubljim vodonosnim slojevima redovito se nalazi prah. U istočnom dijelu područja, na većim debljinama vodonosnih slojeva može se naći šljunak. Prah i glina izgrađuju slabopropusne naslage (Bačani, 1997).

Debljina krovine kreće se između 30 i 40 m, s lokalnim varijacijama gdje može biti ispod 10 m (Retkovci) ili preko 60 m (Strizivojna). Krovinu izgrađuju glinovito-prašinate naslage s lećama pijeska i proslojcima pijeska i gline (Bačani, 1997).

Pokusnim crpljenjem u zdencima koji zahvaćaju dubine do maksimalnih 120 m izračunate su vrijednosti hidrogeoloških parametara. Transmisivnost iznosi 52-706 m<sup>2</sup>/dan, hidraulička vodljivost ima vrijednosti od 5,5-37,1 m/dan, uskladištenje je u rasponu od  $1,3 \times 10^{-4}$  do  $4,39 \times 10^{-3}$ , a koeficijent procjeđivanja je od  $1,3 \times 10^{-5}$  do  $7,4 \times 10^{-4}$  dan<sup>-1</sup> (Bačani, 1997).

Prihranjivanje prvog od površine pjeskovitog sloja odvija se infiltracijom oborina i podzemnim dotokom. Infiltracija na području Đakovačko-vinkovačkog ravnjaka se sa sigurnošću odvija zbog prapora koji ima veliku vertikalnu hidrauličku vodljivost. Ondje gdje je krovina deblja i izgrađena od slabije propusnih slojeva, infiltracija se odvija teže. Dublji vodonosni slojevi teže se prihranjuju zbog međuslojeva koji imaju manju propusnost i značajnije su debljine s time da se uvjeti mijenjaju ovisno o lokaciji, što dokazuju Grgić et al. (1992) analizom starosti anorganskog ugljika u vodama đakovačkog i vinkovačkog crpilišta.

#### 4. Materijal i metode

Petrel E&P software (Petrel) je Schlumbergerov računalni program koji se dominantno koristi u naftnoj industriji. Raspolaže velikim rasponom alata u rješavanju kompleksnih strukturnih i stratigrafskih izazova – od regionalnih istraživanja do razvoja ležišta. Omogućuje interpretaciju seizmičkih i stratigrafskih podataka, koreliranje bušotina, izrađivanje 2D karata, 3D modela i dr. (<https://www.software.slb.com>).

Korištenje Petrela nije često u hidrogeološkim istraživanjima, ali određeni primjeri postoje. Primjerice, korištenje koda za modeliranje toka podzemne vode Modflow-2000 (Harbaugh et al., 2000) i izrada modela u Petrelu omogućila je detaljnu interpretaciju hidrogeologije istraživanog područja. Autori između ostalog, identificiraju kontakt krednih i devonskih naslaga s kvartarnim pijescima i šljuncima (Alloisio et al., 2011). Nadalje, Petrel je uspješno implementiran prilikom rješavanja hidrogeoloških problema. Tako Lau et al. (2016) izrađuju 3D model kvartarnih naslaga koji pruža detaljniji uvid u debljinu i distribuciju glacijalnih naslaga nego klasični 2D prikazi. Stoga 3D model može biti pomoćno sredstvo prilikom modeliranja toka podzemne vode.

Za istraživanje ugljikovodika presudna je detaljna interpretacija geoloških svojstava unutar područja istraživanja jer njihov prekid dovodi do negativnih bušotina i velikog ekonomskog gubitka. Korelacijski profil napravljen korištenjem računalnog programa Petrel te seizmički podaci omogućuju izradu 3D modela na temelju kojeg se mogu pratiti geološka svojstva (Aadil i Sohail, 2014).

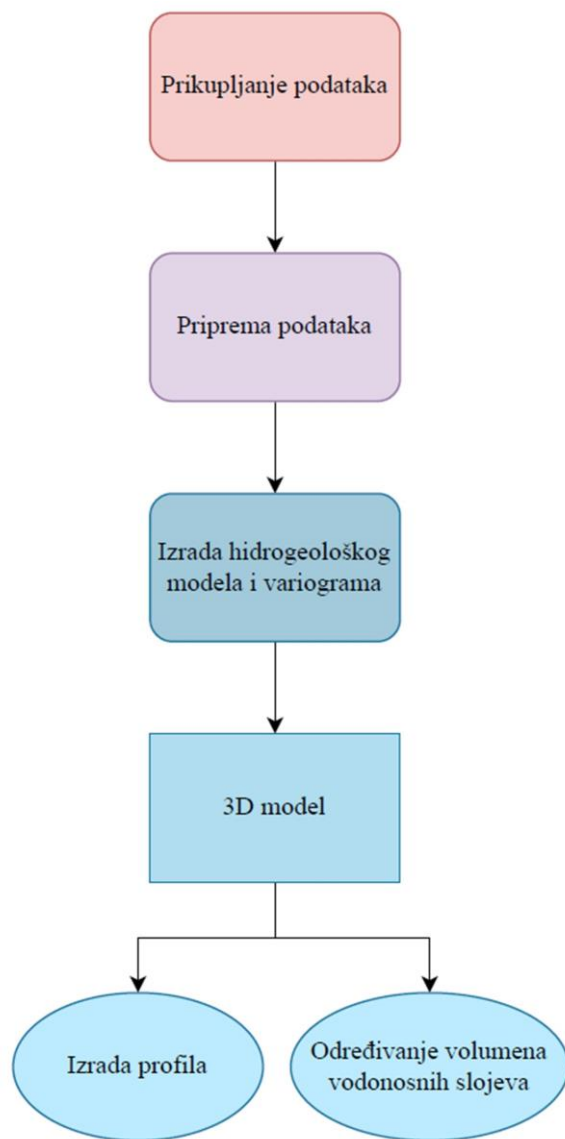
Buraq (2015) izrađuje 3D geološki model pomoću računalnog programa Petrel na temelju pet bušotina u ležištu Asmari na naftnom polju Fauqi. Model obuhvaća izradu strukturnih karata, korelaciju bušotina te prikaz distribucije petrofizikalnih svojstava (poroznost i saturiranost vodom).

Baketarić i Cvetković (2015) digitalizirali su i obradili podatke u računalnim programima ArcMap 10.1 i Petrel. Geološki model dobiven modeliranjem omogućio je prepoznavanje glavnih i sporednih rasjeda, geoloških struktura, strukturnih zamki i utjecaj rasjeda na oblikovanje ploha u podzemlju.

Za izradu modela u računalnom programu Petrel mogu se koristiti različiti parametri (dubina zaliježanja, efektivna debljina, poroznost i gustoća CO<sub>2</sub>). U tom slučaju, dobiveni model može se primijeniti prilikom prostornog planiranja i usmjeravanja skladištenja ugljičnog dioksida (Podbojec i Cvetković, 2016).

Korištenjem računalnog programa Petrel, Otoo i Hodgetts (2021) koriste stratigrafske simulacijske metode čime predviđaju litofacijese, poroznost i propusnost u modelu ležišta.

U ovom radu korišten je računalni program Petrel za izradu 3D hidrogeološkog modela. Dijagram tijeka rada prikazan je na slici 4.1.



Slika 4.1. Dijagram tijeka rada.

#### **4.1. Prikupljanje podataka**

Prvi korak sastojao se od prikupljanja podataka. Bilo je potrebno proučiti postojeću literaturu u kojoj postoje litološki profili bušotina koje je bilo moguće koristiti za izradu hidrogeološkog modela. Literatura obuhvaća različite elaborate, tehničke izvještaje, a dio je preuzet iz fonda stručne dokumentacije Vinkovačkog vodovoda i kanalizacije te baze podataka EGPV-a (Evidencija i gospodarenje podzemnim vodama). Bušotine korištene za izradu modela, zajedno s pripadajućim dubinama bušenja i izvor odakle su preuzeti prikazani su u tablici 4.1.

Tablica 4.1. Popis bušotina korištenih pri izradi modela.

Naziv bušotine	Tip bušotine	Dubina bušenja (m)	Literaturna referenca	Naziv bušotine	Tip bušotine	Dubina bušenja (m)	Literaturna referenca
AnNB-1	zdenac	74	Nakić i Žugaj, 2007	VI-2-B-86	zdenac	86	EGPV, 2003
B-1 (Županja grad)	zdenac	122,5	Nakić et al., 2005	VI-2-B-97	zdenac	77	EGPV, 2003
B-11 (KaNB-6)	zdenac	112	EGPV, 2003	VI-3-B-23	piezometar	97,5	EGPV, 2003
B-2 (Bošnjaci)	zdenac	120	Nakić et al., 2005	VI-3-B-24	piezometar	81	EGPV, 2003
B-2 (Stari_Jank)	zdenac	88	Nakić i Žugaj, 2007	VI-3-B-27	piezometar	94,5	EGPV, 2003
B-3 (Ivan-kovo_Grac)	zdenac	80	Vinkovački vodovod i kanalizacija d.o.o.	VI-3-B-29	piezometar	86	EGPV, 2003
B-4/1 (Vin-3Z)	zdenac	77	EGPV, 2003	VI-3-P-10	piezometar	55	EGPV, 2003
B-5 (Vin-2Z)	zdenac	95	Vinkovački vodovod i kanalizacija d.o.o.	VI-3-P-11	piezometar	55	EGPV, 2003
BV-16	zdenac	70	Nakić i Žugaj, 2008	VI-3-P-16	piezometar	77,6	EGPV, 2003
BV-9Z	zdenac	124	Nakić i Žugaj, 2008	VI-3-P-21	piezometar	82,1	EGPV, 2003
BV-9Z/1	zdenac	124	Čulinović i Čulinović, 2015	VI-3-P-23	piezometar	80,4	EGPV, 2003
IB-1Z	zdenac	125	Nakić i Žugaj, 2008	VI-3-P-26	piezometar	68	EGPV, 2003
MkNB-1	zdenac	80	Nakić et al., 2006	VI-3-P-28	piezometar	85,5	EGPV, 2003
MrNB-1/1	zdenac	120	Beroš, 2016	VI-3-P-29	piezometar	80	EGPV, 2003
Ni_SC_1Z	zdenac	95	EGPV, 2003	VI-3-P-32	piezometar	55	EGPV, 2003
Ot_Skor_1Z	zdenac	70	Vinkovački vodovod i kanalizacija d.o.o.	VI-3-P-34	piezometar	82	EGPV, 2003
OtNB-1	zdenac	68	Vinkovački vodovod i kanalizacija d.o.o.	VI-4-B-1	zdenac	125	EGPV, 2003
OTNB-1Z	zdenac	70,5	Beroš F. i Beroš H., 2017	VI-4-B-13	zdenac	57	EGPV, 2003

Nastavak Tablice 4.1.

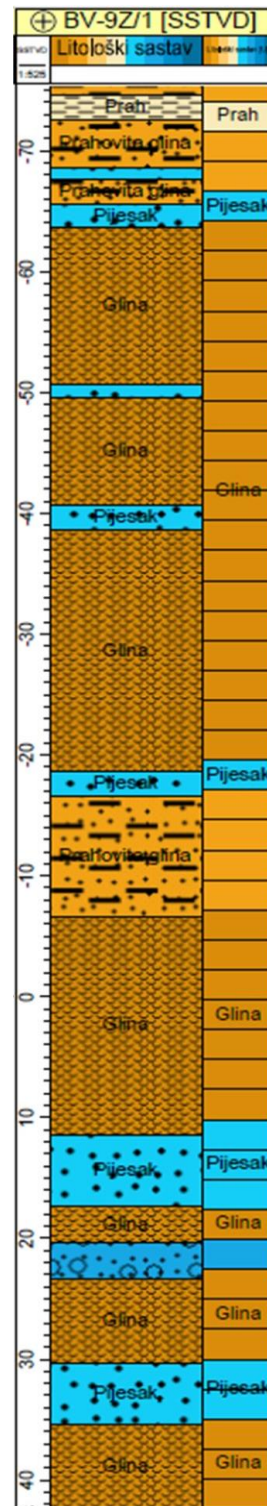
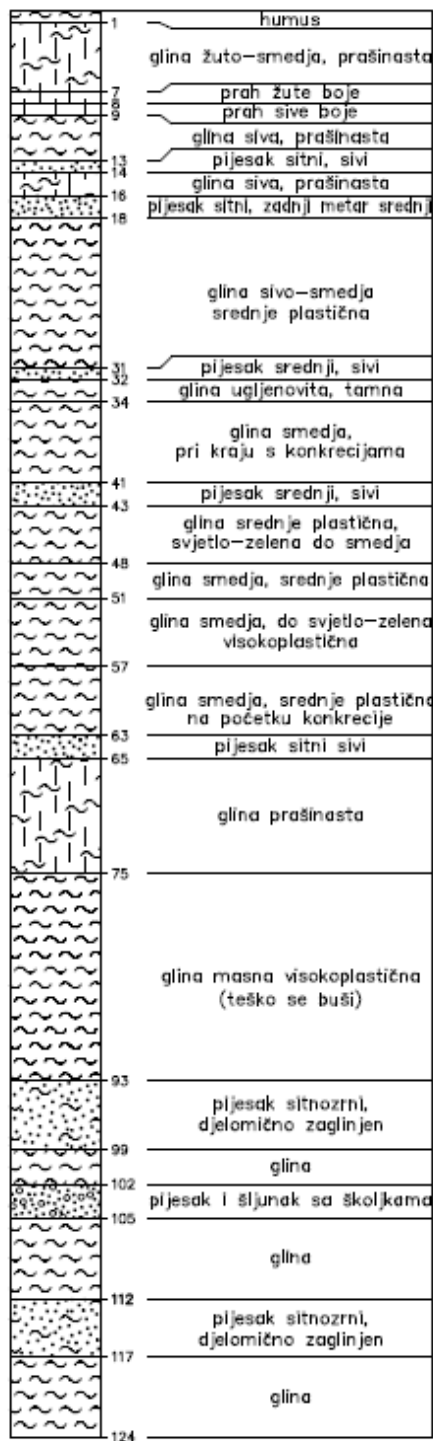
Naziv bušotine	Tip bušotine	Dubina bušenja (m)	Literaturna referenca	Naziv bušotine	Tip bušotine	Dubina bušenja (m)	Literaturna referenca
PrNB-1/1	zdenac	103,5	Šimundić i Presečan, 2016	VI-4-B-24	zdenac	90	EGPV, 2003
Sla 1 A-Z	zdenac	86	Nakić i Žugaj, 2007	VI-4-B-25	zdenac	94	EGPV, 2003
SPB-11-05	piezometar	89,3	Kopić, 2016	VI-4-B-36	zdenac	72	EGPV, 2003
SPB-5-05	piezometar	82,9	Kopić, 2016	VI-4-B-7	zdenac	65,5	EGPV, 2003
StMN-1Z	zdenac	65	Nakić i Žugaj, 2007	VI-4-B-8	zdenac	72	EGPV, 2003
Tov_Ban_1Z	zdenac	91	Nakić i Žugaj, 2008	VI-4-P-12	piezometar	50	EGPV, 2003
VI-1-B-16	zdenac	57	EGPV, 2003	VI-4-P-15	piezometar	53,9	EGPV, 2003
VI-1-B-23	zdenac	50	EGPV, 2003	VI-4-P-22	piezometar	51	EGPV, 2003
VI-1-B-25	zdenac	100	EGPV, 2003	VI-4-P-60	piezometar	64	EGPV, 2003
VI-1-B-26	zdenac	75	EGPV, 2003	VU-1-B-27	zdenac	91	EGPV, 2003
VI-1-B-7	zdenac	73	EGPV, 2003	VU-3-B-1	zdenac	77,5	EGPV, 2003
VI-1-B-9	zdenac	51	EGPV, 2003	VU-3-B-15	zdenac	77	EGPV, 2003
VI-1-P-29	piezometar	62	EGPV, 2003	VU-3-B-28	zdenac	70	EGPV, 2003
VI-1-P-31	piezometar	96	EGPV, 2003	VU-3-P-2	piezometar	94	EGPV, 2003
VI-1-P-43	piezometar	60	EGPV, 2003	VU-3-P-5	piezometar	96,3	EGPV, 2003
VI-2-B-12	zdenac	106	EGPV, 2003	VU-4-B-1	zdenac	91,9	EGPV, 2003
VI-2-B-16	zdenac	62,9	EGPV, 2003	Zor-1/18	zdenac	72	Šimundić i Tolarić, 2019
VI-2-B-17	zdenac	129	EGPV, 2003	ZS-2	zdenac	82,8	Kopić, 2016
VI-2-B-25	zdenac	60	EGPV, 2003	ZSe-1-03	zdenac	95	Nakić i Žugaj, 2006
VI-2-B-28	zdenac	96,2	EGPV, 2003	ZSM-1/20	zdenac	75	Šimundić et al., 2020
VI-2-B-55	zdenac	96	EGPV, 2003	ZSV-1/14	zdenac	92	Čulinović i Čulinović, 2014
VI-2-B-83	zdenac	93,5	EGPV, 2003	ZT-2/18	zdenac	80	Šimundić i Tolarić, 2018
VI-2-B-85	zdenac	100	EGPV, 2003	ZT-3/19	zdenac	82	Šimundić et al., 2019

## 4.2. Priprema podataka

Drugi korak odnosio se na pripremu podataka. Svaka bušotina litološki je opisana na specifičan način stoga je bilo potrebno sve svesti na istu razinu. Kako bi izrada modela, a i sama interpretacija bila olakšana, litologija je pojednostavljena na osam litoloških jedinica: glina, prahovita glina, glinoviti prah, prah, pijesak, pjeskoviti šljunak, šljunkoviti pijesak i šljunak. Litološke jedinice glina, prahovita glina, glinoviti prah i prah su slabopropusne naslage. Pijesak, pjeskoviti šljunak, šljunkoviti pijesak i šljunak predstavljaju propusne naslage čija propusnost raste redom kako su navedene. Primjer litološko-tehničkog profila zdenca i njegov prikaz u Petrelu vidljiv je na slici 4.2. Granice naslaga nisu identične zato što je rađeno raslojavanje modela na veći broj ćelija (objašnjeno u 4.3. poglavlju). Oznake litoloških jedinica u Petrelu prikazana su u tablici 4.2.



LITOLOŠKI PROFIL



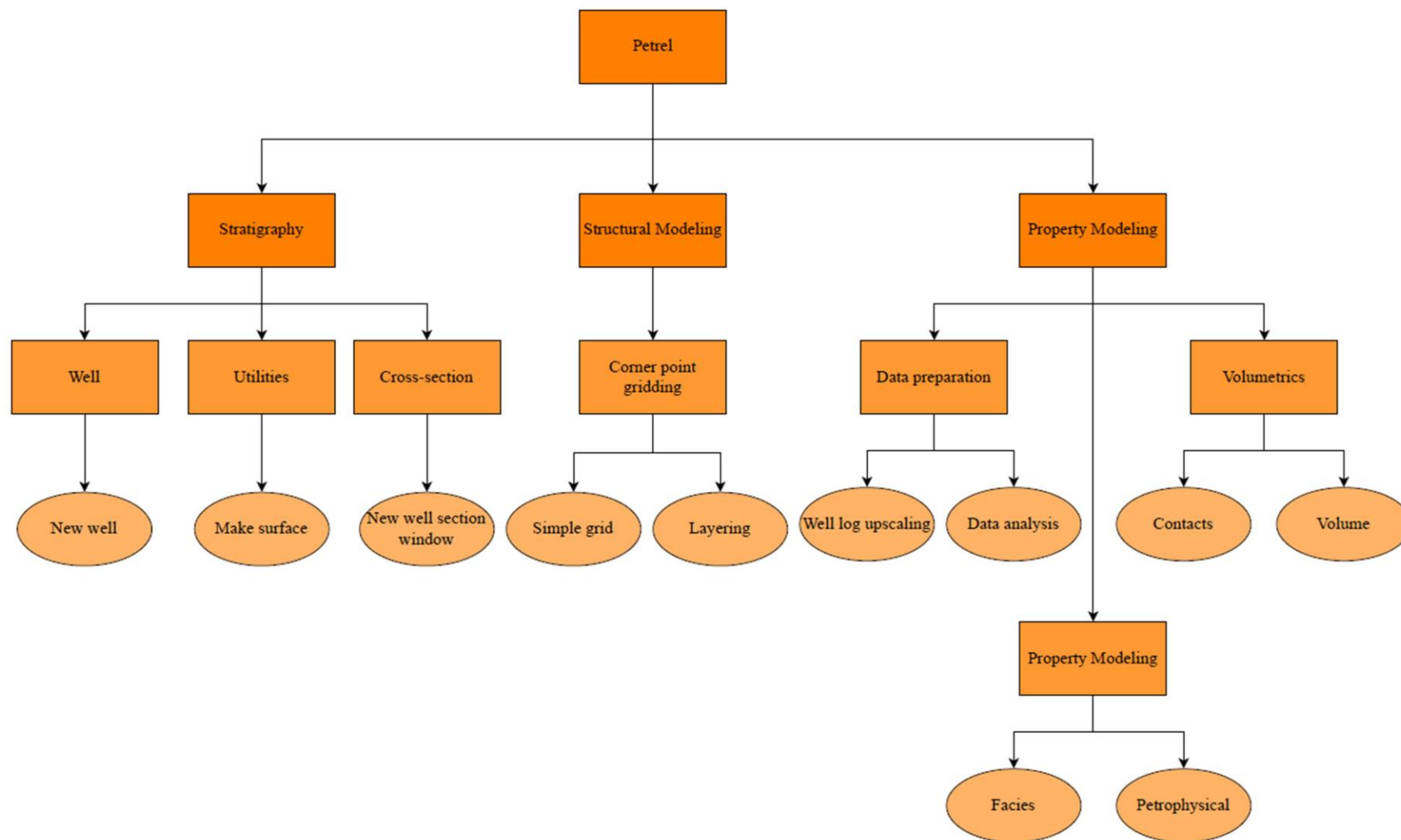
Slika 4.2. Litološko-tehnički profil zdenca BV-9Z/1 (Čulinović i Čulinović, 2015) i prikaz u računalnom programu Petrel.

Tablica 4.2. Oznaka litoloških jedinica u računalnom programu Petrel.

Litološka jedinica	Oznaka	Boja
Glina	0	
Prahovita glina	1	
Glinoviti prah	2	
Prah	3	
Pijesak	4	
Šljunkoviti pijesak	5	
Pjeskoviti šljunak	6	
Šljunak	7	

### 4.3. Izrada hidrogeološkog modela i variograma

Proces izrade s korištenim naredbama prikazan je na slici 4.3. U prvom koraku ubačeni su svi prikupljeni podaci te je za svaku bušotinu definirana X, Y i Z koordinata, dubina bušenja i litološki sastav.

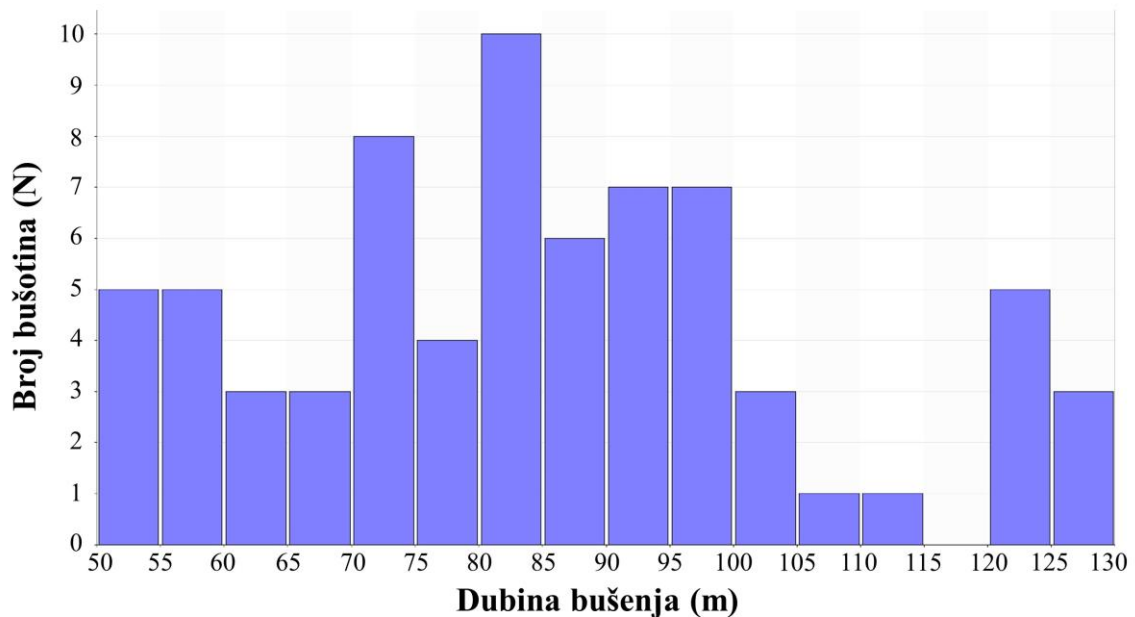


Slika 4.3. Naredbe korištene u računalnom programu Petrel.

Iz izbornika „*Stratigraphy*“ korišteno je nekoliko naredbi. Naredbom „*New well*“ unesena je svaka bušotina pojedinačno. S obzirom da Z koordinata nije bila poznata za svaku bušotinu, očitana je nakon unesene topografije terena. Naredbom „*Make surface*“ izrađena je podina modela na temelju dubine bušenja. Kako ne bi došlo do naglih promjena u nadmorskim visinama podine te kako konačna ploha ne bi imala nagle skokove, određene bušotine nisu korištene pri određivanju plohe podine. U većini slučajeva radilo se o situacijama gdje su se na vrlo malim udaljenostima pojavile dvije bušotine sa različitim dubinama bušenja. U tom slučaju za izradu plohe podine korištena je dublja bušotina. Popis bušotina zajedno s dubinama bušenja koje su korištene u izradi podine prikazani su na tablici 4.3. Histogram dubina bušenja koji je korišten u Petrelu prikazan je na slici 4.4. Na osi apscisa nanescena je dubina bušenja, a na ordinati prikazan je broj bušotina.

Tablica 4.3. Bušotine korištene za izradu podine.

Naziv buštine	Dubina bušenja (m)	Naziv bušotine	Dubina bušenja (m)	Naziv bušotine	Dubina bušenja (m)
AnNB-1	74	VI-1-B-26	75	VI-3-P-32	55
B-1	122,5	VI-1-B-7	73	VI-3-P-34	82
B-11 (KaNB-6)	112	VI-1-B-9	51	VI-4-B-1	125
B-2	88	VI-1-P-29	62	VI-4-B-13	57
B-2	120	VI-1-P-31	96	VI-4-B-24	90
B-3	80	VI-1-P-43	60	VI-4-B-36	72
B-5 (Vin-2Z)	95	VI-2-B-12	106	VI-4-B-7	65,5
BV-16	70	VI-2-B-17	129	VI-4-P-12	50
BV-9Z	124	VI-2-B-28	96,2	VI-4-P-15	53,9
BV-9Z/1	124	VI-2-B-55	96	VI-4-P-22	51
IB-1Z	125	VI-2-B-85	100	VI-4-P-60	64
MrNB-1/1	120	VI-2-B-86	86	VU-1-B-27	91
Ni_SC_1Z	95	VI-3-B-23	97,5	VU-3-B-15	77
Ot_Skor_1Z	70	VI-3-B-24	81	VU-3-B-28	70
OtNB-1	68	VI-3-B-27	94,5	VU-3-P-2	94
OTNB-1Z	70,5	VI-3-B-29	86	VU-4-B-1	91,9
PrNB-1/1	103,5	VI-3-P-10	55	Zor-1/18	72
Sla 1 A-Z	86	VI-3-P-11	55	ZS-2	82,8
SPB-11-05	89,3	VI-3-P-16	77,6	ZSe-1-03	95
SPB-5-05	82,9	VI-3-P-21	82,1	ZSM-1/20	75
Tov_Ban_1Z	91	VI-3-P-23	80,4	ZSV-1/14	92
VI-1-B-16	57	VI-3-P-26	68	ZT-2/18	80
VI-1-B-23	50	VI-3-P-28	85,5	ZT-3/19	82
VI-1-B-25	100	VI-3-P-29	80		



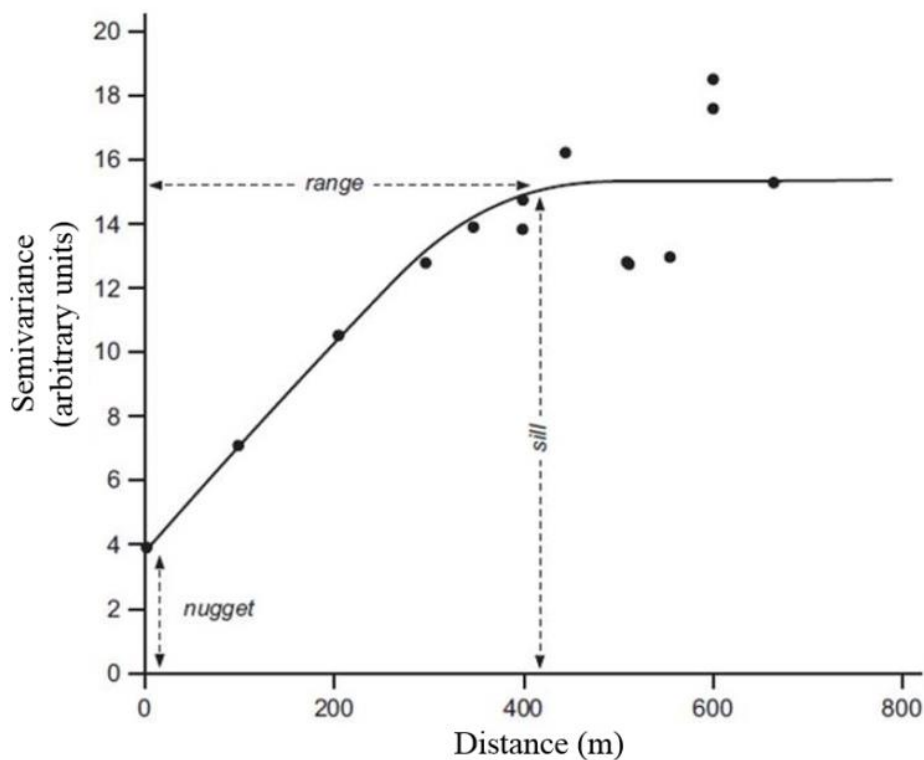
Slika 4.4. Histogram konačnih dubina bušotina.

Prije izrade modela, morala se napraviti mreža. 3D mreža bez rasjeda radi se pomoću naredbe „*Make simple grid*“ unutar izbornika „*Structural Modeling*“. Rezolucija mreže je 50 x 50 m. „*Layering*“ – tj. raslojavanje modela na veći broj ćelija napravljen je uniformno na pedeset slojeva za područje cijelog modela. Prije interpolacije modela s litologijom, korištena je naredba „*Well log upscaling*“. Time se postojeća 3D mreža, za svaku bušotinu, popunjava sa zadanom vrijednosti (u ovom slučaju litološkim sastavom). Naredba „*Dana analysis*“ omogućuje kontrolu kvalitete podataka te se njome mogu pripremiti podaci tako da „najtočnije“ popune model. Rađeni su variogrami za svaku litološku jedinicu posebno s obzirom da različiti facijesi pretpostavljeno imaju prostorno različitu distribuciju. Kao primjer, šljunci i pijesci se talože kao kanalna tijela u okolišu meandrirajuće rijeke dok gline i prahove se očekuje kao sedimente poplavne ravnice te je za očekivati da će im prostorna distribucija biti bitno različita.

Variogram je krivulja koja predstavlja korelaciju podataka s udaljenošću. Matheron (1963) opisuje da se, eksperimentalno, variogram može dobiti na način da se na osi apscisa nanese udaljenost „*h*“, a na ordinati srednja vrijednost kvadrata razlike između vrijednosti točaka opažanja u bušotinama odabranih na udaljenosti „*d*“ jedan od drugog. Variogram predstavlja rastuću funkciju udaljenosti „*h*“ jer povećavanjem međusobne udaljenosti točaka opažanja, njihov međusobni utjecaj jedne na drugu se smanjuje (Matheron, 1963).

Variogram i semivariogram su sinonimi kako piše Malvić (2008), te navodi da semivariogramska krivulja ima nekoliko parametara (slika 4.5.):

- Odstupanje (engl. nugget) – sjecište ordinate i variogramske krivulje. Gotovo svi variogrami imaju odstupanje, a ono predstavlja razliku u vrijednostima vrlo bliskih uzoraka. Može se ukloniti ili smanjenjem površine ili povećanjem broja uzoraka.
- Prag ili varijanca (engl. sill) – razlika između pojedinačnih vrijednosti i srednje vrijednosti skupova podataka. Krivulja semivariograma oscilira oko praga nakon što ga dosegne.
- Doseg (engl. range) – vrijednost nakon koje više ne postoji prostorna korelacija podataka.
- Udaljenost ili korak (engl. distance) – vrijednost na kojoj se podaci međusobno uspoređuju.
- Odmak (engl. lag) – veličina koja se slobodno određuje i ovisi o realnim parametrima stoga nije prikazana na slici.



Slika 4.5. Parametri semivariograma (<https://www.aspexit.com>).

Anizotropija je promjena fizikalnih ili numeričkih svojstva u različitim smjerovima. Svaki variogram ima nekoliko svojstava, a jedan od najvažnijih je anizotropija što je ujedno vrlo česta pojava i u hidrogeološkim istraživanjima. Na temelju semivariogramske analize moguće je odrediti smjer najvećeg i najmanjeg kontinuiteta. Postoji i osciliranje kao istaknuto svojstvo na variogramskim krivuljama koje indicira da ne postoji prostorna ovisnost podataka. Ekstremni su vrlo visoke i niske vrijednosti na krivulji, te se javljaju zbog premalog broja ulaznih podataka (Malvić, 2008).

Postoje različiti teorijski modeli koji su matematička aproksimacija eksperimentalnih variogramskih modela poput sfernog, eksponencijalnog, Gaussovog, linearnog i logaritamskog modela. Najčešće upotrebljavani modeli u geološkoj interpretaciji su sferni, eksponencijalni i Gaussov (Malvić, 2008).

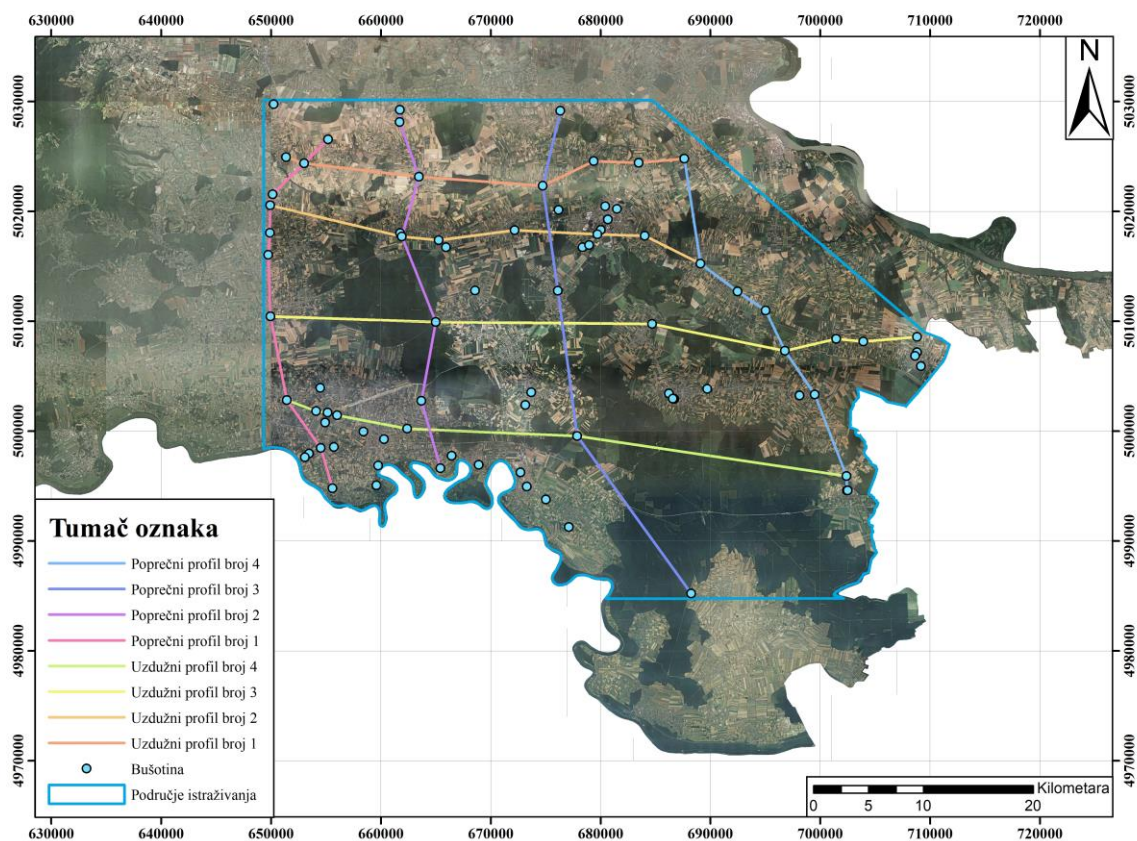
Zbog toga što su geološki podaci najčešće anizotropni, potrebno je računati variograme za različite smjerove, odnosno minimalno za vertikalni i horizontalni smjer. U Petrelu tako postoji „*Major direction*“ i „*Minor direction*“ u horizontalnoj ravnini, a „*Vertical direction*“ u vertikalnoj. „*Major direction*“ definira smjer u kojem točke imaju najjaču korelaciju. „*Minor direction*“ okomit je na „*Major direction*“ (Schlumberger Petrel, 2020).

Nakon variogramske analize, naredbom „*Facies*“ 3D mreža modela ispunjena je litološkim sastavom prema zadanim variogramskim parametrima. Isprobano je nekoliko različitih situacija, s različitim vertikalnim dosegom (1, 5 i 10 m), no odlučeno je kako rezultate najbližnje očekivanim stanjem u prirodi daju variogramski parametri s vertikalnim dosegom od dva m. Metoda interpolacije korištena za litološke facijese bila je indikatorski kriging.

Za kategorizaciju ležišta bitna je raspodjela litofacijesa kako bi se dobile informacije o sedimentacijskom okolišu, oblicima i granicama ležišta ugljikovodika. Indikatorski kriging je metoda koja se često koristi za kartiranje litofacijesa. Temelji se na indikatorskoj transformaciji prilikom koje se mjereni podaci transformiraju u indikatorske vrijednosti (koristeći granične vrijednosti) u varijable 0 ili 1, ovisno je li određeni litofacijes prisutan ili odsutan. Dobivene karte prikazuju vjerojatnost da je kartirana varijabla manja (ili veća) od definirane granične vrijednosti (Novak Zelenika, 2013).

Nakon izrađenog modela, konstruirani su hidrogeološki profili koristeći naredbu „*New well section window*“. Napravljena su četiri uzdužna i četiri poprečna profila. Kod svih profila horizontalna os prilagođena je pružanju profila, dok je vertikalna os trideset puta razvučena. Njihov prostorni smještaj prikazan je na slici 4.6.





Slika 4.6. Prostorni smještaj profila.

Naredba „*Petrophysical*“ omogućila je ispunjavanje modela s kontinuiranim podacima o poroznosti. U tablici 4.4. navedene su vrijednosti efektivne poroznosti za svaki litološki član (Urumović, 2013).

Tablica 4.4. Efektivna poroznost litoloških jedinica (prema Urumović, 2013).

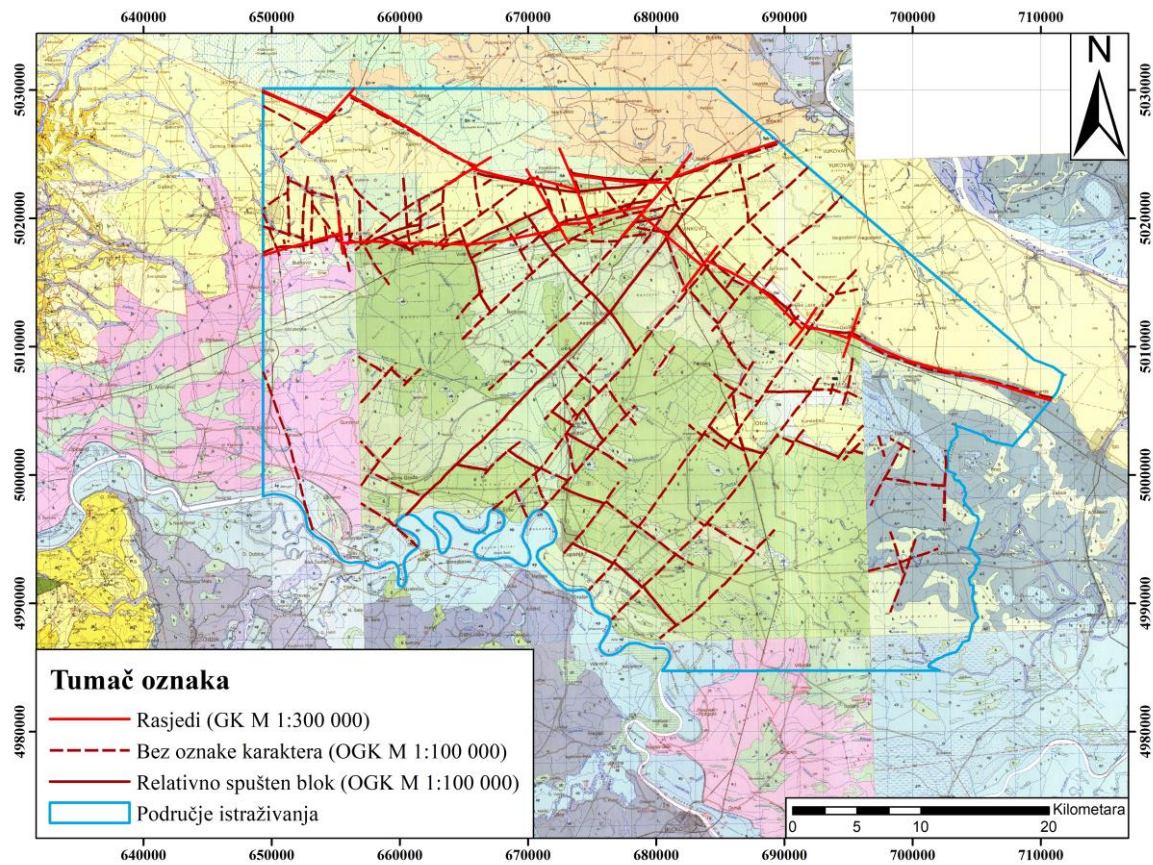
Litološka jedinica	Efektivna poroznost ( $m^3/m^3$ )
Pijesak	0,15
Šljunkoviti pijesak	0,2
Pjeskoviti šljunak	0,25
Šljunak	0,3

Računanje volumena fluida unutar Petrela ima vrlo čestu uporabu kako bi se izračunale potencijalne geološke i pridobive rezerve u prvom redu ugljikovodičnih fluida. Naredbom „*Make Contacts*“ definiran je kontakt iznad kojeg se računa volumen unutar modela, a naredba „*Volume*“ omogućila je izračun bruto volumena i volumena pora. Sami proces za ovu namjenu bitno je pojednostavljen te je u proračun volumena uključen volumen svih ćelija unutar modela (bruto volumen) te volumen ćelija koje su definirane pojedinim propusnim facijesom umanjeno za postotak šupljina pojedinog facijesa prikazan u tablici 4.4. (volumen pora).

## 5. Rezultati i rasprava

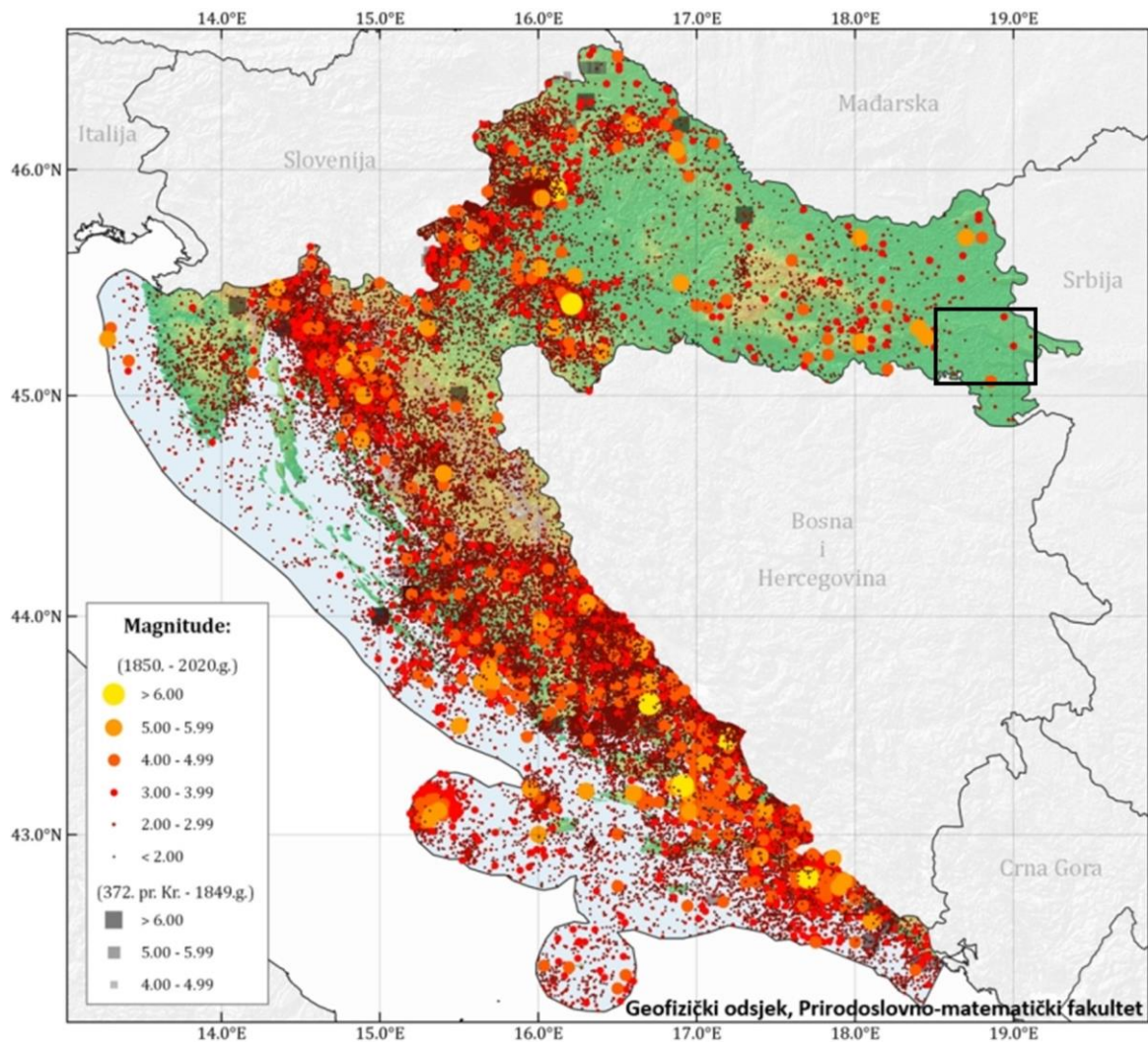
### 5.1. Analiza rasjeda

Na temelju Osnovne geološke karte, listovi Vinkovci (Brkić et al., 1989), Bačka Palanka (Čičulić-Trifunović i Galović, 1984), Bijeljina (Vrhovčić et al., 1984), Brčko (Buzaljko et al., 1985), Našice (Boško i Jamičić, 1989), Osijek (Magaš, 1987) i Slavonski Brod (Šparica et al., 1986), M 1:100 000 ucrtani su rasjedi (slika 5.1.) tamnije crvenom bojom. Velika većina rasjeda nema oznaku karaktera (ili su pokriveni ili su pretpostavljeni), dok ostali rasjedi predstavljaju relativno spušten blok. Na temelju Geološke karte M 1:300 000 (HGI, 2009) također su ucrtani rasjedi crvenom bojom, predstavljaju relativno spuštene pokrivene blokove (slika 5.1.). Generalno se položaji rasjeda s Osnovne geološke karte, listovi Vinkovci (Brkić et al., 1989), Bačka Palanka (Čičulić-Trifunović i Galović, 1984), Bijeljina (Vrhovčić et al., 1984), Brčko (Buzaljko et al., 1985), Našice (Boško i Jamičić, 1989), Osijek (Magaš, 1987) i Slavonski Brod (Šparica et al., 1986) poklapaju s rasjedima na Geološkoj karti (HGI, 2009). Obje karte, to jest položaji rasjeda s obiju karata uspoređene su kartom seizmičnosti (Herak et al., 1996; Markušić i et al., 1998; Ivančić et al., 2002, 2006, 2018) prikazana na slici 5.2., crni pravokutnik prikazuje područje istraživanja. Na području istraživanja ne postoji izražena seizmička aktivnost, litološki kontinuitet vodonosnih slojeva nije prekinut duž rasjednih zona Đakovačko-vinkovačkog i Vukovarskog ravnjaka (Bačani, 1997), te model ne zahvaća dovoljno velike dubine da bi seizmička aktivnost utjecala na sedimentologiju naslaga. S obzirom na navedeno, u interpretaciji modela rasjedi nisu uzeti kao bitan faktor u distribuciji litološkog sastava.



Slika 5.1. Položaji rasjeda na Osnovnoj geološkoj karti, listovi Vinkovci (Brkić et al., 1989), Bačka Palanka (Čičulić-Trifunović i Galović, 1984), Bijeljina (Vrhovčić et al., 1984), Brčko (Buzaljko et al., 1985), Našice (Boško i Jamičić, 1989), Osijek (Magaš, 1987) i Slavonski Brod (Šparica et al., 1986) i Geološkoj karti (HGI, 2009).

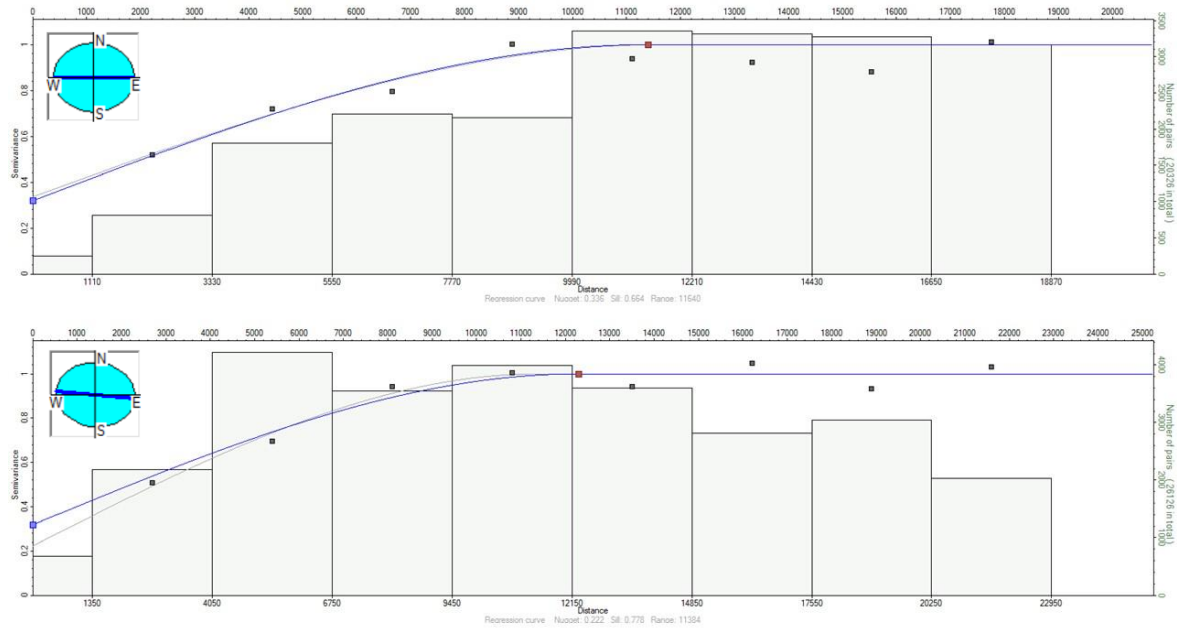




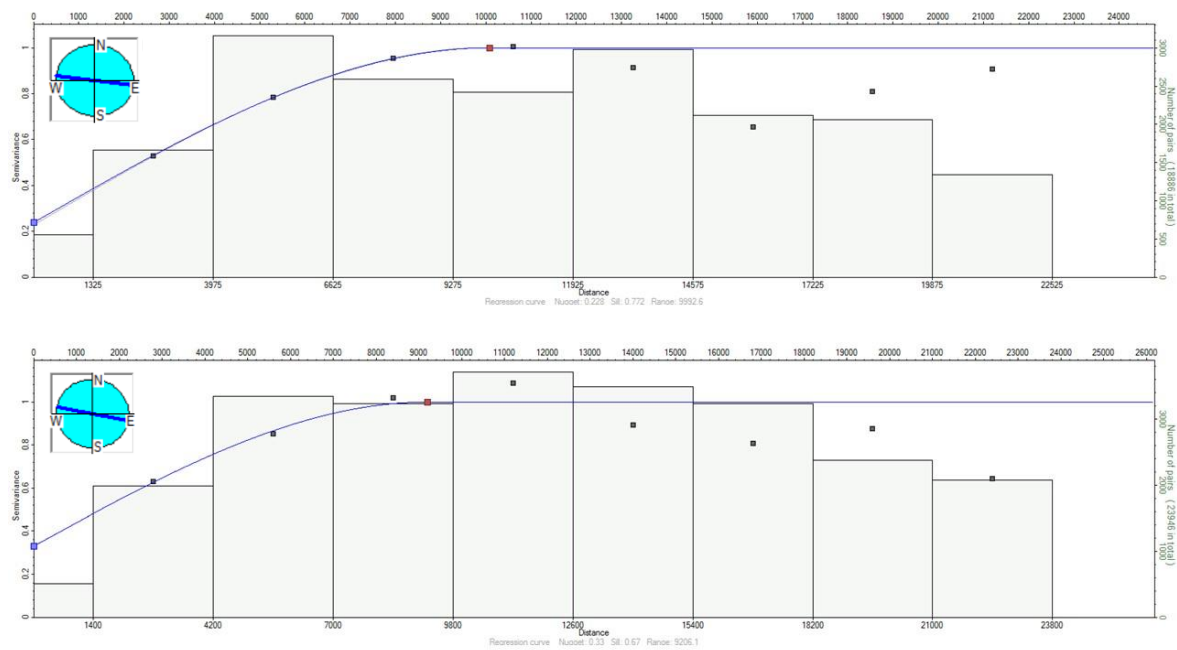
Slika 5.2. Karta seizmičnosti Hrvatske (Herak et al., 1996; Markušić et al., 1998; Ivančić et al., 2002, 2006, 2018).

## 5.2. Analiza variograma

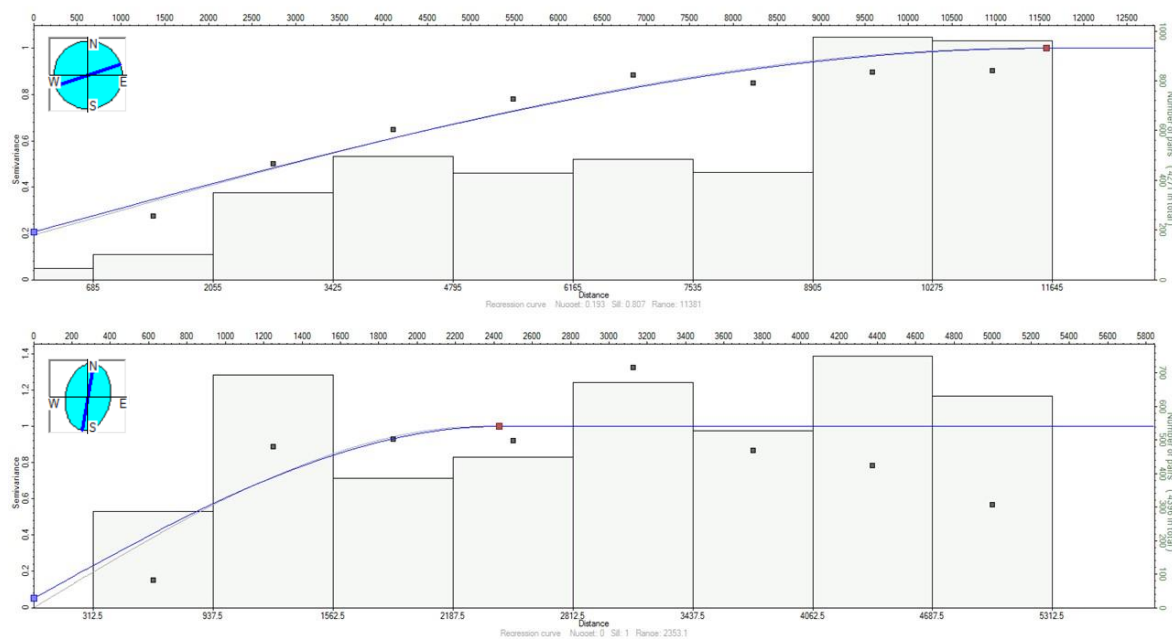
Važnost variogramске analize je već spomenuta u poglavlju 4.3. S obzirom da nisu jednako zastupljene sve litološke frakcije niti je sama litologija područja homogena i izotropna, izrađeno je 130 variograma za svaku litološku jedinicu nakon kojeg je odabran jedan. Uvjeti koje je odabrani variogram morao zadovoljiti bili su da ima što manje odstupanje (manje od 0,5) te što veći doseg gledano u „Major direction“ smjeru. Za sve litološke jedinice zadovoljeni su postavljeni uvjeti. Primjeri variograma prikazani su na slikama 5.3., 5.4., 5.5. i 5.6.



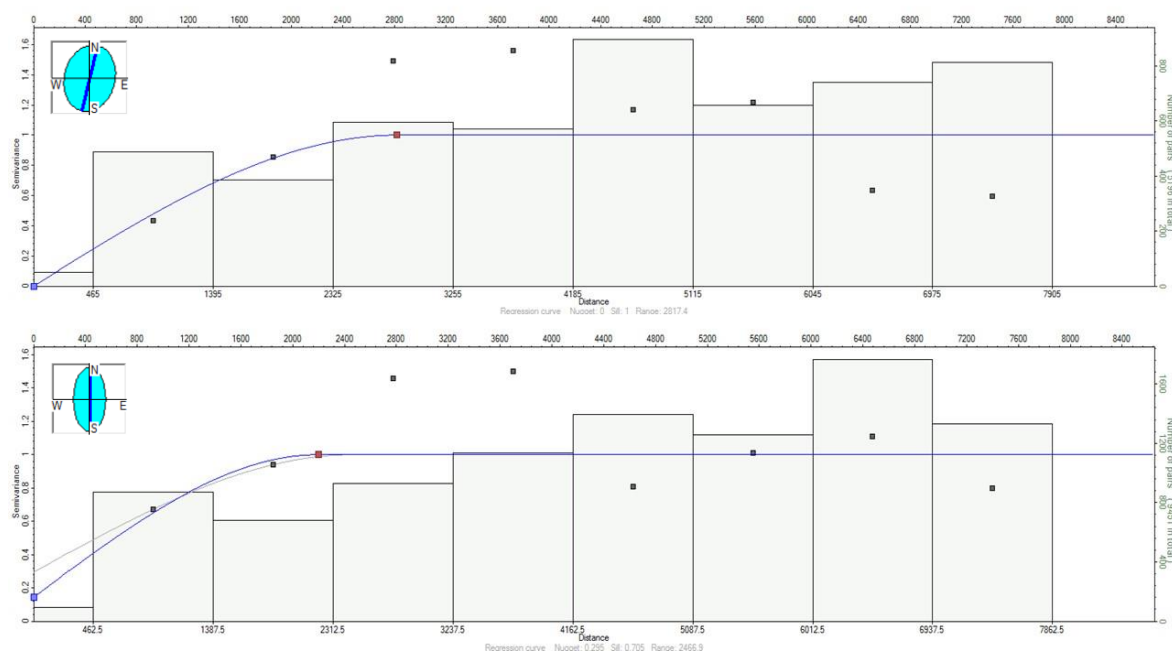
Slika 5.3. Variogrami za litološke jedinice: glina (gore), prahovita glina (dolje).



Slika 5.4. Variogrami za litološke jedinice: glinoviti prah (gore), prah (dolje).



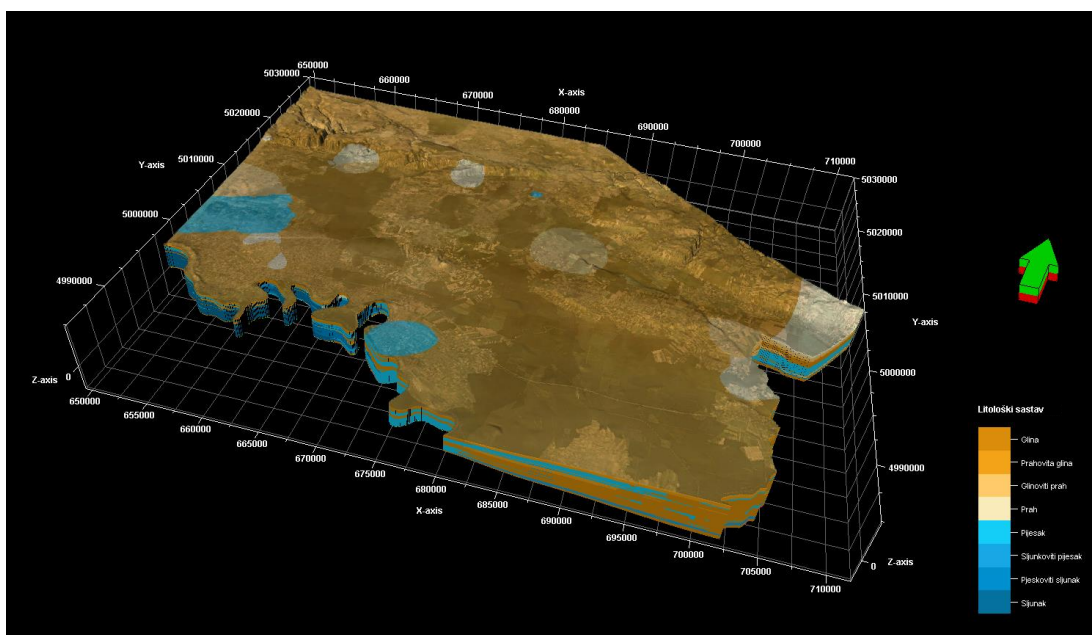
Slika 5.5. Variogrami za litološke jedinice: pijesak (gore), šljunkoviti pijesak (dolje).



Slika 5.6. Variogrami za litološke jedinice: šljunkoviti pijesak (gore), šljunak (dolje).

### 5.3. Izrada 3D modela

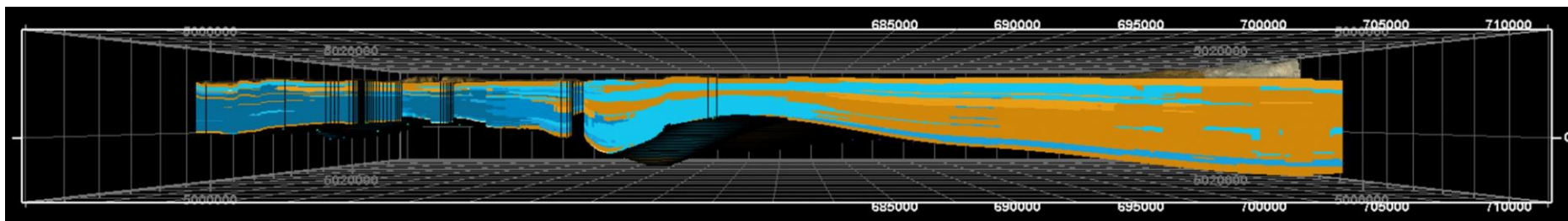
Dobiveni 3D hidrogeološki model prikazan je na slici 5.7. Površina terena izgrađena je uglavnom od slabije propusnih naslaga (glina, prahovita glina, glinoviti prah i prah).



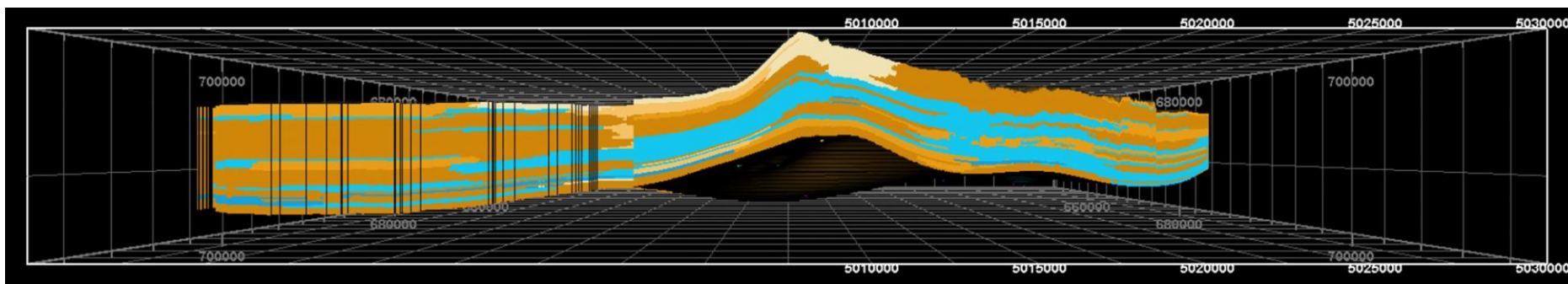
Slika 5.7. 3D hidrogeološki model dobiven u računalnom programu Petrel.

Na južnom presjeku (slika 5.8.) vidljivi su debeli slojevi propusnih naslaga (primarno su to šljunci) koji se idući prema istoku smanjuju, isklinjavaju, prelaze u šljunkovite pijeske, pjeskovite šljunke i naposljetku u pijeske. Dubina modela na južnom presjeku je do 122,5 metra. Broj vodonosnih slojeva opada prateći pružanje profila od zapada (tri sloja) prema istoku (dva ili manje). Na samom istočnom kraju profila uočavaju se sve tanje propusne naslage, prevladavaju slabopropusne, sitnozrnate poput praha i gline.

Istočni presjek (slika 5.9.) zahvaća dubine maksimalno do 124 metra. Na južnom dijelu presjeka prevladavaju slabopropusne naslage (gline, prahovi, prahovite gline, glinoviti prahovi), a idući prema sjeveru povećava se debljina dobropropusnih naslaga (dominantno pijesci). Broj vodonosnih slojeva na južnom dijelu teško je procijeniti s obzirom da su vrlo tanki, dok na sjevernom ih ima minimalno dva.



Slika 5.8. Južni presjek modela.

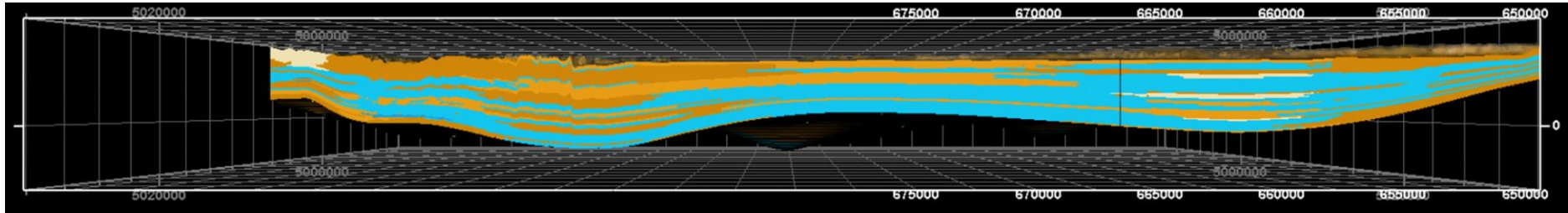


Slika 5.9. Istočni presjek modela.

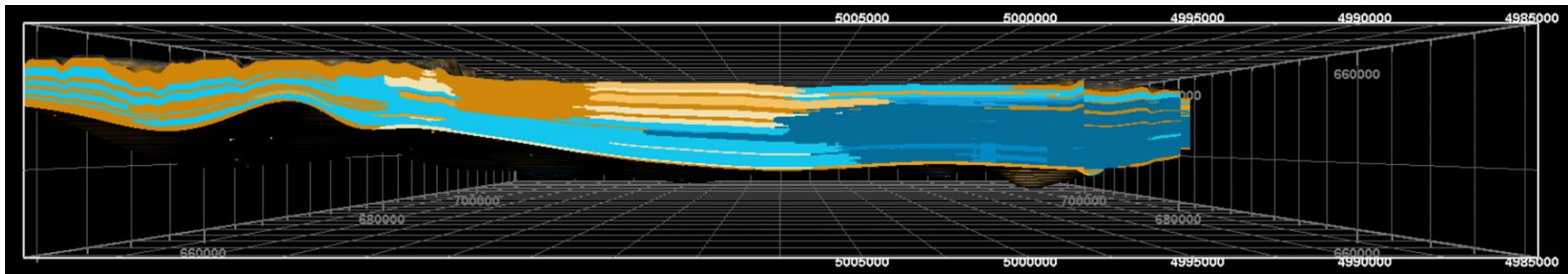


Sjeverni i sjeveroistočni presjek vidljiv je na slici 5.10. Zahvaćene dubine do 125 metara u sjeveroistočnom dijelu, dok je u sjevernom dijelu nisu veće od 96 metara. Na sjeveroistočnom dijelu presjeka mogu se uočiti dva deblja pjeskovita vodonosna sloja čija se debljina smanjuje idući po pružanju profila te treći tanji. Na sjevernom presjeku vidljive su velike debljine propusnih slojeva građenih od pijesaka. Tri su vodonosna sloja s time da im se debljina generalno smanjuje idući prema zapadu. Mogao bi se uočiti i četvrti vodonosni sloj idući prema zapadu duž pružanja presjeka. Slabopropusne naslage u najvećoj mjeri su izgrađene od glina, no mogu se uočiti i proslojci praha.

Zapadni presjek vidljiv je na slici 5.11. te zahvaća dubine do 83 metra. Idući od sjevernog dijela prema južnom uočava se kako propusne naslage prelaze iz pijesaka u šljunke što je očekivano zbog utjecaja rijeke Save na jugu. Broj vodonosnih slojeva varira, od četiri na sjevernom dijelu, do jednog ili dva na samom središnjem dijelu, a na južnom ih je minimalno tri.



Slika 5.10. Sjeverni i sjeveroistočni presjek modela.



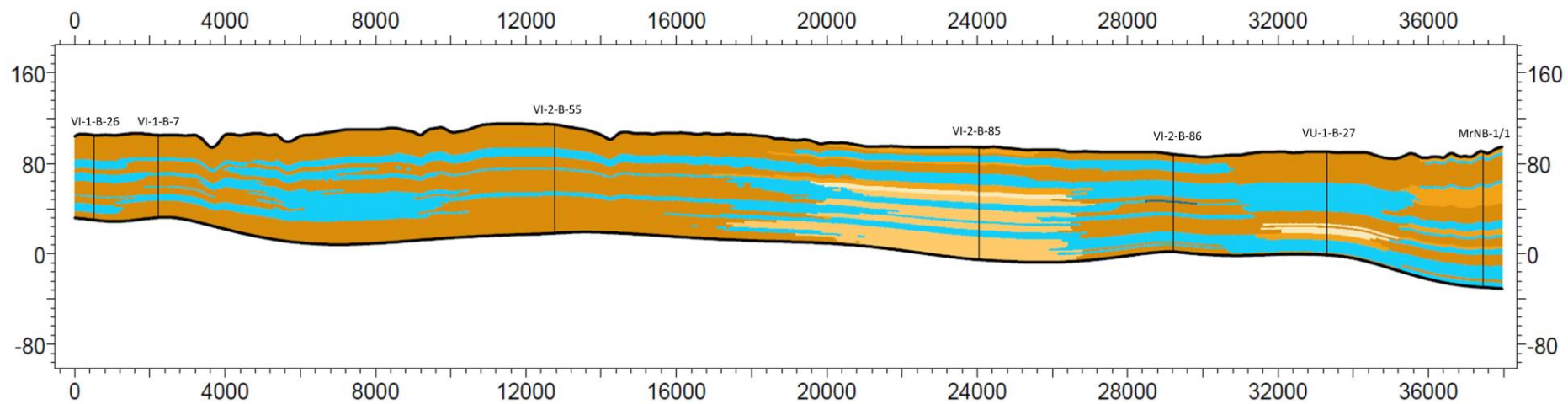
Slika 5.11. Zapadni presjek modela.

#### **5.4. Izrada profila i procjena volumena vodonosnih slojeva**

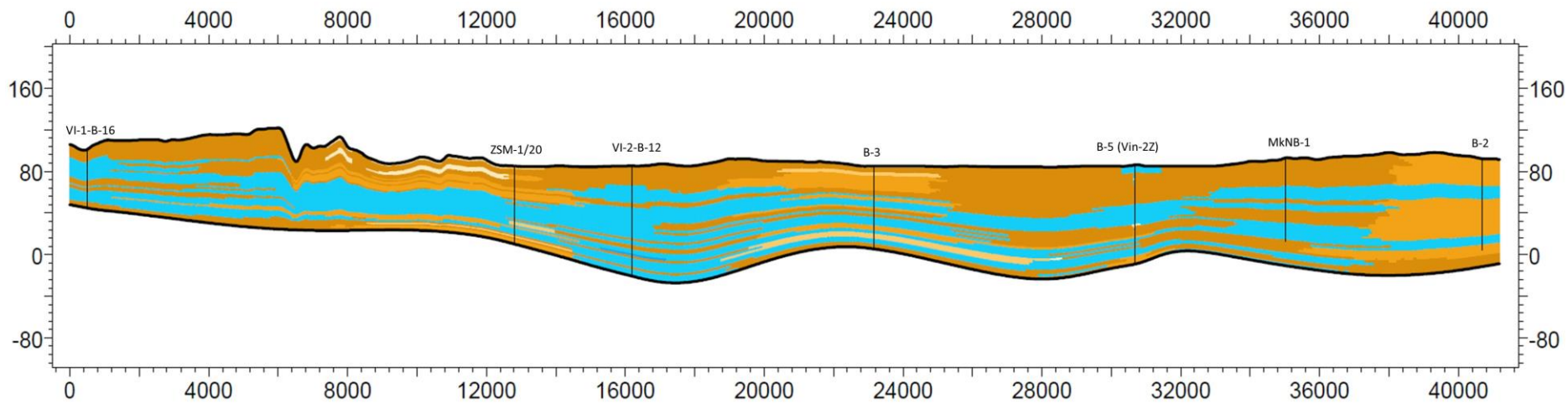
Nakon što je napravljen model, izvučeno je osam profila, četiri uzdužna i četiri poprečna. Na slici 4.6. prikazan je njihov položaj.

Uzdužni profil broj 1 (slika 5.12.) nalazi se na samom sjeveru područja istraživanja (slika 4.6.). Na zapadnom dijelu profila broj vodonosnih slojeva je tri, a idući prema istoku mijenja se njihova debljina (jedino u središnjem dijelu profila uočava se četvrti vodonosni sloj). Propusne naslage čine pijesci, dok nepropusne gline i prahovi. Ukupne debljine vodonosnih naslaga na zapadnom dijelu profila iznose od oko 30 m do 38 m, u središnjem dijelu iznose od oko 34 m do 49 m, a na samom istočnom dijelu profila ukupna debljina iznosi preko 35 m.

Uzdužni profil broj 2 prikazan je na slici 5.13. Na zapadnom dijelu ima dva vodonosna sloja, ponegdje četiri, a njihova debljina prema istoku varira. Ukupna debljina naslaga na zapadnom dijelu profila iznosi od oko 20 m do 30 m, s tim da se izdvaja jedan debeli pjeskoviti sloj od oko 25 m. U središnjem dijelu profila ukupna debljina vodonosnih naslaga iznosi od oko 40 m do čak 70 m (u najdubljem dijelu profila), dok na istočnom dijelu iznosi oko 38 m. U najdubljem dijelu profila mogu se uočiti čak šest vodonosnih sloja. Pijesci predstavljaju propusne naslage, dok slabopropusne naslage su najvećoj mjeri izgrađene od glina, glinovitog praha i prahovite gline, a ponegdje se nalaze proslojci praha.



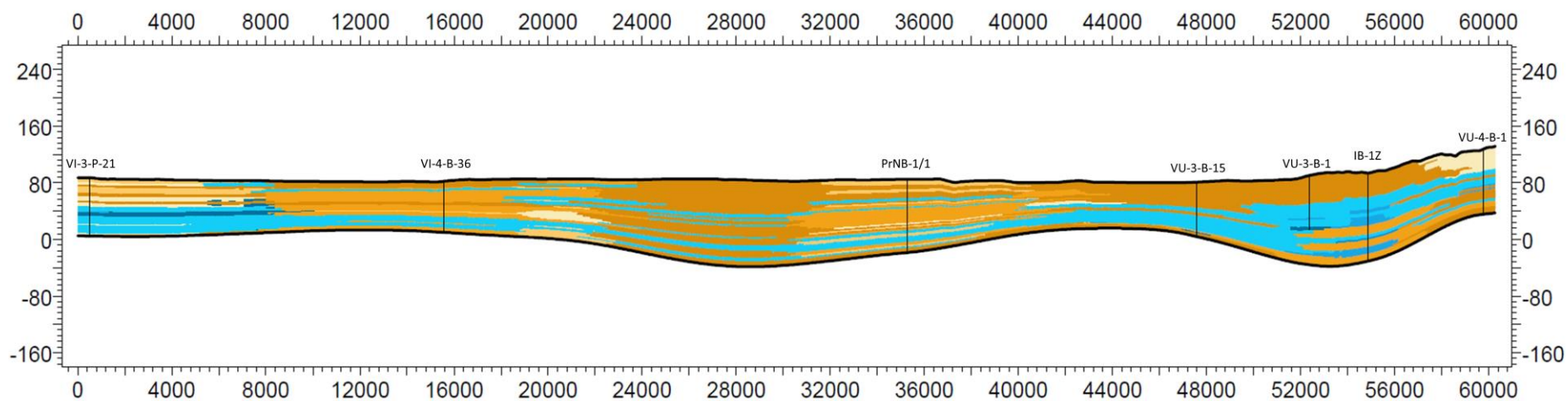
Slika 5.12. Uzdružni profil broj 1.



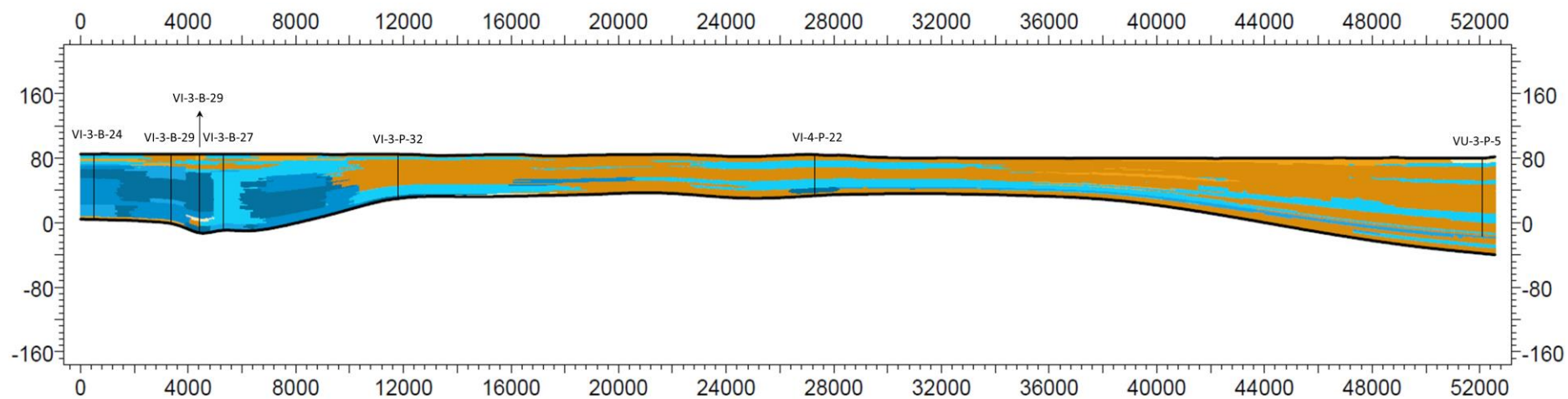
Slika 5.13. Uzdružni profil broj 2.

Na zapadnom dijelu uzdužnog profila broj 3, vidljivog na slici 5.14., uočavaju se proslojci šljunka unutar pijeska. Pojavljuju se i prahovi, prahovite gline i glinoviti prahovi, dok idući prema istoku isklinjavaju. U središnjem dijelu profila propusne naslage su tanje, no prema istoku im se debljina znatno povećava te se ponovno javljaju proslojci šljunkovitog pijeska, pjeskovitog šljunka i šljunka. Broj vodonosnih slojeva varira od dva do tri na zapadnom dijelu, zatim pet do šest vrlo tankih slojeva u središnjem dijelu, a na samom istoku dva do tri. Ukupna debljina propusnih naslaga na zapadnom dijelu iznosi od oko 17 m do 40 m (na samom zapadu), u središnjem dijelu profila debljine se kreću između 20 i 24 m, a na istočnom dijelu izdvajaju se debljine preko 50 m.

Na slici 5.15. prikazan je uzdužni profil broj 4. Mogu se uočiti velike debljine propusnih naslaga, izrađene od šljunaka, šljunkovitih pijesaka, pjeskovitih šljunaka i pijesaka na samom zapadnom dijelu profila. Idući prema istoku debljina propusnih naslaga se smanjuje, a pretežno su izgrađeni od pijesaka. Profil pokazuje očekivanu situaciju zbog utjecaja rijeke Save na zapadnom dijelu profila (taloženje krupnozrnatih naslaga). Idući prema istoku njen utjecaj slabi, što uvjetuje pojavu slabije propusnih naslaga. Ukupna debljina propusnih naslaga na zapadnom dijelu iznosila je oko 74 m pa do oko 83 m, u središnjem dijelu oko 27 m, a na zapadnom dijelu iznose manje od 30 m. Na zapadnom dijelu profila vidljiva su dva do tri vodonosna sloja od kojih je jedan vrlo velike debljine (oko 70 m). U središnjem dijelu pojavljuju se dva vodonosna sloja manje debljine dok se na samom istoku profila pojavljuje pet do šest vrlo tankih vodonosnih slojeva.



Slika 5.14. Uzdužni profil broj 3.

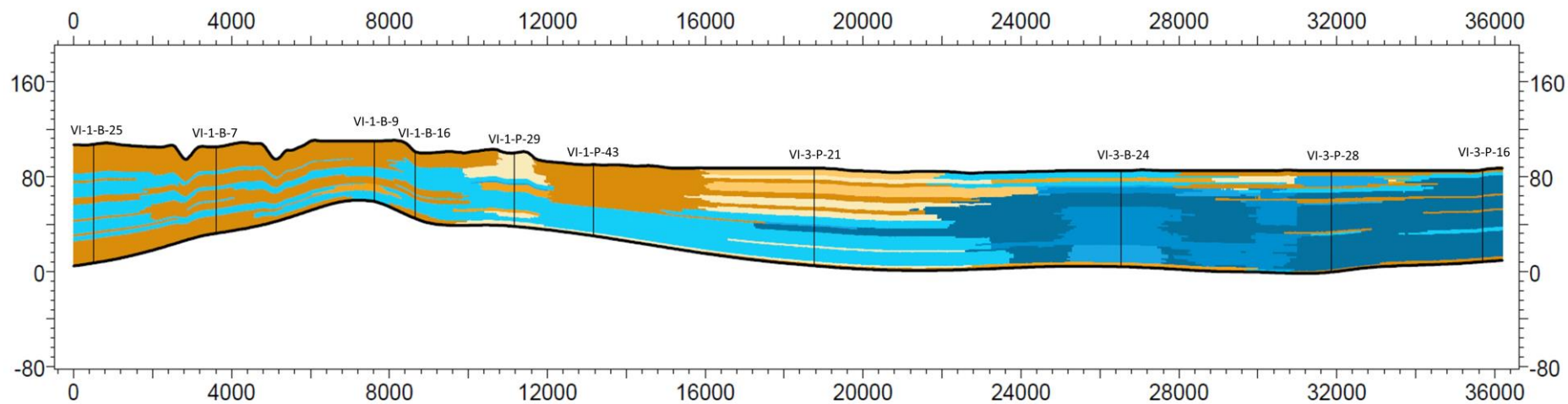


Slika 5.15. Uzdužni profil broj 4.

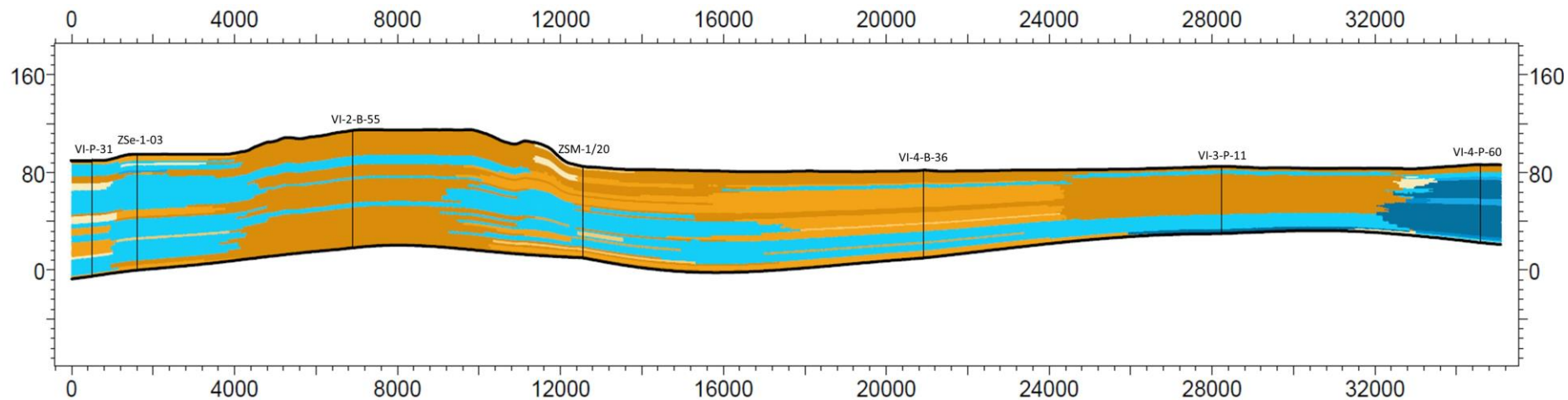
Poprečni profil broj 1, smješten na krajnjem zapadnom dijelu područja istraživanja prikazan je na slici 5.16. Idući po pružanju profila, od sjevera prema jugu, broj vodonosnih slojeva varira od tri na sjeveru do dva u središnjem dijelu profila i jedan ogromni vodonosni sloj s proslojcima sitnozrnatih čestica na samom južnom dijelu. Propusne naslage čine pijesci na sjeveru, dok na jugu, uz rijeku Savu, izgrađene su najviše od šljunaka, zatim pjeskovitih šljunaka i šljunkovitih pijesaka. Slabopropusne naslage izgrađene su najviše od glina, dok u središnjem i južnom dijelu profila javljaju se prahovi, prahovite gline i glinoviti prahovi. Ukupna debljina naslaga na sjevernom dijelu profila iznosi oko 43 m, idući prema središnjem dijelu opada ispod 20-ak m, no idući prema jugu raste na oko 35 m, dok na samom jugu profila ukupna debljina premašuje 75 m.

Na slici 5.17. prikazan je poprečni profil broj 2. Na sjeveru profila uočavaju su pjeskovite propusne naslage čija se debljina smanjuje idući prema jugu profila, no na krajnjem jugu im se drastično povećava te prelaze u šljunak. Broj vodonosnih slojeva iznosi od dva do tri na samom sjeveru profila, dva u središnjem dijelu, a na jugu prevladava jedan vrlo debeli vodonosni sloj. Gline i prahovite gline izgrađuju slabopropusne naslage. Ukupne debljine vodonosnih slojeva na sjevernom dijelu profila iznose oko 70 m, u središnjem dijelu preko 30 m, a na jugu preko 52 m.





Slika 5.16. Poprečni profil broj 1.

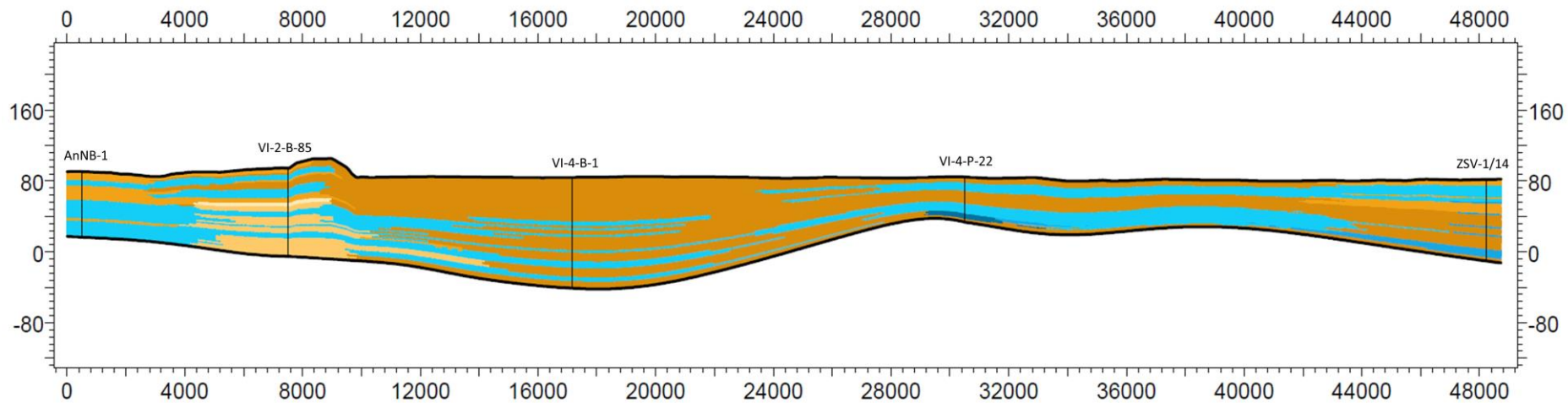


Slika 5.17. Poprečni profil broj 2.

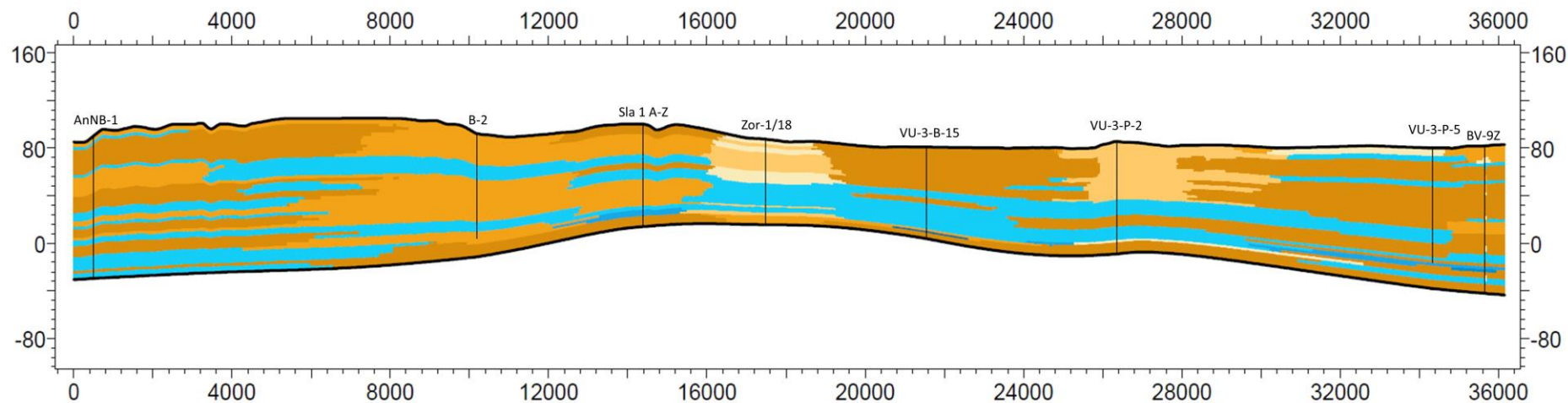


Slika 5.18. prikazuje poprečni profil broj 3. Idući po pružanju profila od sjevera prema jugu može se opaziti dva do tri vodonosna sloja, s time da se propusne naslage građene od pijeska stanjuju u središnjem dijelu profila. Negdje se mogu uočiti proslojci šljunka, a na južnom dijelu javljaju se i šljunkoviti pijesci. U južnom dijelu profila dodatno se pojavljuju dva do tri vrlo tanka vodonosna sloja. Slabopropusne naslage su u najvećoj mjeri izgrađene su od glina, no na početku profila na sjeveru može se uočiti i prah. Ukupna debljina naslaga na sjevernom dijelu iznosi preko 40 m, u središnjem dijelu se smanjuje ispod 25 m, dok na jugu iznosi oko 30 m.

Na slici 5.19. prikazan je poprečni profil broj 4 smješten na samom istočnom dijelu područja istraživanja. Na sjeveru je vidljivo postojanje nekoliko vrlo tankih vodonosnih slojeva dominantno izgrađenih od pijesaka čija se debljina povećava u središnjem dijelu profila da bi se naposljetku, na jugu, debljina opet smanjila. Na jugu se mogu zapaziti tanki proslojci šljunkovitog pijeska. Broj vodonosnih slojeva dosta varira, na sjeveru ih ima sedam do osam, u središnjem dijelu profila dva do tri, dok na južnom pet do šest. Slabopropusne naslage su većinom gline, zatim prahovite gline, javljaju se i glinoviti prahovi, a u najmanjoj mjeri prahovi. Ukupna debljina propusnih naslaga na sjeveru iznosi oko 50 m, u središnjem dijelu ne ide preko 35 m, dok na jugu su do 30 m.



Slika 5.18. Poprečni profil broj 3.



Slika 5.19. Poprečni profil broj 4.

Ukupne debljine propusnih naslaga (gledano na području istraživanja ovog rada), prema prilogu 8 (Bačani, 1997), iznose većinom od 30 do 40 m na sjeveru, zatim rastu do 50 m prema jugu, dok na samom jugu mogu prelaziti 90 m što se generalno poklapa s dobivenim rezultatima. Broj vodonosnih slojeva, najčešće je iznosio tri, dok su uz rijeku Savu izdvaja i četvrti, te je u pojedinim dijelovima modela uočeno i do osam vrlo tankih vodonosnih slojeva, što je u skladu s dobivenim rezultatima Bačani (1997) i Kopic et al. (2016). Kontinuitet slojeva nije tektonski narušen, već se određeni slojevi mogu stanjivati ili podebljavati, ovisno u kojem smjeru se gleda što se podudara se s rezultatima Bačani (1997). Jedina napomena uz dobivene rezultata i prijašnja istraživanja jest da prilog 8 (Bačani, 1997) obuhvaća naslage do 120 m dubine, dok su u ovom radu samo osam od 82 bušotine zahvaćale dubine veće od 120 m. U korelaciji bušotinskih podataka uvijek postoji određena doza subjektivnosti, koja se u ovom radu pokušala maksimalno izbjeći (ispunjavanje modela litološkim sastavom izvedeno je nakon variogramске analize, objašnjeno u poglavlju 4.3., iako ponekad računalo modeliranje može precijeniti rasprostiranje određenog sloja), stoga je za očekivati da se dobiveni rezultati ne poklapaju u potpunosti s prijašnjima.

Na kraju je izračunat volumen vodonosnih slojeva. Metodologija izračuna volumena u Petrelu već je spomenuta u poglavlju 4.3. U tablici 5.1. prikazana je zastupljenost litoloških članova unutar hidrogeološkog modela. Vidljivo je da se nešto više od 55% zastupljenosti litoloških članova odnosi na slabopropusne naslage, pri čemu dominiraju glina i prahovita glina. Kod dobropropusnih naslaga dominira pijesak, te nakon toga šljunak, koji je dominantno posljedica utjecaja rijeke Save na južnom dijelu modela. U tablici 5.2. prikazan je bruto volumen modela i volumen pora vodonosnih naslaga koji iznosi  $11\,546 \times 10^6 \text{ m}^3$ , a izračunat je na temelju vrijednosti efektivnih poroznosti prikazanih u tablici 4.4.

Tablica 5.1. Postotak zastupljenosti pojedinačnih litoloških članova.

Litološki član	Zastupljenost u modelu (%)
Glina	35,72
Prahovita glina	12,41
Glinoviti prah	3,30
Prah	4,22
Pijesak	27,41
Šljunkoviti pijesak	3,60
Pjeskoviti šljunak	5,10
Šljunak	8,24
Σ	100,00

Tablica 5.2. Izračunati volumeni u Petrelu.

Bruto volumen stijene i pora ( $\times 10^6 \text{ m}^3$ )	Volumen pora vodonosnih naslaga ( $\times 10^6 \text{ m}^3$ )
180 886	11 546

## 6. Zaključci

Ovaj rad prikazuje izradu 3D hidrogeološkog modela šireg vinkovačkog području. Po prvi puta je u Republici Hrvatskoj hidrogeološki model izrađen u Petrel E&P software koji se uglavnom koristi u naftno-geološkim istraživanjima. Korištenje navedenog softvera omogućilo je postizanje općih i specifičnih ciljeva te generiralo vrlo bitne rezultate, koji predstavljaju temelj budućih hidrogeoloških istraživanja na području istočne Slavonije, pogotovo onih koji su vezani uz aluvij rijeke Save.

U okviru rada detaljno je opisan i prikazan svaki korak izrade hidrogeološkog modela. Priprema podataka zahtijevala je obradu litološkog sastava velikog broja piezometara i zdenaca te njihovu prilagodbu za korištenje u Petrel E&P software. Također, napravljena je detaljna analiza variograma te je korišten variogram za svaki pojedinačni litološki član. Osim 3D verzije modela, napravljena su četiri uzdužna i četiri poprečna hidrogeološka profila koja su omogućila uvid u broj vodonosnih slojeva, njihove debljine te prostornu kontinuiranost naslaga. Rezultati su pokazali kako na istraživanom području postoji značajan volumen vodonosnih naslaga koje su dominantno izgrađene od pijeska. Povećani udio šljunka ponajprije je prisutan u južnom dijelu modela, uz rijeku Savu. Nadalje, zabilježeno je prostiranje tri do četiri glavna vodonosna sloja. Na nekim područjima zabilježeno je i više vodonosnih slojeva, ali su vrlo tankih debljina. Zapažena je velika heterogenost, ali i kontinuiranost vodonosnih naslaga. Iako je na većem području modela izražena kontinuiranost vodonosnih naslaga, debljine izuzetno variraju, od 20 m do preko 80 m. Rezultati modela uspoređeni su sa dostupnim prethodnim istraživanjima te se može zaključiti kako se rezultati generalno poklapaju.

S obzirom na sve navedeno, može se zaključiti kako šire vinkovačko područje sadrži znatne zalihe podzemne vode koje je potrebno održivo koristiti kako bi pitka voda bila dostupna budućim generacijama. Također, Petrel E&P software pokazao se kao vrlo koristan softver, s izuzetno velikim mogućnostima, za izradu 3D hidrogeološkog modela.

## **7. Zahvale**

*Najviše se želim zahvaliti mentoru doc. dr. sc. Zoranu Kovaču na ukazanoj prilici, strpljenju, suradnji, razumijevanju, znanju i podršci.*

*Također zahvaljujem komentoru izv. prof. dr. sc. Marku Cvetkoviću na pomoći prilikom izrade modela u Petrelu.*

*Zahvaljujem i dr. sc. Jasni Kopic i Vinkovačkom vodovodu i kanalizaciji na ustupljenim podacima o zdencima i bušotinama.*

*I would like to thank the Schlumberger Company for providing academic licenses of Petrel modelling software to the Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering without which this kind of work would not be possible.*

## 8. Popis literature

Aadil, N., i Sohail, G.M. (2014): 3D geological modeling of Punjab platform, Middle Indus Basin Pakistan through integration of Wireline logs and seismic data. *J Geol Soc India* **83**, 211–217.

Al-Baldawi, Buraq. (2015): Building A 3D Geological model Using Petrel Software for Asmari Reservoir, South Eastern Iraq. *Iraqi Journal of Science*. 56. 1750-1762.

Alloisio, S., Phair, C. i Safadi, C. (2011): Integrated use of Petrel© and Modflow in the modeling of water injection and effects on a Quaternary aquifer. *GeoHydro*, Kanada.

Bačani, A. (1997): Značajke hidrauličkih granica vodonosnih slojeva na vododjelnici savskog i dravskog porječja u istočnoj Slavoniji. Disertacija. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilišta u Zagrebu.

Bačani, A., Miletić, P. i Miletić, M. (1989): Zalihe podzemnih voda crpilišta Vinkovci. Studija RGN fakultet, Zagreb. 22 str., 8 priloga.

Baketarić, T. i Cvetković, M. (2015): Subsurface modelling of the Neogene-Quaternary 50arto f50 sin 50arto f the Sava Depression based on digitalization of legacy map data. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 30 (2), 67-84.

Beroš, F. (2016): Izvedba istražno-eksploatacijskog zdenca na crpilištu „Berića plac“ u Marincima. Tehničko izvješće. Geoid – Beroš d.o.o., Varaždin.

Beroš, F. i Beroš, H. (2017): Tehničko izvješće o izvedenim radovima: izvedba istražno-eksploatacijskog zdenca „crpilište Skorotinci“ u Otoku. Geoid – Beroš d.o.o., Varaždin.

Boško, K., Jamičić, D., Marković, S., Basch, O., Galović, I., Šikić, K., Brkić, M., Grimani, I. i Matićec, D. (1989): Osnovna geološka karta, list Našice, 1:100.000. Geološki zavod, Zagreb i OOUR za geologiju.

Brkić, M., Galović, I., Buzaljko, R., Prtoljan, B., Jagačić, T., Kovačić, M., Magaš, N., Šparica, M., Hećimović, I., Oštrić, N., Pavelić, D., Vrhovčić, J., Magaš, M. i Šparica, M. (1989): Osnovna geološka karta, list Vinkovci, 1:100.000. Geološki zavod, Zagreb i Geoinženjering, Sarajevo.

Buzaljko, R., Vujnović, L., Olujić, J. i Marković, S. (1985): Osnovna geološka karta, list Brčko, 1:100.000. RO Geoinženjering, OOUR Geoinstitut, Sarajevo i Geološki zavod, Zagreb.

Capar A. (1992): Poznavanje i istraženost hidrogeologije savskog sliva Istočne Slavonije. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 4, 23-35, Zagreb.

Crnković, B. i Bušić, M. (1970): Mineraloško-petrografski sastav nanosa rijeke Save. *Zbornik radova RGN fakultet. Sveučilište u Zagrebu*, 2, 133-140, Zagreb

Cvijanović, D. (1969): Seizmičnost Slavonije. Vjesnik Zavoda za geol. i geofiz. Istraž., 10/11, 71-102, Beograd.

Čičulić-Trifunović, M. i Galović, I. (1984): Osnovna geološka karta, list Bačka Palanka, 1:100.000. RO Geološki institut, Beograd i Geološki zavod, Zagreb.

Čulinović, D. i Čulinović, D. (2014): Izdrada detaljnih geoloških i vodoistražnih radova odnosno bušenja pokusno-eksploatacijskog zdenca ZSV-1/14 na crpilištu „Sojara“ Vrbanja za javnu vodoposkrbu. Zagreb.

Čulinović, D. i Čulinović, D. (2015): Izvedba istražno-eksploatacijskog zdenca BV-9.Z./1, Lipovac, crpilište „Barbine“. DRILL Co. d.o.o., Zagreb.

EGPV (2003): Evidencija i gospodarenje podzemnim vodama Hrvatske, Baze znanja. Fond dokumentacije Hrvatskih voda, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

Galović, I., Brkić, M. i Buzaljko, R. (1989): Tumač za list Vinkovci, L 34-98, Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Institut geoloških istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.

Gorjanović-Kramberger, D. (1913): Fosilni rinocerotidi Hrvatske i Slavonije s osobitim osvrtom na *Rinoceros Mercki* iz Krapine. Djela Jugosl. akad. znan. umjet., 22, 1-70, Zagreb.

Gorjanović-Kramberger, D. (1922): Morfološke i hidrografijske prilike prapornih predjela u Srijemu te pograničnih česti županije virovitičke. Glasnik Hrv. prir. društva, 34/2, 111-164, Zagreb.

Grgić, S., Horvatinčić, N. i Miletić, P. (1992): Radiocarbon and tritium measurement of groundwaters in Eastern Slavonia, Geol. vjesnik 44, 309-312, Zagreb.

Haček, M. i Oluić, M. (1969): Prikaz rezultata fotogeološke interpretacije srednje i istočne Slavonije. Nafta, 20/7, 333-336, Zagreb.

Harbaugh, A. W., Banta, E. R., Hill, M. C. i McDonald, M. G. (2000): MODFLOW-2000, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model: User Guide to Modularization Concepts and the Ground-Water Flow Process.

Herak, M., Herak, D. i Markušić, S. (1996): Revision of the earthquake catalogue and seismicity of Croatia, 1908–1992, Terra Nova, 8 (1): 86-94.

Herak, M., Herak, D. i Markušić, S. (1996.): Revision of the earthquake catalogue and seismicity of Croatia, 1908–1992, Terra Nova, 8 (1): 86-94.

Hernitz, Z. (1970): About the structural and tectonic relations in the area of Eastern Slavonia (Pannonian Basin). Bull. sci. Cons. Acad. Yougosl., (A), 15/9-10, 311-312, Zagreb.



Hernitz, Z. (1983): Dubinski strukturno-tektonski odnosu u području istočne Slavonije. Disertacija. Jugosl. Komitet svjet. kogr. za naftu, „Nafta“, 1-221, Zagreb.

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

Ivančić, I., Herak, D., Herak, M., Allegretti, I., Fiket, T., Kuk, K., Markušić, S., Prevolnik, S., Sović, I., Dasović, I., Stipčević, J. (2018): Seismicity of Croatia in the period 2006–2015 // *Geofizika*, 35 (2018), 1; 69-98 doi:10.15233/gfz.2018.35.2.

Ivančić, I., Herak, D., Herak, M., Allegretti, I., Fiket, T., Kuk, K., Markušić, S., Prevolnik, S., Sović, I., Dasović, I. i Stipčević, J. (2018): Seismicity of Croatia in the period 2006–2015 // *Geofizika*, 35 (2018), 1; 69-98 doi:10.15233/gfz.2018.35.2

Ivančić, I., Herak, D., Markušić, S., Sović, I. i Herak, M. (2002): Seismicity of Croatia in the period 1997–2001. *Geofizika*, 18–19, 17–29.

Ivančić, I., Herak, D., Markušić, S., Sović, I. i Herak, M. (2002): Seismicity of Croatia in the period 1997–2001. *Geofizika*, 18–19, 17–29.

Ivančić, I., Herak, D., Markušić, S., Sović, I. i Herak, M. (2006): Seismicity of Croatia in the period 2002 – 2005. *Geofizika*, 23 (2), 87 – 103.

Ivančić, I., Herak, D., Markušić, S., Sović, I. i Herak, M. (2006): Seismicity of Croatia in the period 2002 – 2005. *Geofizika*, 23 (2), 87 – 103.

Kopić, J. (2016): Određivanje specifične ranjivosti vodonosnika u priljevnom području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“ : doktorski rad. Disertacija. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilišta u Zagrebu.

Kopić, J., Loborec, J. i Nakić, Z. (2016): Hydrogeological and hydrogeochemical characteristics of a wider area of the regional well field Eastern Slavonia – Sikirevci, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 31(3), pp. 47–66. doi: 10.17794/rgn.2016.3.4.

Kovačić, D., Bačani, A., Miletić, P. i Mayer, D. (1986): Utjecaj geomehaničkih značajki slabopropusnih naslaga na prihranjivanje vodonosnih slojeva. *Zbornik radova 2. Jugosl.kongres o vodama*, 430-438, Ljubljana.

Kranjec, V. i Prelogović, E. (1974): O paleogeografskim i neotektonskim odnosima u tercijaru i kvartaru na teritoriju SR Hrvatske. *Geol. Vjesnik*, 27, 95-112, Zagreb.

Lau, J., Thomason, J. F., Malone, D. H. i Peterson, E. W. (2016): Three-Dimensional Geological Model of Quaternary 52arto f52 sin Walworth County, Wisconsin, Usa. *Geosciences* 2016, 6,32.

- Magaš, N., Mamužić, P., Matičec, D., Prtoljan, B., Galović, I., Sarkotić Šlat, M., Glovacki Jernej, Ž. i Jagačić, T. (1987): Osnovna geološka karta, list Osijek, 1:100.000. Geološki zavod, Zagreb.
- Malvić, T. (2008): Primjena geostatistike u analizi geoloških podataka. Zagreb, INA-Industrija nafte d.d.
- Markušić, S., Herak, D., Ivančić, I., Sović, I., Herak, M. i Prelogović, E. (1998): Seismicity of Croatia in the period 1993-1996 and the Ston-Slano earthquake of 1996. *Geofizika*. 15 (1998) ; 83-101.
- Markušić, S., Herak, D., Ivančić, I., Sović, I., Herak, M. i Prelogović, E. (1998.): Seismicity of Croatia in the period 1993-1996 and the Ston-Slano earthquake of 1996. *Geofizika*. 15 (1998) ; 83-101.
- Matheron, G. (1963): Principles of geostatistics. *Economic Geology*. 58, 1246-1266.
- Mayer, D., Miletić, P. i Plančić, A. (1981): Istraživanje i studija rezervi podzemnih voda na regionalnom vodovodu Istočna Slavonija II; Kvaliteta i zaštita podzemnih voda slavonske Posavine. RGN fakultet. Zagreb.
- Miletić, P. i Urumović, K. (1975): O geološkom okviru hidrogeoloških značajki savske doline u Hrvatskoj. *Zbornik radova RGN fakulteta*, 101-105, Zagreb.
- Miletić, P., Bačani, A., Mayer, D. i Capar, A. (1986): Prilog poznavanju hidrogeoloških značajki prve hidrogeološke zone na području Istočne Slavonije. *Geol. vjesnik*, 39, 137-150, Zagreb.
- Miletić, P., Bačani, A., Mayer, D. i Capar, A. (1986c): Prilog poznavanju hidrogeoloških značajki prve hidrogeološke zone na području istočne Slavonije. *Geološki vjesnik*, 39, 137-150, Zagreb.
- Miletić, P., Biondić, B., Urumović, K. i Mayer, D. (1976): Opće hidrogeološke značajke SR Hrvatske. *Planerski atlas SR Hrvatske*.
- Miletić, P., Capar, A., Heinrich-Miletić, M., Gjetvaj, G., Shewaje, T., Grgić, S., Blažević, Z. i Bačani, A. (1992): Evidencija i gospodarenje rezervama podzemne vode Republike Hrvatske. Izvještaj o izvršenim radovima 1991. god. Fond dokumentacije Hrvatske vodoprivrede, Zagreb.
- Miletić, P., Capar, A., Mayer, D., Turić, G., Plančić, A. i Župarić, A. (1981b): Studija rezerve podzemne vode istočne Slavonije. III faza. RGN fakultet. Zagreb. 72 strana., 14 priloga.
- Miletić, P., Heinrich-Miletić, M. i Bačani, A. (1993): Konceptualni hidrogeološki model za hidrogeološki sustav istočne Slavonije. *RGN zbornik*, 5, 65-73, Zagreb.
- Miletić, P., Heinrich-Miletić, M., Bačani, A. Bačani, Z. i Grgić, S. (1989): Matematički model II. vodonosnog sloja na području istočne Slavonije. *Studija*. RGN fakultet, Zagreb. 65. str.
- Miletić, P., Mayer, D., Bačani, A. i Heinrich-Miletić, M. (1981): Vinkovci-ocjena mogućnosti povećanja eksploatacije podzemnih voda-Studija. RGN fakultet, Zagreb 39 str., 11 priloga.

- Miletić, P., Nowinski, A. i Urumović, K. (1975): O drugoj hidrogeološkoj zoni sjeverne Hrvatske. Zbornik radova Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, 97-100, Zagreb.
- Miletić, P., Urumović, K. i Blašković, V. (1975a): Regionalna hidrogeološka istraživanja i hidrogeološka rajonizacija sjeverne Hrvatske, Zbornik radova Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, 93-95, Zagreb.
- Mutić, R. (1988): Korelacija kvartara istočne Slavonije na osnovi podataka mineraloško-petrografskih analiza (Istočna Hrvatska, Jugoslavija). Dio I: Dravska potolina. Acta geologica, 19/1, Prir. istraž. 59, Jugosl. akad. znan. umjet. 1-60, Zagreb.
- Mutić, R. (1990): Korelacija kvartara istočne Slavonije na osnovi podataka mineraloško-petrografskih analiza (Istočna Hrvatska, Jugoslavija). Dio II: Lesni ravnjak. Acta geologica, 20/2, Prir. istraž. 60, Jugosl. akad. znan. umjet. 29-80, Zagreb.
- Mutić, R. (1993): Korelacija kvartara istočne Slavonije na osnovi podataka mineraloško-petrografskih analiza (Istočna Hrvatska). Dio III: Slavonsko-srijemska potolina. Acta geologica, 23/1, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti. 1-37, Zagreb.
- Nakić, Z. i Žugaj, R. (2006): Elaborat zaštitnih zona izvorišta Semeljci. Stručna studija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- Nakić, Z. i Žugaj, R. (2007): Elaborat zaštitnih zona izvorišta „Skela“ – Antin, „Grac“ – Ivankovo i „Vodenice“ – Stari Mikanovci. Stručna studija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
- Nakić, Z. i Žugaj, R. (2007): Elaborat zaštitnih zona izvorišta „Šumarija“ – Otok, „Skrotinci“ – Otok, „Viganj-2“ – Slakovci i „Veliki kraj“ – Stari Jankovci. Stručna studija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
- Nakić, Z. i Žugaj, R. (2008): Elaborat zaštitnih zona izvorišta „Berava“ – Babina Greda, „Topolik“ – Privlaka i „Sojara“ – Vrbanja. Stručna studija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
- Nakić, Z. i Žugaj, R. (2008): Elaborat zaštitnih zona izvorišta „Ilača“ – Ilača, „Banovina” – Tovarnik, „Stara Ciglan” – Nijemci i „Barbine” – Lipovac. Stručna studija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
- Nakić, Z., Mayer, D. i Žugaj, R. (2005): Elaborat zaštitnih zona izvorišta na distributivnom području Komunalca d.o.o. Županja „Bošnjaci“, „Županja grad“ i „Gradište. Elaborat Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

- Nakić, Z., Žugaj, R. i Posavec, K. (2006): Elaborat zaštitnih zona izvorišta na distribucijskom području Vinkovci: „Kanovci“ – Vinkovci, „Ekonomija“ – Mirkovci i „Park“ – Nuštar. Stručna studija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
- Novak Zelenika, K. (2013): Lithofacies definition based on cut-offs in Indicator Kriging mapping, case study Lower Pontian reservoir, Sava Depression, *Nafta*, 64(1), str. 39-44.
- Otoo, D. i Hodgetts, D. (2021): Porosity and permeability prediction through forward stratigraphic simulations using GPM™ and Petrel™: application in shallow marine depositional settings, *Geosci. Model Dev.*, 14, 2075–2095.
- Pavelić, D. i Kovačić, M. (2018): Sedimentology and stratigraphy of the Neogene rift-type North Croatian Basin (Pannonian Basin System, Croatia) : A review. *Marine and petroleum geology*, 91, 455-469.
- Podbojec, M. i Cvetković, M. (2016): Preliminary estimate of CO<sub>2</sub> storage capacity by petrophysical modelling in Upper Miocene Poljana Sandstones in the western part of the Sava Depression. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 31 (1), 31-44.
- Prelogović, E. (1975): Neotektonska karta SR Hrvatske. *Geol. Vjesnik*, 28, 97-108, Zagreb.
- Prelogović, E. i Cvijanović, D. (1976): Kvartarne tektonske deformacije i seizmogene zone Hrvatske. 8. Jug. Geol. Kongres, 3, 175-185, Ljubljana.
- Prelogović, E. i Velić, J. (1992): Correlation of Quaternary Sediments and Tectonic Activity of the Eastern part of the Drava River Depression. *Geologia Croatica* 45, 151-162, Zagreb.
- Rimac, I., Capar, A. i Brkan, T. (1977): Vodoistražni i vodozahvatni radovi Vinkovci 1977. Pokusno –eksploatacioni bunar BV-12 Velika Kapanica. Zagreb.
- Rimac, I., Capar, A. i Brkan, T. (1977a): Vodoistražni i vodozahvatni radovi Vinkovci 1977. Strukturno-pijezometarska bušotina V-13 Slavonski Šamac. Zagreb.
- Rimac, I., Capar, A. i Brkan, T. (1977b): Vodoistražni i vodozahvatni radovi Vinkovci 1977. Strukturno-pijezometarska bušotina V-16 Babina Greda. Zagreb.
- Rimac, I., Capar, A. i Brkan, T. (1980): Vodoistražni i vodozahvatni radovi Vinkovci 1978/80. Istražno-pijezometarske bušotine V-49, V-50, V-51- Sikervci. Zagreb.
- Rimac, I., Capar, A., Brkan, T. i Foretić, J. (1981): Vodoistražni i vodozahvatni radovi Vinkovci 1978/80//81. Istražno pijezometarske bušotine V-32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,45,46,47. Zagreb.

Rimac, I., Capar, A., Brkan, T. i Foretić, J. (1984): Vodoistražni radovi na regionalnom crpilištu Istočne Slavonije. Vinkovci 1984. Strukturno-pijezometarske bušotine SB-1,2,3,4,5 i P-1,2,2A,3,4,5 i 6. Zagreb.

Rimac, I., Capar, A., Brkan, T. i Foretić, J. (1985): Vodozahvatni radovi na regionalnom crpilištu istočne Slavonije. Vinkovci 1984/85. Bunari B-1 i B-2 (Babina Greda). Zagreb.

Rimac, I., Foretić, J. i Brkan, T. (1977c): Vodoistražni i vodozahvatni radovi Vinkovci 1980. Pokušno –eksploatacioni bunar BV-51 Sikirevci. Zagreb.

Schlumberger Petrel (2020): Petrel user assistance, 2020 edition, digital version.

Sokač, A. (1976): Pleistocenska fauna ostrakoda iz nekih bušotina u istočnoj Slavoniji (sjeverna Hrvatska). Geol. Vjesnik 29, 159-172, Zagreb.

Šimon, J. (1973): O litostratigrafskom stupu tercijarnih naslaga u području istočne Slavonije. Nafta, 24/3, 119-127, Zagreb.

Šimundić, Z. i Presečan, T. (2016): Elaborat o provedenim detaljnim geološkim i vodoistražnim radovima sa tehničkim izvješćem o izradi pokusno-eksploatacijskog zdenca PrNB-1/1 na izvorištu „Topolik“ Privlaka. Vodovod-hidrogeološki radovi d.o.o., Osijek.

Šimundić, Z. i Tolarić, I. (2018): Elaborat o provedenim detaljnim geološkim i vodoistražnim radovima s tehničkim izvješćem o izradi pokusno-eksploatacijskog zdenca ZT-2/18 na izvorištu „Banovina“ u Tovarniku. Vodovod-hidrogeološki radovi d.o.o., Osijek.

Šimundić, Z. i Tolarić, I. (2019): Elaborat o provedenim detaljnim geološkim i vodoistražnim radovima s tehničkim izvješćem o izradi pokusno-eksploatacijskog zdenca Zor-1/18 na izvorištu „Igralište“ u Oroliku. Vodovod-hidrogeološki radovi d.o.o., Osijek.

Šimundić, Z., Host, D. i Jazvac, I. (2020): Elaborat o provedenim detaljnim geološkim i vodoistražnim radovima s tehničkim izvješćem o izradi pokusno-eksploatacijskog zdenca ZSM-1/20 na lokaciji „Vodenice“ u Starim Mikanovcima. Vodovod-hidrogeološki radovi d.o.o., Osijek.

Šimundić, Z., Jazvac, I. i Tolarić, T. (2019): Elaborat o provedenim detaljnim geološkim i vodoistražnim radovima s tehničkim izvješćem o izradi strukturno-piezometarske bušotine PT-1/19 i pokusno-eksploatacijskog zdenca ZT-3/19 na lokaciji „Sajmište“ u Tovarniku. Vodovod-hidrogeološki radovi d.o.o., Osijek.

Šparica, M., Marinčić, S., Sikirica, V., Galović, I., Marković, S., Mamužić, P., Oštrić, N., Avanić, R., Buzaljko, R. i Mojičević, M. (1986): Osnovna geološka karta, list Slavonski Brod, 1:100.000. Geološki zavod, Zagreb i „Geoinženjering“-OOUR institut za geologiju, Sarajevo.

Urumović, K. (1974): Vodoopskrba istočne Slavonije. Hidrogeološki uvjeti i zalihe podzemnih voda na regionalnom crpilištu Štitar i Županja. RGN fakultet, Zagreb. 55 str., 23 priloga.

Urumović, K. (1982): Hidrogeološke značajke istočnog dijela Dravske potoline. Disertacija. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Univerziteta u Beogradu, 1-138, Beograd.

Urumović, K. (2013): Parametarska kvantifikacija hidrogeoloških svojstava klastičnih naslaga na primjerima pokusnih polja u sjevernoj Hrvatskoj. Disertacija. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilišta u Zagrebu.

Urumović, K., Hernitz, Z. i Šimon, J. (1978): O kvartarnim naslagama istočne Posavine (SR Hrvatska). Geološki vjesnik 30/1, 297-308, Zagreb.

Urumović, K., Hernitz, Z., Šimon, J. i Velić, J. (1976): O propusnim mediju kvartarnih te gornjo i srednjopliocenskih naslaga sjeverne Hrvatske. Zbrnik radova 4. jugoslavenskog simpozija o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji, 1, 395-410, Skoplje.

Urumović, K., Miletić, P., Turić, G. i Blašković, V. (1973): Vodoopskrba Vinkovaca. Hidrogeološke značajke i program izrade zahvata podzemnih voda. RGN fakultet, Zagreb. 18 strana, 2 priloga.

Urumović, K., Šarin, A. i Donadini, K. (1981a): Bilanca zaliha podzemnih voda u vodnom području „Drava-Dunav“ za 1979./1980. godinu. Fond dokumentacije Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.

Vrhovčić, J., Mojićević, M., Anđelković, J., Marković, B., Pavlović, Z., Rajčević, D., Prtoljan, B. i Galović, I. (1984): Osnovna geološka karta, list Bijeljina, 1:100.000. OOUR Geoinstitut, Sarajevo, RO Geološki institut, Beograd i RO Geološki zavod, Zagreb.

Zeljko, B. (1972): Istraživanje baze sedimenata primjenom duboke refrakcije. Nafta, 23, 8-36, Zagreb.

WEB izvori:

<https://www.aspexit.com/variogram-and-spatial-autocorrelation/> 23.5.2022.

<https://www.software.slb.com/products/petrel/petrel-geology-and-modeling> 3.5.2022.

## 9. Sažetak

Ana Rečić

### *3D hidrogeološki model šireg vinkovačkog područja*

Iako se Petrel E&P software primarno koristi u naftnoj geologiji, ovim radom prvi puta u Republici Hrvatskoj softver pronalazi svoju primjenu i u hidrogeologiji. Softverom je izrađen 3D hidrogeološki model šireg vinkovačkog područja. Prikupljeni podaci o litološkim značajkama piezometara i zdenaca obrađeni su i integrirani u računalni program Petrel. Napravljena je i detaljna analiza variograma. Izrađena su četiri uzdužna i četiri poprečna hidrogeološka profila. Na temelju intepretacije profila određen je broj vodonosnih slojeva, njihova ukupna debljina i rasprostiranje, te je naposljetku procijenjen volumen pora vodonosnih naslaga.

Ključne riječi: Petrel E&P, variogrami, 3D hidrogeološki model, vodonosni slojevi.

## 10. Summary

Ana Rečić

### *3D hydrogeological model of wider Vinkovci area*

Although, Petrel E&P software is primarily used in petroleum geology, this paper shows that software can be useful even in hydrogeology which has never been done in Republic of Croatia. 3D hydrogeological model on wider area of Vinkovci has been made using Petrel E&P software. Collected data from piezometers and wells about lithological features have been processed and integrated in the software. Detail analysis of variograms has also been made. Four longitudinal and four transverse cross-sections were created. Based on the analysis of the cross-sections, number of aquifers was determined, their total thickness and spatial distribution. Lastly, total pore volume of water-bearing layers was estimated.

Key words: Petrel E&P, variograms, 3D hydrogeological model, water-bearing layers.



## 11. Životopis

Rođena sam 18.05.1998. godine u Vinkovcima gdje sam završila Gimnaziju Matije Antuna Reljkovića, prirodoslovno-matematički smjer. Upisala sam 2017. godine preddiplomski studij geološkog inženjerstva na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu u Zagrebu. Tijekom preddiplomskog studija bila sam demonstrator na kolegijima (Matematika 1, Opća mineralogija, Sistematska mineralogija, Hidrogeologija 1), osvojila sam dekanove nagrade za ak. god. 2017./2018., 2019./2020. te primala STEM stipendiju za izvrsnost tijekom cijelog preddiplomskog studija. Obranom završnog rada pod naslovom „Izračun referentne i stvarne evapotranspiracije na području crpilišta Velika Gorica“ stekla sam titulu sveučilišne prvostupnice inženjerke geološkog inženjerstva s konačnom ocjenom studija *magna cum laude*. Diplomski studij Geološko inženjerstvo, smjer hidrogeologija i inženjerska geologija upisujem 2020. godine, tijekom kojeg sam primila dekanovu nagradu za ak. god. 2020./2021., trenutno odrađujem demonstrature (Hidrogeologija 1) i primam sveučilišnu stipendiju za izvrsnost.



# RGNF

Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
HR-10002 Zagreb  
Pierottijeva 6, p.p. 390

KLASA:  
URBROJ:  
Zagreb, 28.06.2022.



Fakultetsko Vijeće

Članovi povjerenstva za ocjenu radova za  
Rektorovu nagradu u akademskoj godini  
2021./2022.

**Predmet:** obrazloženje mentora vezano uz prijavu rada studentice Ane Rečić na Natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2021./2022.

Poštovani,

Studentica Ana Rečić prijavila je rad pod naslovom „3D hidrogeološki model šireg vinkovačkog područja“ na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2021./2022. Rad je strukturiran kroz 11 poglavlja napisanih na 60 stranica, uključivši 27 slika, šest tablica i 102 reference. Glavni cilj rada je bio izraditi 3D hidrogeološki model šireg vinkovačkog područja korištenjem Petrel E&P software-a, što predstavlja prvo korištenje navedenog softvera u hidrogeološkim istraživanjima u Republici Hrvatskoj. U tu svrhu prikupljeni su litološki podaci sa piezometara i zdenaca te su isti prilagođeni za korištenje u Petrel E&P software-u. Osim Uvoda, glavnih i specifičnih ciljeva, geoloških i hidrogeoloških značajki te opisa provedenih prethodnih istraživanja, rad sadrži detaljan opis izrade 3D hidrogeološkog modela, s posebnim osvrtom na analizu variograma koji su napravljeni za svaki pojedini litološki član. Rezultati rada podijeljeni su u četiri potpoglavlja. Prvo je analiziran utjecaj rasjeda i seizmičke aktivnosti na prostorni raspored litofacijesa, nakon čega slijedi detaljan prikaz korištenih variograma. Zatim je prikazan 3D hidrogeološki model zajedno sa četiri poprečna i uzdužna hidrogeološka profila. Na kraju je procijenjen volumen pora vodonosnih naslaga na istraživanom području. Izradom hidrogeološkog modela i hidrogeoloških profila dobio se uvid u broj vodonosnih slojeva, njihovu dubinu kao i prostornu rasprostranjenost naslaga. Također, pokazano je i da se Petrel E&P software, iako dominantno korišten u naftno-geološkim istraživanjima, može vrlo učinkovito koristiti u izradi hidrogeoloških modela.

S obzirom na sve navedeno, smatramo da su zadani opći i specifični ciljevi ostvareni te da predmetni rad sadrži elemente znanstvenog i stručnog rada koji će predstavljati temelj budućih hidrogeoloških istraživanja na području istočne Slavonije, pogotovo onih koji su vezani uz aluvij rijeke Save. Također, vjerujemo da rad sadrži sve potrebne elemente nužne za prijavu na natječaj za Rektorovu nagradu u akademskoj godini 2021./2022. Shodno tome, molimo vas da razmotrite prijavu rada studentice Ane Rečić na predmetni natječaj. Unaprijed zahvaljujemo.

Mentor

Doc. dr. sc. Zoran Kovač

Komentor

Izv. prof. dr. sc. Marko Cvetković