Sezonske zalihe podzemnih voda na području vodnog tijela Legrad-Slatina

Kozina, Josipa

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:657238

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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



Repository / Repozitorij:

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







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geološkog inženjerstva

SEZONSKE ZALIHE PODZEMNIH VODA NA PODRUČJU VODNOG TIJELA LEGRAD–SLATINA

Diplomski rad

Josipa Kozina

GI-232

Zagreb, 2016.

KLASA: 602-04/16-01/107
URBROJ: 251-70-03-16-3
U Zagrebu, 09.09.2016.

Josipa Kozina, studentica

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju Vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/16-01/107, UR. BROJ: 251-70-03-16-1 od 12.04.2016. godine priopćujemo temu diplomskog rada koja glasi:

SEZONSKE ZALIHE PODZEMNIH VODA NA PODRUČJU VODNOG TIJELA LEGRAD–SLATINA

Za voditeljicu ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o diplomskom ispitu dr. sc. Andrea Bačani, redovita profesorica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Voditeljica

(potpis)

Prof. dr. sc. Andrea Bačani
(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za završne i diplomske ispite

(potpis)

Doc. dr. sc. Stanko Ružičić
(titula, ime i prezime)

Prodekanica za nastavu i studente

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Lidia Hrnčević
(titula, ime i prezime)

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

SEZONSKE ZALIHE PODZEMNIH VODA NA PODRUČJU VODNOG TIJELA LEGRAD–SLATINA

JOSIPA KOZINA

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

U okviru ovog diplomskog rada određene su sezonske zalihe podzemnih voda na području vodnog tijela Legrad–Slatina za razdoblje od 1.10.2013. do 30.9.2014. godine. Rad sadrži pregled geografskih, geoloških i hidrogeoloških karakteristika vodnog tijela. Podaci su obrađeni računalnim programima Microsoft Excel, Surfer, ArcMap i AutoCAD. Analiza je obuhvaćala izradu karata ekvipotencijala za niske i visoke vode te izradu karte amplituda kolebanja između maksimalnih i minimalnih razina podzemne vode. Iz podataka srednje amplitude i poroznosti dobivena je vrijednost sezonskih zaliha. Na temelju podataka o količini oborina procijenjena je vrijednost udjela oborina u sezonskim zalihama.

Ključne riječi: sezonske zalihe, karta ekvipotencijala, Legrad–Slatina

Diplomski rad sadrži: 24 stranice, 3 tablica, 12 slika i 16 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Voditelj: Prof. dr. sc. Andrea Bačani

Ocjenjivači: Prof. dr. sc. Andrea Bačani
Doc. dr. sc. Željko Duić
Doc. dr. sc. Dario Perković

Datum obrane: 19.9.2016.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology
and Petroleum Engineering

Master's Thesis

SEASONAL RESOURCES OF GROUNDWATER IN THE AREA OF LEGRAD–SLATINA WATERBODY

JOSIPA KOZINA

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

Abstract

In this thesis, seasonal groundwater resources in the area of water body Legrad–Slatina for the period from 1st October 2013 to 30th of September 2014 are determined. The thesis includes an overview of geographical, geological and hydrogeological attributes of the water body. The data was analyzed using Microsoft Excel, Surfer, ArcMap and AutoCAD computer programs. The analysis included the mapping of equipotentials for low and high waters and the creation of fluctuations maps between the maximum and minimum levels of groundwater. Seasonal groundwater resources were obtained from mean values of amplitude fluctuations in the groundwater level and the effective porosity. From the data regarding the medium amplitude and porosity, the value of seasonal groundwater resources was obtained. Based on the precipitation data, a certain percentage of precipitation, which recharges the seasonal groundwater supply, was determined.

Keywords: seasonal groundwater resourses, map of equipotential lines, Legrad–Slatina

Thesis contains: 24 pages, 3 tables, 12 figures,and 16 references

Original in: Croatian

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

Supervisor: Full Professor Andrea Bačani, PhD

Reviewers: Full Professor Andrea Bačani, PhD
Assistant Professor Željko Duić, PhD
Assistant Professor Dario Perković, PhD

Date of defense: 19th of September, 2016

Sadržaj

1. Uvod 1

2. Područje istraživanja 2

2.1. Geografske i geomorfološke značajke 2

2.2. Geološke značajke 3

2.3. Hidrogeološke značajke 6

3. Metode istraživanja 9

3.1. Alati za obradu i prikaz podataka 9

3.2. Rezultati obrade podataka 10

4. Određivanje sezonskih zaliha podzemnih voda 17

4.1. Udio oborina u sezonskim zalihama podzemnih voda 19

4.2. Profil istraživanog područja 20

5. Zaključak 22

6. Literatura 23

Popis tablica

Tablica 3-1. Korišteni podaci za izradu karata ekvipotencijala 12

Nastavak Tablice 3-1. Korišteni podaci za izradu karata ekvipotencijala 13

Nastavak Tablice 3-1. Korišteni podaci za izradu karata ekvipotencijala 14

Tablica 4-1. Podaci o površini dolinskog dijela vodnog tijela (F), amplitudi sezonskog kolebanja slobodne razine vode (Δh) i poroznosti (n_1) 18

Tablica 4-2. Vrijednost sezonskih zaliha podzemnih voda (Q_{sezon}) u periodu od 1.10.2013. do 30.9.2014. za vodno tijelo Legrad–Slatina 18

Popis slika

Slika 2-1. Granica vodnog tijela Legrad–Slatina 2

Slika 2-2. Geološka karta vodnog tijela Legrad–Slatina; OGK Slatina (Marković, 1985) OGK Virovitica (Galović i dr., 1979); OGK Koprivnica (Šimunić i dr., 1994); OGK Đurđevac (Hećimović, 1987) 4

Slika 2-3. Prostiranje glavnih hidrogeoloških značajki osnovnih vodonosnika u grupiranom vodnom tijelu Legrad–Slatina (preuzeto iz Nakić i dr., 2016) 6

Slika 2-4. Uzdužni shematski hidrogeološki profil u grupiranom vodnom tijelu Legrad–Slatina (preuzeto iz Nakić i dr., 2016) 7

Slika 2-5. Poprečni shematski hidrogeološki profil u grupiranom vodnom tijelu Legrad–Slatina (preuzeto iz Nakić i dr., 2016) 8

Slika 3-1. Prikaz piezometara na vodnom tijelu Legrad–Slatina 11

Slika 3-2. Maksimalne razine podzemnih voda vodnog tijela Legrad–Slatina 15

Slika 3-3. Minimalne razine podzemnih voda vodnog tijela Legrad–Slatina 16

Slika 3-4. Amplitude kolebanja između maksimalne i minimalne razine podzemnih voda vodnog tijela Legrad–Slatina 16

Slika 4-1. Prikaz meteorološke postaje Slatina na području vodnog tijela Legrad–Slatina 19

Slika 4-2. Položaj profila A-B 20

Slika 4-3. Shematski profil amplitude kolebanja razine podzemne vode 21

1. Uvod

Zadatak ovog diplomskog rada bio je odrediti sezonske zalihe podzemnih voda na području vodnog tijela Legrad–Slatina.

Sezonske zalihe označavaju količinu vode koja se dobije iz uskladištenja za sezonski pad tlaka, odnosno to je podzemna voda koja se svake godine obnavlja infiltracijom oborina, procjeđivanjem iz vodotoka ili drugih površinskih voda ili dotječe podzemljem iz drugih područja (Bačani, 1997).

Cilj rada bio je odrediti sezonske zalihe u periodu od 1.10.2013. do 30.9.2014. godine. Prikazan je kratak pregled geografskih, geoloških i hidrogeoloških karakteristika područja istraživanja. Računalnim programima Surfer i ArcMap izrađene su karte ekvipotencijala za niske, srednje i visoke vode, te karta amplituda kolebanja razine podzemne vode.

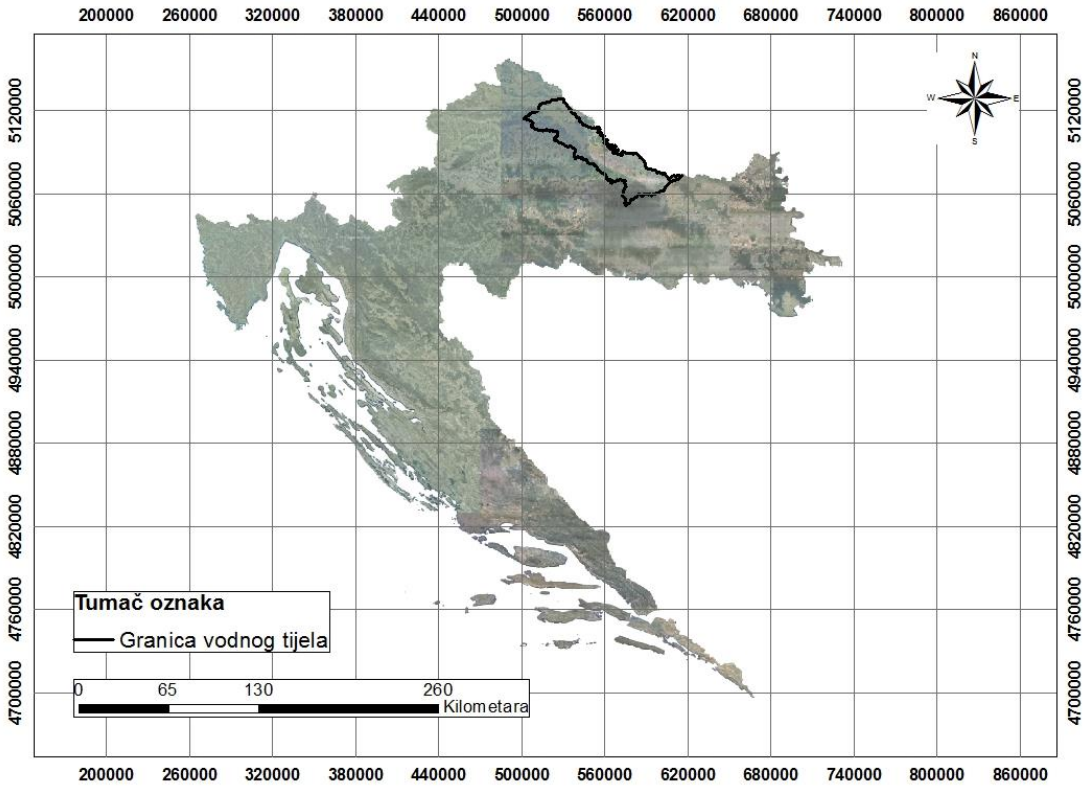
Korišteni su podaci 86 piezometara te jedne meteorološke postaje. Na temelju podataka o količini oborina dobivena je vrijednost udjela oborina u sezonskim zalihama podzemnih voda za vodno tijelo.

Na temelju karata ekvipotencijala te podataka o razinama podzemne vode, izrađen je shematski profil koji prikazuje amplitudu kolebanja razine podzemne vode.

2. Područje istraživanja

2.1. Geografske i geomorfološke značajke

Vodno tijelo Legrad–Slatina smjestilo se na području središnje Podravine te spada u dolinski dio sliva Drave. Geografski se prostire od linije Koprivnica–Legrad na zapadu do linije Podravska Slatina–Čađavica na istoku. Sjevernu granicu čini državna granica s Republikom Mađarskom, a južnu sjeverne padine Bilogore i Papuka. Vodno tijelo Legrad–Slatina obuhvaća protezanje zapadnog dijela Dravske depresije. Područje istraživanja zauzima površinu od 2370,6 km^2 (Slika 2-1). Srednja godišnje temperatura zraka je 11,1 ^oC, a godišnja količina oborina u razdoblju 2008.-2014. je 856 mm (Nakić i dr., 2016).



Slika 2-1. Granica vodnog tijela Legrad–Slatina

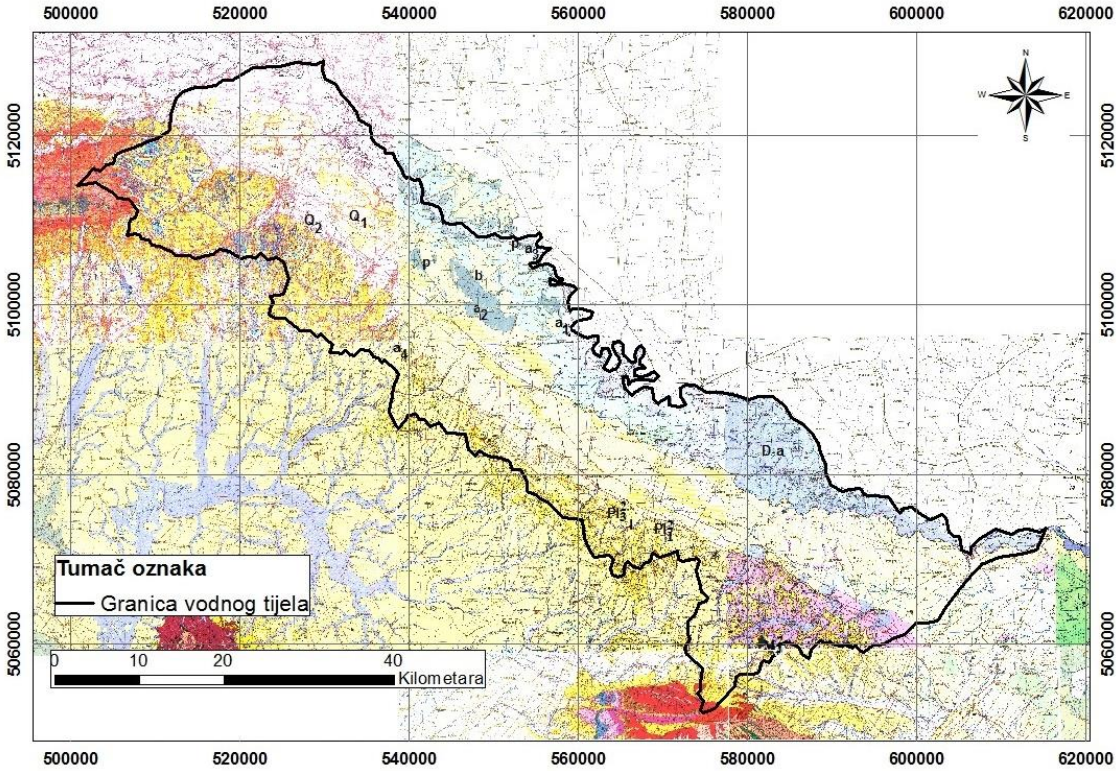
2.2. Geološke značajke

Vodno tijelo Legrad–Slatina obuhvaća dva područja različite geološke građe i morfološkog postanka: zapadni dio Dravske depresije te dijelove Bilogorskog i Papučkog gorja. Dravska depresija je jedna od četiri strukturne regionalne depresije unutar hrvatskog dijela Panonskog bazena (Velić, 2007). Geološki sastav dravske depresije sastoji se od tercijarnih i kvartarnih sedimenata, koji leže diskordantno na paleozojskoj i mezozojskoj podini.

Površinski promatrano, geološka građa sastoji se od sedimentnih stijena koje čine neogenske i kvartarne naslage (Slika 2-2). Neogen započinje transgresijom u donjem miocenu, u tortonu slijedi nova transgresija, a na njega kontinuirano dolaze naslage sarmata i donjeg panona. Taloženjem gornjopanonskih naslaga, dijelom kontinuirano i dijelom transgresivno na starije članove, započinje tonjenje sedimentacijskog prostora. Početkom kvartara dolazi do zahladnjenja. Za vrijeme otapanja leda u Alpama, velika količina šljunkovitog materijala je transportirana i akumulirana u dolini Drave u vrijeme interglacijala te interstadijala.

Drava je mijenjala smjer svoga toka tokom prošlosti, a posljedica toga je jaka erozijska djelatnost. Dravska dolina se početkom neogena počela spuštati te je to trajalo kroz cijeli neogen i kvartar. Od gornjeg panona pojedini dijelovi unutar doline su u relativnom izdizanju, a najznačajnija izdignuta struktura je masiv Bilogore.

Vodno tijelo Legrad–Slatina obuhvaća OGK listove Koprivnice, Đurđevca, Virovitice i Podravske Slatine. Opis pripadnih jedinica preuzet je iz Tumača OGK listova Đurđevca (Hećimović, 1987), Virovitice (Galović i dr., 1981) i Podravske Slatine (Marković, 1986).



Slika 2-2. Geološka karta vodnog tijela Legrad–Slatina; OGK Slatina (Marković, 1985) OGK Virovitica (Galović i dr., 1979); OGK Koprivnica (Šimunić i dr., 1994); OGK Đurđevac (Hećimović, 1987)

Tumač oznaka: a_1 - prva dravska terasa a_2 - druga dravska terasa; a_3 - treća dravska terasa; a_4 - četvrta dravska terasa; l - les; p - eolski pijesci; b - barski sedimenti, D-a - Dravski pijesci i šljunci; M_2^2- torton; Pl_1^2 - donji pliocen; Pl_3^2 - gornji pliocen; Q_1 - pleistocen; Q_2 - holocen

Neogenske naslage zastupljene su slojevima lapora i pijescima, te naslagama šljunka, pijeska i glinama. List Slatina jedini sadrži miocenske naslage, točnije tortonske naslage (M_2^2) koje čine bazalti (β) te lapori i vapnenci. Pjeskoviti lapori i sekundarno kršje litotamnijskog vapnenca obuhvaća malu površinu. Debljina bazalta iznosi preko 100 m, a lapora i vapnenaca do 20 m (Marković i dr., 1986).

Donjopliocenske naslage (Pl_1^2) zastupljene su slojevima lapora i pijesaka, a gornjopliocenske (Pl_3^2) slojevima šljunka, pijeska i gline. Najstariji sediment na listu Virovitica predstavljen je sivim pjeskovitim laporima. Debljine sloja se kreću od 1 cm do nekoliko desetaka centimetara. U krovini se izmjenjuju s pijeskom i prelaze u pijesak. Debljina lapora iznosi 25-35 m. Šljunci, pijesci i gline najčešće su horizontalnog položaja s unakrsnom slojevitošću, a debljina varira i iznosi do 50 m (Galović i dr., 1981).

Kvartarni sedimenti predstavljeni su naslagama pleistocena (Q_1) i holocena (Q_2). Pleistocenski sedimenti predstavljeni su starijim aluvijalnim naslagama, šljuncima i pijescima, te mlađim lesom. Četvrtu (najstariju) aluvijalnu dravsku terasu (a_4) izgrađuju šljunci i pijesci, a uvršteni su u donji do srednji pleistocen. Na području listova Koprivnice i Đurđevca njihova debljina iznosi 50 m.

Treću dravsku terasu (a_3) izgrađuju šljunci i pijesci u kojima se nalaze tanki siltni i glinoviti ulošci. Njihova debljina je oko 100 m. Naslage lesa (l) leže diskordantno na pjeskovitim šljuncima i pijescima četvrte dravske terase. Debljina naslaga lesa iznosi oko 50 m na obroncima Bilogore (Hećimović i dr., 1987) .

Holocen izgrađuje Dravsku nizinu, a izdvojene su naslage pijeska i šljunka druge terase, eolskog pijeska, barski sedimenti i aluvijani dravski nanos. Pijesci i šljunci druge terase (a_2) obično su prekriveni eolskim barskim ili poplavnim sedimentima. Nema podataka o debljini naslaga. Eolski pijesci (p) prekrivaju sjeverne padine Bilogore i dio Dravske nizine. Na obroncima Bilogore im je debljina najčešće oko 2 metra, a u Dravskoj nizini gdje su pretežno prekriveni šumom ili niskim raslinjem debljina im je 20 metara.

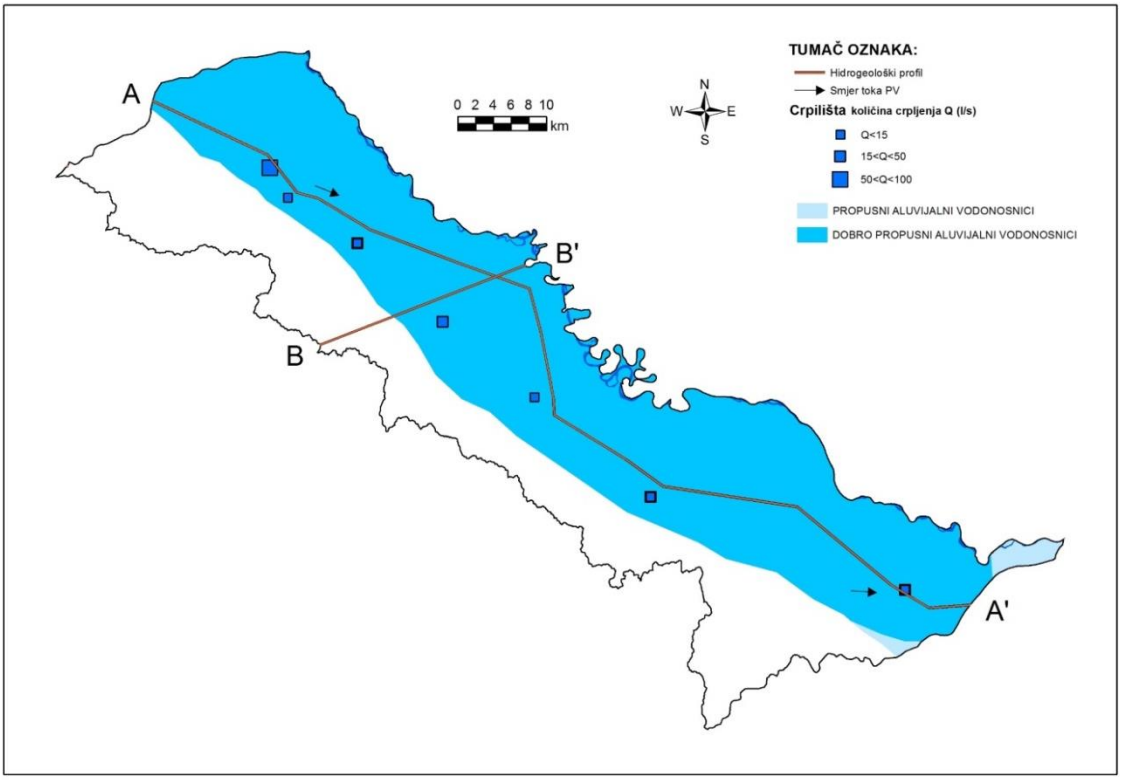
Barski sedimenti (b) nastali su donošenjem materijala rječicama i potocima s Bilogore i Papuka. Debljina barskih sedimenata kreće se od 1-5 m. Uz rijeku Dravu izdvojene su najmlađe holocenske naslage koje se i danas talože. Dravski pijesci i šljunci (D-a) nalaze se na prvoj dravskoj terasi (a_1). Prva terasa ne rasprostire se kontinuirano, već je velikim dijelom razorena današnjim tokom rijeke Drave. Izgrađena je od pijesaka, šljunkovitih pijesaka i pjeskovitih šljunaka. Debljina aluvijanog nanosa nije poznata.

U hidrogeološkom najinteresantniji je kvartarni aluvijalni vodonosnik koji se sastoji od pijeska i šljunka s proslojcima praha i gline. U zapadnim predjelima dominiraju šljunci, a u istočnim prevladavaju srednjo i krupnozrnati pijesci.

Na području Bilogore i Papuka koje pripada vodnom tijelu Legrad–Slatina nema značajnijih vodonosnika. Kvartarni aluvijalni vodonosnik Dravske depresije predstavlja temelj vodoopskrbe u ovom području.

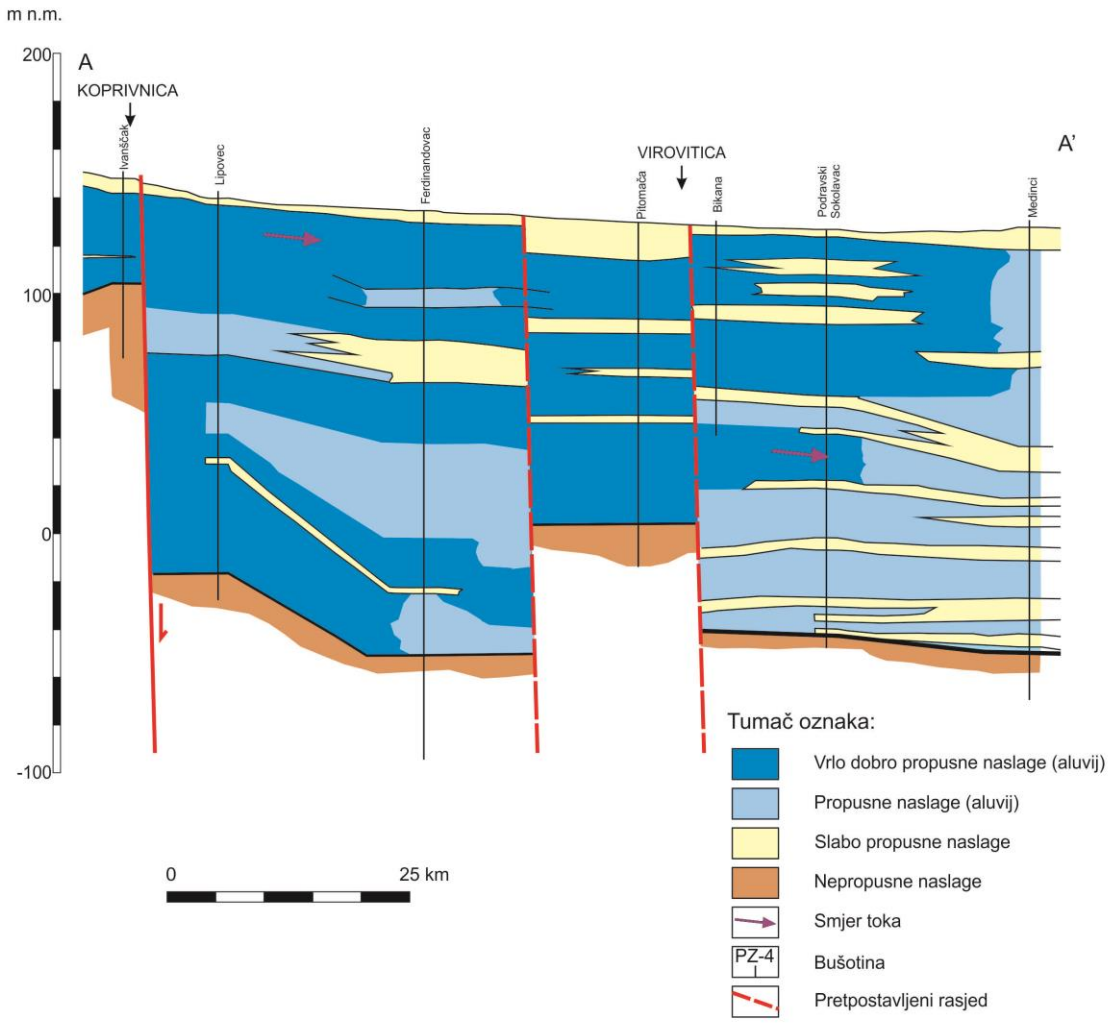
2.3. Hidrogeološke značajke

Rijeka Drava je sa svojom ukupnom slivnom površinom od oko 41 200 km^2 jedna od najvećih rijeka na vodnom području rijeke Dunav. Generalni smjer toka je od sjeverozapada prema jugoistoku (Slika 2-3).



Slika 2-3. Prostiranje glavnih hidrogeoloških značajki osnovnih vodonosnika u grupiranom vodnom tijelu Legrad–Slatina (preuzeto iz Nakić i dr., 2016)

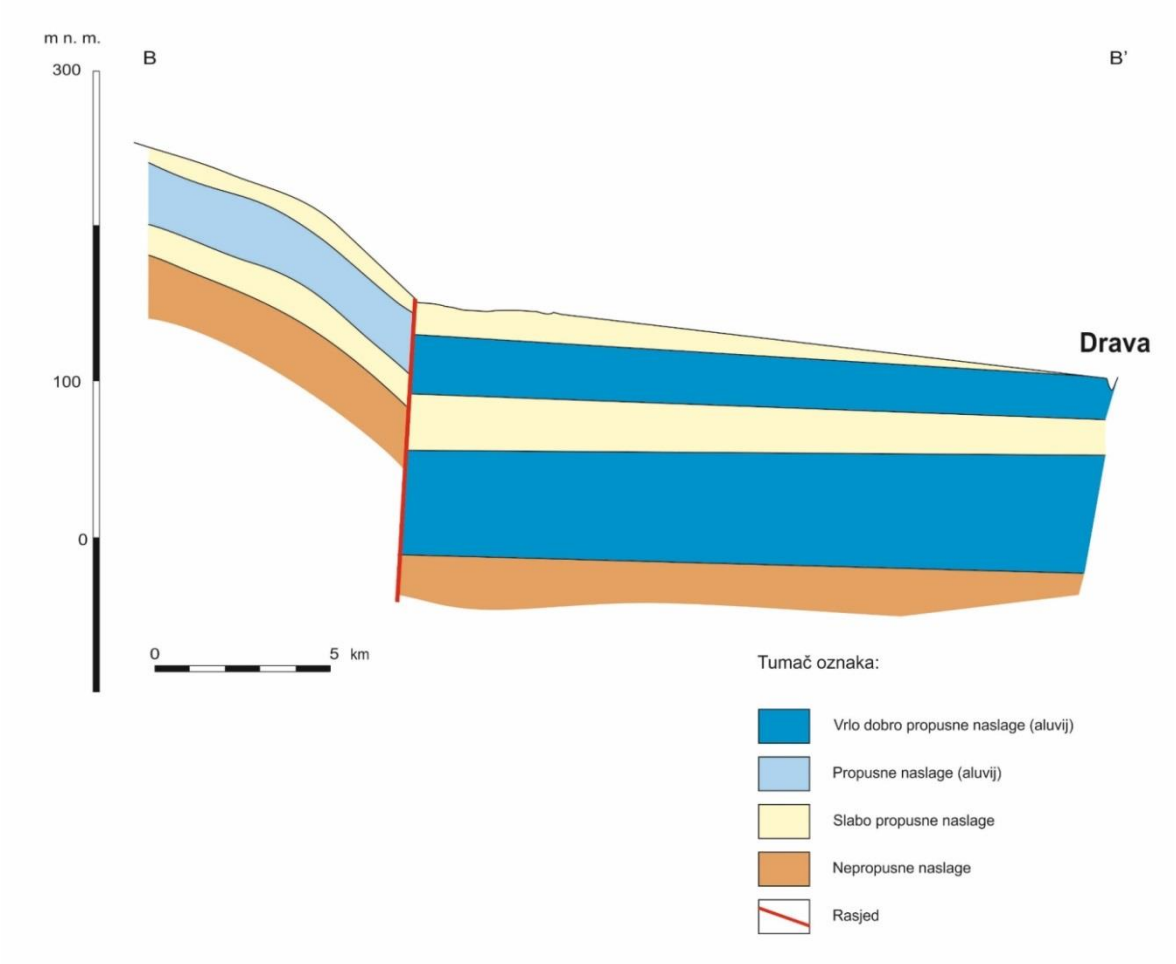
U srednjoj Podravini između Legrada i Podravske Slatine je za vodoopskrbu stanovništva najznačajniji najgornji pjeskoviti i pjeskovito–šljunkoviti vodonosni sloj kvartarne starosti debljine 30 do maksimalno 70 m (Slika 2-4 i 2-5). Prihranjivanje vodonosnog sloja zbiva se infiltracijom oborina kroz slabopropusnu krovinu, kao i procjeđivanjem iz korita Drave u uzvodnom dijelu područja. Veća crpilišta su: Delovi za vodoopskbu Bjelovara (Q=300 l/s), Molve za vodoopskrbu istoimenog plinskog polja (Q=530 l/s), Đurđevac (Q=240 l/s), Bikana za vodoopskrbu Virovitice (Q=210 l/s) i Medinci za vodoopskrbu Podravske Slatine (Q=120 l/s) (Bačani, 2015).



Slika 2-4. Uzdužni shematski hidrogeološki profil u grupiranom vodnom tijelu Legrad–Slatina (preuzeto iz Nakić i dr., 2016)

Hidrogeološki parametri istraživani su na crpilištima duž srednje Podravine. Starijim i novim analizama utvrđene su karakteristične vrijednosti hidrauličke vodljivosti vodonosnika K=15-150 m/dan i koeficijent uskladištenja vodonosnika S=0,1-2*10^{-3} (Nakić i dr., 2016).

Aluvijalni vodonosnici međuzrnske poroznosti formirani unutar velikog sedimentacijskog bazena rijeke Drave bogati su vodom i predstavljaju jedan od glavnih vodoopskrbnih resursa sjevernog dijela Hrvatske. Vodonosnik dravskog bazena se generalno produbljuje od zapada prema istoku, uglavnom ravnomjerno duž pridravske ravnice.



Slika 2-5. Poprečni shematski hidrogeološki profil u grupiranom vodnom tijelu Legrad–Slatina (preuzeto iz Nakić i dr., 2016)

3. Metode istraživanja

U ovom diplomskom radu obrađeni su podaci o razinama podzemne vode na području vodnog tijela Legrad–Slatina. Podaci su preuzeti iz projekta „Definiranje trendova i ocjena stanja podzemnih voda na području panonskog dijela Hrvatske“ koji je provodio Rudarsko-geološko-naftni fakultet u suradnji s Hrvatskim vodama (Nakić i dr., 2016). Korišteni su podaci o oborinama dostupni sa meteorološke postaje Slatina čije mjerenje se obavlja svakog dana, a vrši ga Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ). U diplomskom radu obrađeni su podaci o razinama podzemnih voda u razdoblju od 1.10.2013. do 30.9.2014. godine.

3.1. Alati za obradu i prikaz podataka

U diplomskom radu korišteni su alati Microsoft Excel, Surfer, ArcMap i AutoCAD. Program Microsoft Excel je razvila tvrtka Microsoft te čini sastavni dio programskog paketa Microsoft Office. Mogućnosti su mu brojne, koristi se za analizu podataka, organizaciju podataka, stvaranje liste ili baze podataka. Microsoft Excel uglavnom služi za rješavanje problema matematičkog tipa pomoću tablica i polja koje je moguće povezivati različitim formulama. Može poslužiti i za izradu jednostavnijih baza podataka. Sadrži alate za analizu koji omogućuju kreiranje tablica i generiranje grafikona iz podataka u proračunskim tablicama. U ovom radu korišten je za statističku obradu podataka o razinama podzemne vode.

Program Surfer je razvila tvrtka Golden Software Inc, a koristi se za prikaz grafičke interpolacije, prikaz površine terena u 2D i 3D obliku, prikaz površinske analize, prikaz konturnih karata, prijelomnih karata te još mnogo toga. U ovom radu korišten je za izradu karata ekvipotencijala visokih i niskih voda i karte amplituda kolebanja podzemnih voda pomoću unesenih koordinata piezometara te pripadajućih razina podzemnih voda u razdoblju od 1.10.2013. do 30.9.2014. godine.

Komponenta ArcMap služi za pregled, uređivanje, stvaranje i analiziranje geoprostornih podataka. Dio je ESRI (ESRI - engl. Enviromental Systems Research Institute) ArcGIS paketa, a omogućuje korisniku da istražuje podatke unutar skupa podataka, simbolizira njihova obilježja i stvara pripadajuće karte koje je kasnije moguće

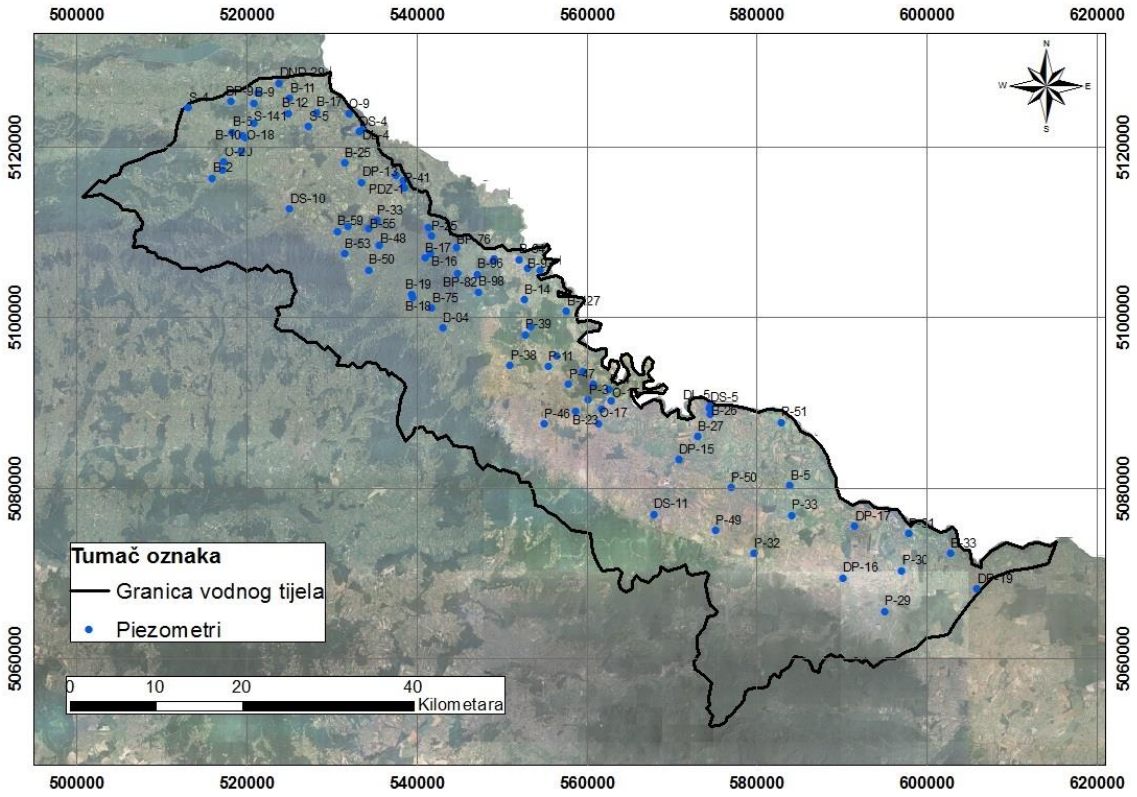
prebacivati u druge programe u grafičkom i negrafičkom obliku. U ovom radu ArcMap korišten je za prikaz područja te na njemu pozicioniranih piezometara, meteorološke stanice i pozicioniranje karata ekvipotencijala na području koje su ranije dobivene u programu Surfer. Također, u ArcMapu je pozicioniran profil.

Alat AutoCAD razvijen je od strane Autodesk-a, omogućava 2D i 3D projektiranje kompleksnih objekata koje je moguće prikazati u raznim presjecima te ih naginjati i okretati u svim smjerovima. AutoCAD karakterizira sofisticirani sustav mjerila i visoka preciznost koja zadovoljava i najstrožije tehničke standarde. U oba režima (2D i 3D) omogućuje konstruiranje, mjerenje udaljenosti i kuteva sa proizvoljnom preciznošću crtanjem u prostoru modeliranja ili papira na proizvoljnom broju radnih listova, koji se mogu različito formatirati. U ovom diplomskom radu korišten je za izradu profila A-B koji prikazuje amplitudu kolebanja razine podzemne vode.

3.2. Rezultati obrade podataka

Podaci koji su korišteni u ovom diplomskom radu obrađeni su u ranije navedenim programima.

Korišteni su podaci 86 piezometara (Slika 3-1) te jedne meteorološke postaje. Svi piezometri se nalaze u dolinskom dijelu vodnog područja tako da se i obrada podataka prikazana u nastavku odnosi na aluvijalni vodonosnik u dolini Drave. Za izradu karata ekvipotencijala odabrana su dva datuma koja se koriste, jedan u kojem većina piezometara ima maksimalne razine (15.9.2014.) i jedan u kojem većina ima minimalne razine (31.10.2013.) što je vidljivo u Tablici 3-1.



Slika 3-1. Prikaz piezometara na vodnom tijelu Legrad–Slatina

Tablica 3-1. Korišteni podaci za izradu karata ekvipotencijala

	Koordinata X	Koordinata Y	Niske vode 31.10.2013.	Visoke vode 15.9.2014.	Amplituda kolebanja RPV
B-9	520907,85	5125211,77	134,34	135,9	1,56
B-10	519616,49	5121415,12	137,58	139,9	2,32
B-16	541692,16	5107499,29	115,64	116,92	1,28
B-17	541031,58	5106994,78	116,4	117,7	1,3
B-18	539514,41	5102322,63	118,21	121,46	3,25
B-19	539500,35	5102697,41	123,11	126,06	2,95
B-23	558675,86	5088999,15	109,14	110,08	0,94
B-25	559566,01	5093680,7	103,15	104,54	1,39
B-26	574592,95	5088681,19	101,12	101,73	0,61
B-27	573070,53	5086025,02	102,84	105,25	2,41
B-33	602747,48	5072238,3	95,41	97,29	1,88
DND-29	523900,95	5127545,52	131,63	132,64	1,01
O-9	532048,55	5123954,18	122,12	125,12	3
O-18	519951,27	5121163,42	137,17	138,59	1,42
O-19	519493,54	5119558,67	138,94	140,49	1,55
O-20	517395,88	5118315,99	145,46	147,35	1,89
S-141	520872,83	5122830,94	134,93	136,55	1,62
S-4	513192,32	5124686,93	142,47	143,47	1
S-5	527348,07	5122474,24	127,74	129,36	1,62
B-2	516036,7	5116414,23	152,82	153,43	0,61
B-6	518375,79	5121818,71	138,84	140,45	1,61
B-11	525066,79	5125760,41	131,45	133,47	2,02
B-12	524967,47	5124030,39	131,24	132,88	1,64
B-17	528218,4	5124154,83	127,97	129,36	1,39
B-25	531570	5118156,57	123,09	124,81	1,72
B-48	535685,77	5108490,2	119,26	121,26	2
B-50	534355,72	5105566,82	119,73	121,34	1,61
B-53	531555,31	5107484,24	123,28	124,4	1,12
B-55	534453,46	5110409,17	121,72	123,14	1,42
B-58	531972,09	5110733,42	123,19	125,33	2,14
B-59	530674,76	5110107,9	123,67	127,9	4,23
B-75	541824,14	5101130,98	118	120,25	2,25
B-80	548998,35	5106692,87	111,74	114,16	2,42
B-84	543103,2	5098798,76	115,4	116,78	1,38
B-92A	554592,39	5105516,09	108,06	109,2	1,14
B-93	553088,48	5105816,8	109,16	110,06	0,9
B-94	552036,94	5106792,14	109,27	111,03	1,76
B-96	547119,18	5105095,23	112,18	114,18	2
B-98	547248,74	5102996,38	112,99	113,98	0,99
B-112	556556,53	5095486,41	106,44	107,67	1,23

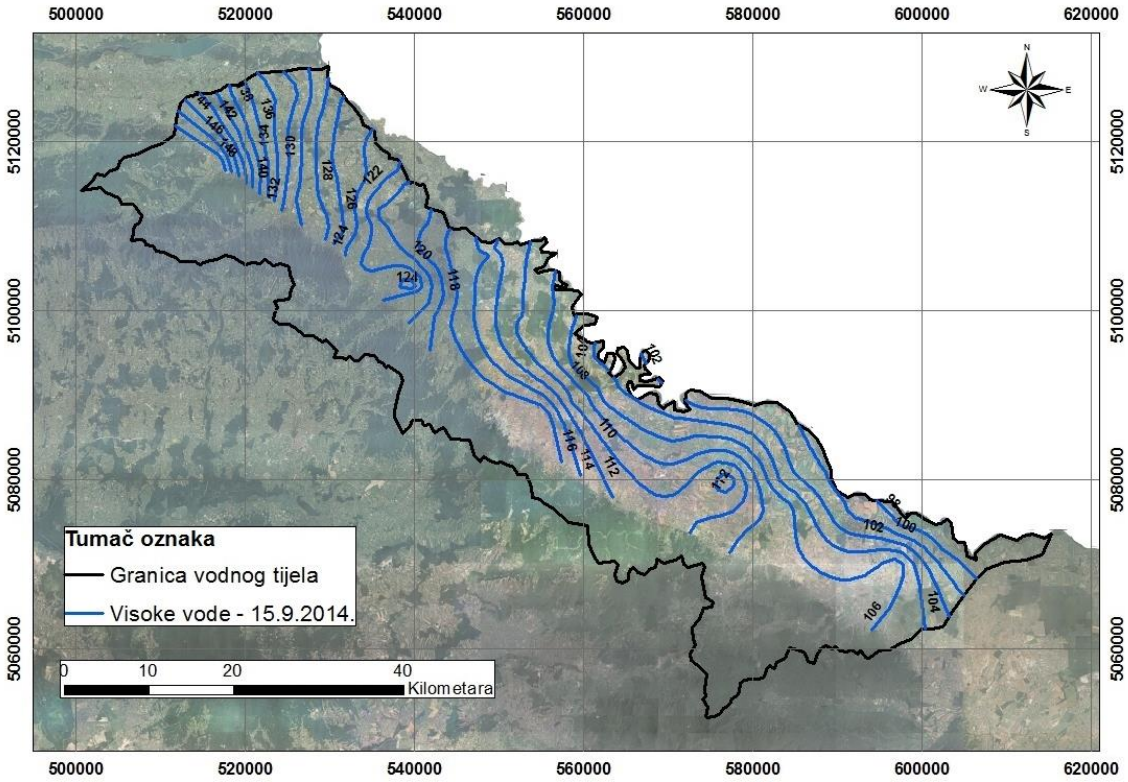
Nastavak Tablice 3-1. Korišteni podaci za izradu karata ekvipotencijala

	Koordinata X	Koordinata Y	Niske vode 31.10.2013.	Visoke vode 15.9.2014.	Amplituda kolebanja RPV
B-120	560832,84	5092159,25	104,58	105,55	0,97
B-127	557625,82	5100741,42	106,59	107,44	0,85
P-3	560239	5090336,76	107,54	108,18	0,64
P-4	562630,06	5091526,92	101,13	105,09	3,96
P-11	555477,15	5094220,89	107,6	108,76	1,16
P-15	553468,5	5098968,87	108,19	109,83	1,64
P-25	541762,49	5109550,88	115,51	117,36	1,85
P-33	535423,61	5111414,58	119,06	119,71	0,65
P-41	538609,39	5115209,1	117,79	120,21	2,42
O-15	562930,51	5090229,33	103,35	104,53	1,18
O-16	561828,09	5089176,42	105,82	106,79	0,97
O-17	561447,11	5087521,96	107,88	108,7	0,82
PD-1/1	537653,08	5116703,23	119,1	122,19	3,09
PDZ-1	538465,35	5116111,49	118,28	121,86	3,58
PDZ-8	541353,64	5110601,3	116,49	118,46	1,97
OK-9/1	549167,74	5106886,09	109,94	112,05	2,11
BP-76	544734,86	5108225,74	113,13	115,5	2,37
BP-82	544840,04	5105139,3	116,91	115,4	-1,51
DL-4	533617,14	5122184,63	122,43	125,23	2,8
DL-5	574559,69	5089652,78	98,88	100,46	1,58
DS-4	533261,83	5121828,88	122,9	124,29	1,39
DS-5	574464,18	5089412,93	99,95	100,74	0,79
DS-9	517228,65	5117373,78	146,69	148,51	1,82
DS-10	525132,64	5112792,61	129,28	130,7	1,42
DS-11	567965,66	5076851,31	109,64	110,45	0,81
DP-9	518184,63	5125425,32	136,78	138,31	1,53
DP-11	521388,65	5126440,94	133,76	134,96	1,2
DP-13	533583,07	5115885,33	123,05	124,7	1,65
DP-15	570838,41	5083290,52	105,67	106,73	1,06
DP-16	590127,78	5069382,03	104,48	105,49	1,01
DP-17	591520,04	5075469,73	98,95	100,16	1,21
DP-19	605871,99	5068114,59	96,74	98,36	1,62
B-5	583896	5080272,94	101,91	102,59	0,68
B-14	552681,06	5102119,54	108,12	110,05	1,93
P-29	595012,93	5065439,46	104,61	106,29	1,68
P-30	597065,03	5070216,23	105,44	107,07	1,63
P-31	597862,07	5074601,41	96,02	97,62	1,6
P-32	579677,67	5072291,93	105,86	106,95	1,09
P-33	584122,12	5076751,32	106,59	106,83	0,24
P-38	551031,64	5094370,31	110,73	112,31	1,58
P-39	552781,74	5097993,79	107,8	109,25	1,45

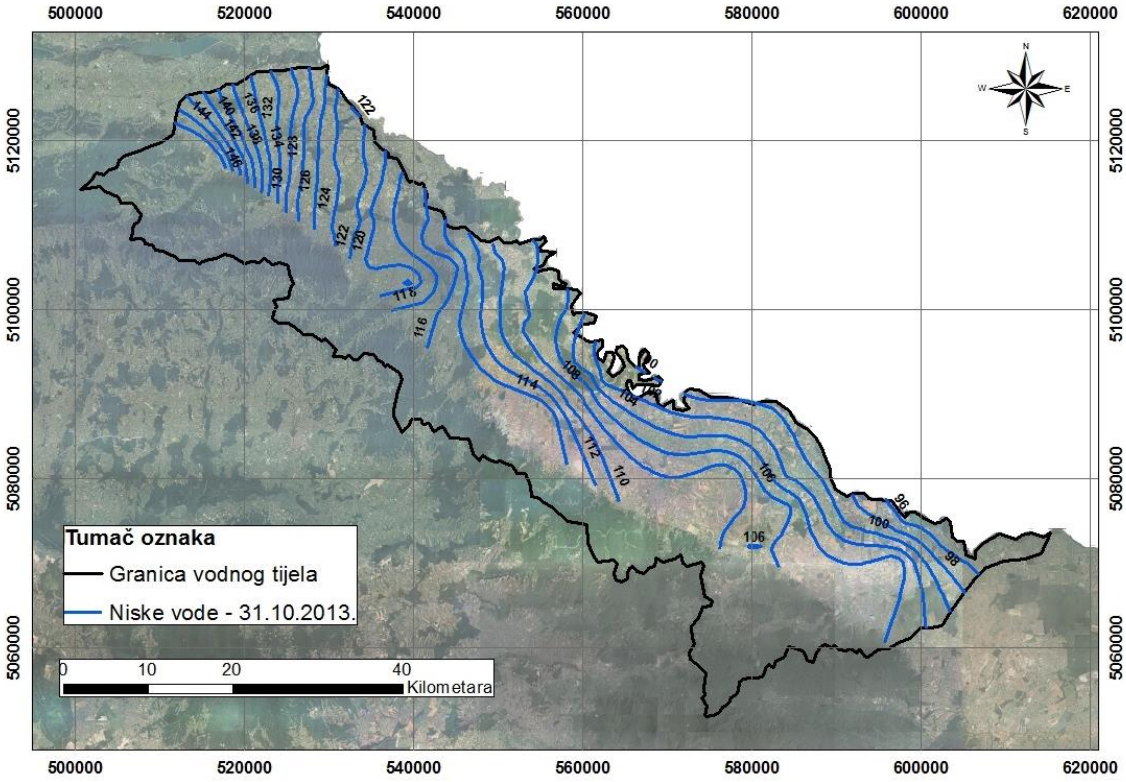
Nastavak Tablice 3-1. Korišteni podaci za izradu karata ekvipotencijala

	Koordinata X	Koordinata Y	Niske vode 31.10.2013.	Visoke vode 15.9.2014.	Amplituda kolebanja RPV
P-46	555010,44	5087499,02	117,02	118,13	1,11
P-47	557900,97	5092178,13	107,45	108,76	1,31
P-49	575127,99	5074994,24	108,83	109,6	0,77
P-50	577020,04	5080024,85	110,15	113,3	3,15
P-51	582869,34	5087697,47	100,2	100,79	0,59

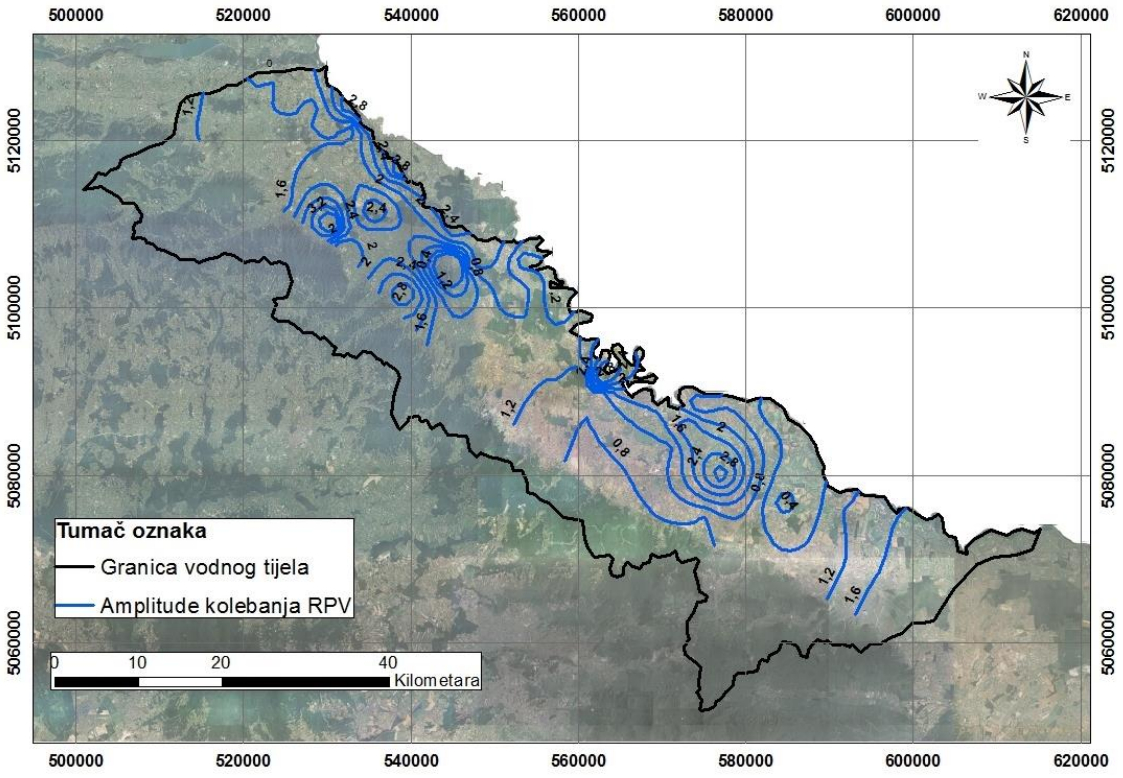
Interpolacijom u programu Surfer, a potom grafičkom obradom u programu ArcMap, dobivene su karte ekvipotencijala za maksimalne (Slika 3-2) i minimalne razine podzemne vode (Slika 3-3) iz kojih je vidljivo da je generalni smjer toka podzemne vode od sjeverozapada prema jugoistoku. Oduzimanjem njihovih vrijednosti dobivena je karta amplituda kolebanja između maksimalnih i minimalnih razina podzemne vode (Slika 3-4).



Slika 3-2. Maksimalne razine podzemnih voda vodnog tijela Legrad–Slatina



Slika 3-3. Minimalne razine podzemnih voda vodnog tijela Legrad–Slatina



Slika 3-4. Amplitude kolebanja između maksimalne i minimalne razine podzemnih voda vodnog tijela Legrad–Slatina

4. Određivanje sezonskih zaliha podzemnih voda

Kategorije zaliha određuje „Pravilnik o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi podzemnih voda i vođenju evidencije o njima“. Postoji više kategorija zaliha i tipova zaliha. Točnošću poznavanja količina podzemnih voda istraženog sustava (crpilišta, sliva, sloja ili područja) odnosno stupnjem istraženosti područja definirane su te kategorije. Pripadnost količine vode određenoj kategoriji označava točnost s kojom tu količinu poznajemo (Bačani, 1997).

Prema tipu razlikuju se zalihe u prirodnim uvjetima i zalihe koje se mogu eksploatirati (Miletić i Heinrich-Miletić, 1985). Zalihe u prirodnim uvjetima dijele se na stalne i sezonske. Stalne (neobnovljive) zalihe podzemne vode u otvorenom vodonosniku predstavljaju volumen vode koji se nalazi unutar vodonosnog sloja ispod najnižeg zabilježenog vodostaja. Sezonske (obnovljive) zalihe predstavljaju količinu vode koja tijekom vlažnog perioda godine puni vodonosnik, a određuju se kao volumen vode koji se nalazi u području između najnižeg i najvišeg izmjerenog vodostaja u određenoj godini (Miletić i Heinrich-Miletić, 1985).

U zatvorenim i poluzatvorenim vodonosnim slojevima, stalne zalihe označava količina vode u porama saturiranog vodonosnog sloja koja je uvečana za količinu iz uskladištenja za najniži zabilježeni tlak. Sezonske zalihe označavaju količinu vode koja se dobije iz uskladištenja za sezonski pad tlaka, odnosno to je podzemna voda koja se svake godine obnavlja infiltracijom oborina, procjeđivanjem iz vodotoka ili drugih površinskih voda ili dotječe podzemljem iz drugih područja (Bačani, 1997).

Sezonske zalihe u otvorenom sloju računaju se:

$$Q_{sezon} = F \times \Delta h \times n_1 \quad (\mathrm{m^3/god}) \qquad (4\text{-}1)$$

gdje je:

Q_{sezon} - sezonske godišnje zalihe (m^3/god)

F - površina prostiranja vodonosnih taložina (m^2)

Δh - amplituda sezonskog kolebanja slobodne razine vode (m)

n_1 - poroznost vodonosnih taložina (%)

Površina dolinskog dijela vodnog tijela preuzeta je iz literature (Nakić i dr., 2016), a podaci o efektivnoj poroznosti odabrani su iz literature (Spitz & Moreno, 1996; Walton, 1970) obzirom da se radi o srednje–krupnozrnatim pijescima i šljuncima sa prahom. Na temelju podataka iz Tablice 4-1 dobivena je vrijednost sezonskih zaliha podzemnih voda u periodu od 1.10.2013. do 30.9.2014. za vodno tijelo Legrad–Slatina koja je vidljiva u Tablici 4-2.

Tablica 4-1. Podaci o površini dolinskog dijela vodnog tijela (F), amplitudi sezonskog kolebanja slobodne razine vode (Δh) i poroznosti (n_1)

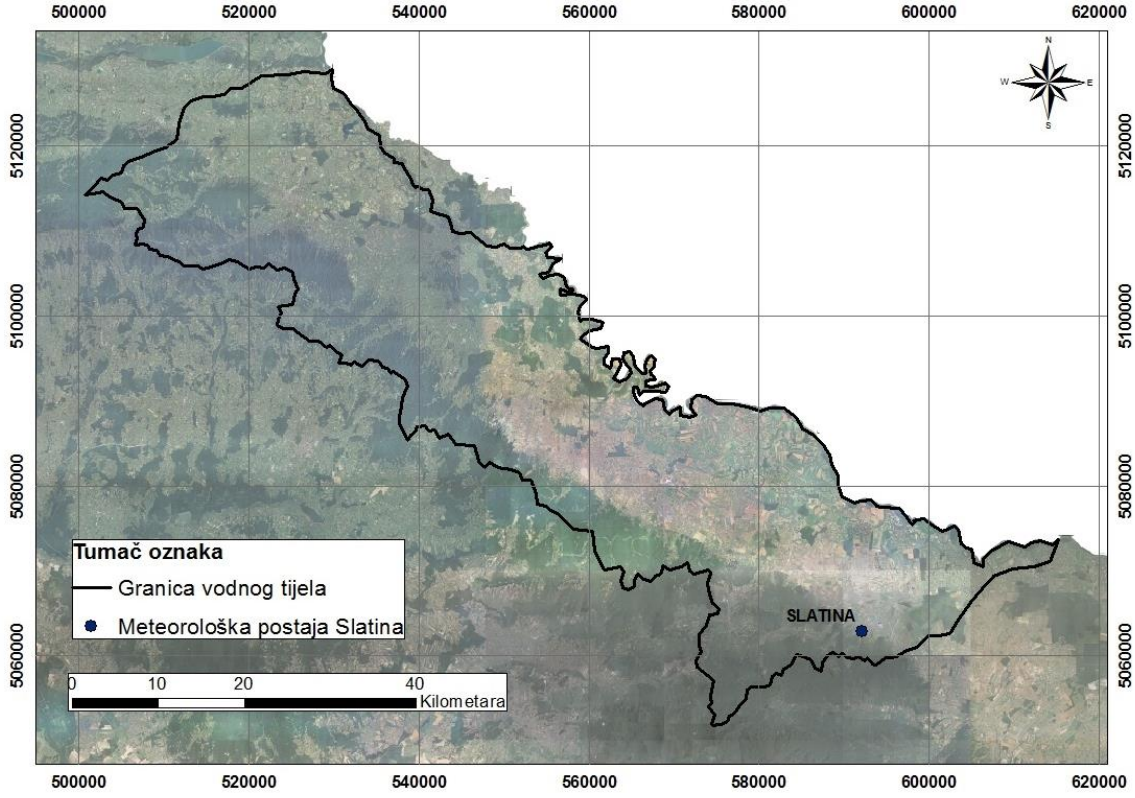
F(m^2)	**Δh (m)**	**n_1(%)**
$1{,}55 \times 10^9$	1,58	12

Tablica 4-2. Vrijednost sezonskih zaliha podzemnih voda (Q_{sezon}) u periodu od 1.10.2013. do 30.9.2014. za vodno tijelo Legrad–Slatina

PODRUČJE	**RAZDOBLJE**	**Q_{sezon}(m^3/god)**
Vodno tijelo Legrad–Slatina	1.10.2013. - 30.9.2014.	$2{,}94 \times 10^8$

4.1. Udio oborina u sezonskim zalihama podzemnih voda

Na području vodnog tijela Legrad–Slatina dostupni su podaci sa meteorološke postaje Slatina čije mjerenje vrši Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ). Postaja je smještena pokraj državne ceste D34 te se nalazi južno od naselja Markovo na geografskoj 45°42' sjeverno i geografskoj dužini 17°41' istočno (Slika 4-1). Klimatološke (obične meteorološke) postaje prate meteorološke pojave tijekom dana i obavljaju motrenja u 7, 14 i 21 h srednjeg lokalnog vremena. Dnevnici motrenja se u Državnom hidrometeorološkom zavodu unose u računalo, kontroliraju i arhiviraju.



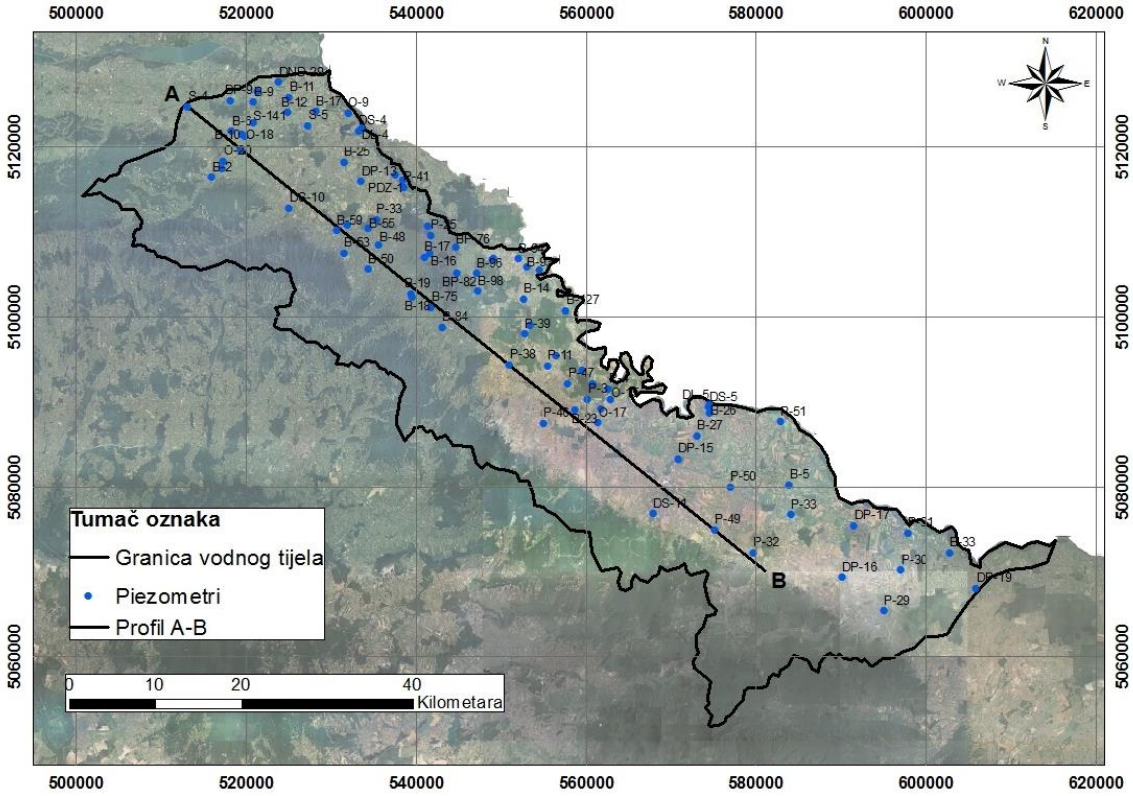
Slika 4-1. Prikaz meteorološke postaje Slatina na području vodnog tijela Legrad–Slatina

U ovom diplomskom radu korišteni su podaci o oborinama na temelju kojih je određen udio oborina u dobivenim sezonskim zalihama podzemnih voda u vodnom tijelu. Ukupna količina oborina u promatranom razdoblju iznosi 928,6 mm.

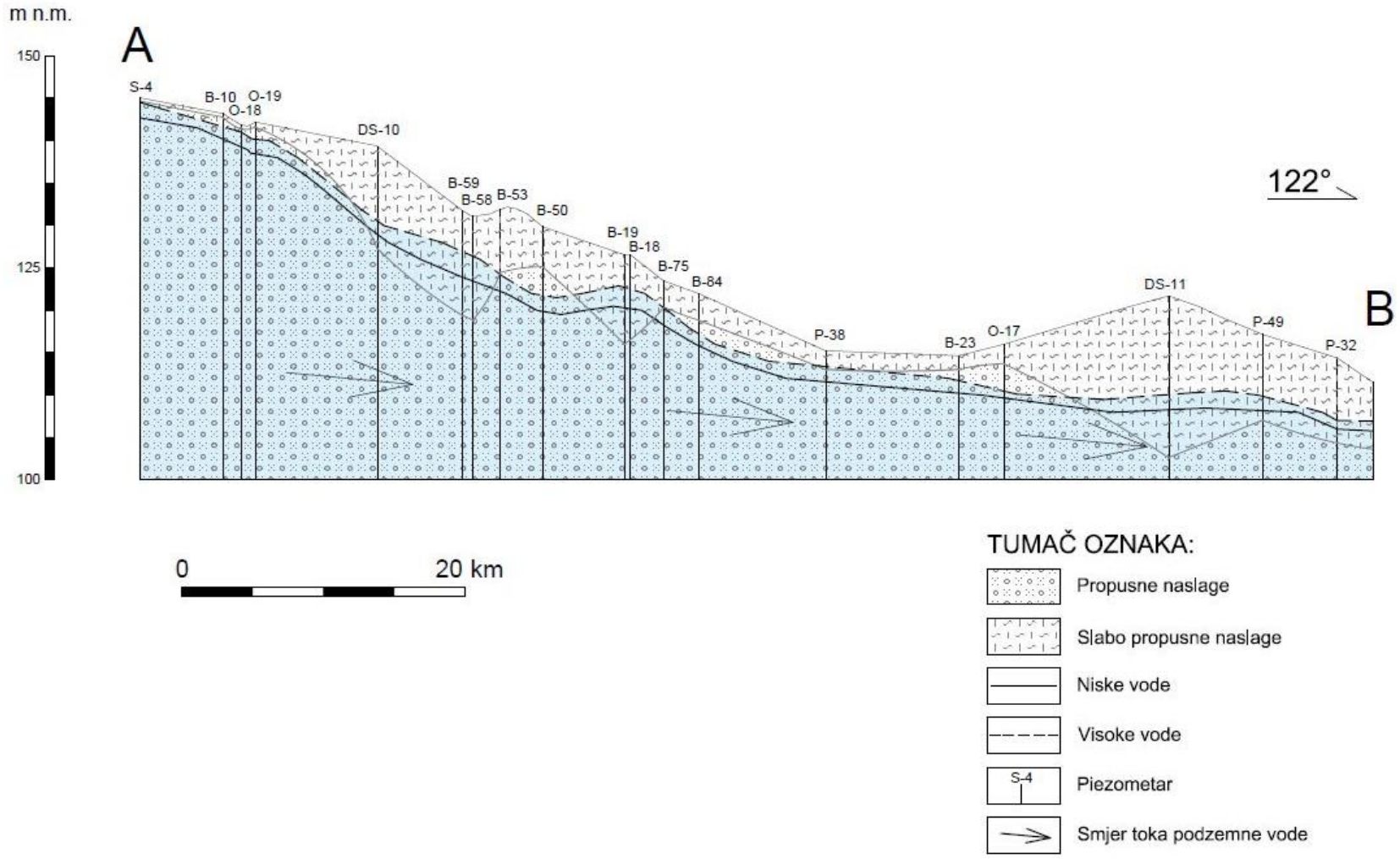
Na temelju prethodnih podataka vidljivo je da sezonskim zalihamama podzemnih voda pripada 20% ukupnog volumena oborina u periodu od 1.10.2013. do 30.9.2014. za vodno tijelo Legrad–Slatina.

4.2. Profil istraživanog područja

Prostorni položaj profila na karti prikazan je na Slici 4-2. Na temelju karata ekvipotencijala za niske i visoke vode te podataka o razinama podzemne vode u piezometrima koji se nalaze u blizini profila, izrađen je shematski profil A-B koji prikazuje amplitudu kolebanja razine podzemne vode (Slika 4-3).



Slika 4-2. Položaj profila A-B



Slika 4-3. Shematski profil amplitude kolebanja razine podzemne vode

5. Zaključak

U okviru ovog diplomskog rada određene su sezonske zalihe podzemnih voda na području vodnog tijela Legrad–Slatina za razdoblje od 1.10.2013. do 30.9.2014. godine. Korišteni su podaci 86 piezometara te jedne klimatološke meteorološke postaje.

Na temelju razina podzemne vode odabrana su dva datuma koja se koriste u ovom radu, jedan u kojem većina piezometara ima maksimalne razine (15.9.2014.) i jedan u kojem većina ima minimalne razine (31.10.2013.).

Podaci su obrađeni računalnim programima Microsoft Excel, Surfer, ArcMap i AutoCAD. Analiza je obuhvaćala izradu karata ekvipotencijala za niske i visoke vode, interpolacijom u programu Surfer, a potom grafičkom obradom u programu ArcMap.

Na temelju podataka dobivena je karta amplituda kolebanja između maksimalnih i minimalnih razina podzemne vode.

Iz podataka srednje amplitude i poroznosti dobivena je vrijednost sezonskih zaliha $Q_{sezon} = 2940 \times 10^5\ m^3/god.$

Na temelju podataka o količini oborina dobiveno je da sezonskim zalihama podzemnih voda pripada 20% ukupnog volumena oborina u periodu od 1.10.2013. do 30.9.2014. za vodno tijelo Legrad–Slatina.

Na temelju karata ekvipotencijala za niske i visoke vode te podataka o razinama podzemne vode u piezometrima koji se nalaze u blizini profila, izrađen je shematski profil u programu AutoCAD koji prikazuje amplitudu kolebanja razine podzemne vode koja se kreće od 114,41 do 145,04 m.

6. Literatura

BAČANI, A., 2015. *Hidrogeologija 2*. Interna skripta, RGNF Sveučilišta u Zagrebu.

BAČANI, A., 1997. *Značajke hidrauličkih granica vodonosnih slojeva na vododjelnici savskog i dravskog porječja u istočnoj Slavoniji.* Disertacija. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, RGN fakultet

GALOVIĆ, I., MARKOVIĆ, S., 1979. *Osnovna geološka karta 1:100 000,* list Virovitica L33-83. Institut za geološka istraživanja Zagreb, 1971-1975. Savezni geološki zavod, Beograd.

GALOVIĆ, I., MARKOVIĆ, S., MAGDALENIĆ, Z., 1981. *Osnovna geološka karta 1:100 000, Tumač za list Virovitica L33-83*. Institut za geološka istraživanja Zagreb, 1971-1975. Savezni geološki zavod, Beograd.

HEĆIMOVIĆ, I., 1987. *Osnovna geološka karta 1:100 000, list Đurđevac L33-71*. Institut za geološka istraživanja Zagreb, 1986. Savezni geološki zavod, Beograd.

HEĆIMOVIĆ, I., 1987. *Osnovna geološka karta 1:100 000, Tumač za list Đurđevac L33-71*. Institut za geološka istraživanja Zagreb, 1986. Savezni geološki zavod, Beograd

MARKOVIĆ, S., 1985. *Osnovna geološka karta 1:100 000, list Podravska Slatina L 33-84*. Institut za geološka istraživanja Zagreb, 1981-1984. Savezni geološki zavod, Beograd.

MARKOVIĆ, S., 1986. *Osnovna geološka karta 1:100 000, Tumač za list Podravska Slatina L 33-84*. Institut za geološka istraživanja Zagreb, 1981-1984. Savezni geološki zavod, Beograd.

MILETIĆ P. I HEINRICH-MILETIĆ M. (1985): *Metodološki pristup istraživanju i gospodarenju rezervama podzemnih voda*. Jugoslavenski komitet svjetskih kongresa za naftu, Nafta, Zagreb.

NAKIĆ, Z., BAČANI, A., PARLOV, J., DUIĆ, Ž., PERKOVIĆ, D., KOVAČ, Z., TUMARA, D., MIJATOVIĆ, I., ŠPOLJARIĆ, D., UGRINA, I., STANEK, D., SLAVINIĆ, P., 2016. „*Definiranje trendova i ocjena stanja podzemnih voda na području panonskog dijela Hrvatske"*. Studija. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, RGN fakultet, OP 2015/ 24.

SPITZ, K., MORENO, J., 1996. *A Practical Guide to Groundwater and Solute Transport Modeling*. John Wiley and Sons, New York, 480 str.

ŠIMUNIĆ, A., HEĆIMOVIĆ, I., AVANIĆ, R., 1994. *Osnovna geološka karta 1:100 000, list Koprivnica*. Institut za geološka istraživanja Zagreb

VELIĆ, J., 2007. *Geologija ležišta nafte i plina*. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

WALTON, W. C., 1970. *Groundwater Resource Evaluation*. Mcgraw – Hill Book Company, New York, NY, 664 str.

www izvori:

DHMZ. *Glavne meteorološke postaje* http://meteo.hr/index.php (dostupno 1.8.2016. u 16:45)

NARODNE NOVINE. Plan upravljanja vodnim područjima – Dodatak I. *Analiza značajki Vodnog područja rijeke Dunav*
URL: http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/dodatni/427137.pdf (dostupno 10.8.2016. u 17:28)