Izvedba bušotine Boš - 1 na geotermalnom polju "Bošnjaci - sjever"

Bilić, Tena

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:169:683131

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

IZVEDBA BUŠOTINE BOŠ – 1 NA GEOTERMALNOM POLJU «BOŠNJACI –SJEVER»

Diplomski rad

Tena Bilić
GI 237

Zagreb, 2016.

Iskreno se zahvaljujem profesoru i mentoru doc. dr. sc. Željku Duiću koji je prihvatio i obradio sa mnom ovu specifičnu temu - zahvaljujem mu se na svim savjetima i uputama tijekom izrade ovog diplomskog rada.

Izričitu zahvalnost želim uputiti kolegama i savjetnicima bez kojih se ne bih odvažila upisati ovaj fakultet te koji su me prvi upoznali s ovom strukom kako bih i sama postala dio nje, mr. dipl. ing. Slobodanu Kolbahu i dipl. ing. Mladenu Škrlecu. Bez njih niti ovaj rad ne bi bio moguć.

Posebno se želim zahvaliti svojim kolegama i prijateljima koji su mi bili potpora tijekom cijelog studiranja te su ga učinili još boljim i zanimljivijim. S njima je svaka prepreka savladana na najbolji način.

Na kraju, oni bez kojih ništa od ovoga nije bilo moguće, koji me podupiru u svemu i koji me izvode na pravi put tijekom cijelog mog života. Hvala mojim roditeljima te bratu i sestri.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

IZVEDBA BUŠOTINE BOŠ – 1 NA GEOTERMALNOM POLJU «BOŠNJACI – SJEVER»

TENA BILIĆ

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

Sažetak

Područje proučavanog prostora geotermalnog polja Bošnjaci – sjever nalazi se u JI dijelu Panonskog bazenskog sustava tj. u Slavonsko-srijemskoj depresiji. Cilj ovog istraživanja bio je dohvatiti županjske pješčenjake formacije Vera koji su pješčenjačka ležišta primarne (prvotne) šupljikavosti. Korelativnom metodom pomoću bušotine Županja – 2 smještena je bušotina Bošnjaci – 1 kako bi se osigurano dodatan energent za grijanje staklenika s hidroponskim uzgojem rajčice. Početni parametar koji je bio povod bušenju je povoljan geotermijski gradijent koji za ovo područje iznosi 61 °C/km kao i prisutnost karbonata mezozjske starosti. Radom je prikazan sažeti tijek istraživačkih radova kako na samoj lokaciji bušotine Boš – 1 tako i uz pomoć laboratorijskih ispitivanja pomoću kojih su utvrđeni povoljni hidrodinamički parametri te geološko – fizikalne karakteristike ležišnih stijena utvrđene pomoću prijašnjih i novih istraživanja. Utvrđena je rentabilnost bušotine čime je otvorena mogućnost korištenja geotermalne vode u energetske svrhe, ali je dobiven i dovoljan broj podataka za nastavak istraživanja.

Ključne riječi: geotermalna energija, polje Bošnjaci – sjever, bušotina Boš-1

Diplomski rad sadrži: 42 stranice, 2 tablice, 24 slika, 1 priloga i 38 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakultet

Mentor: Doc. dr. sc. Željko Duić

Ocjenjivači: Doc dr. sc. Željko Duić
Izv. prof. dr. sc. Tomislav Malvić
Doc. dr. sc. Dario Perković

Datum obrane: 16.12.2016.

University of Zagreb Master's Thesis
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

CONSTRUCTION BOŠ – 1 WELL ON GEOTHERMAL FIELD «BOŠNJACI – NORTH»

Tena Bilić

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

SUMMARY

The area studied is the geothermal Bošnjaci – North Field, located in the SE part of the Pannonian Basin System, i.e., in the Slavonia-Srijem Depression. This initiated the research whose aim was to reach the Županja Sandstones of the Vera Formations, a sandstone reservoirs of the primary (original)porosity . Using the correlative method, the Županja – 2 well was used to locate the Bošnjaci – 1 well to provide additional energy for heating greenhouses, used for hydroponic cultivation of tomatoes. The initial parameter, which triggered drilling was a favorable geothermal gradient which, for this area, amounts to 61 ° C/km, as well as the presence of Mesozoic carbonates. This Thesis shows all stages of the research: summarized course of investigative work, laboratory tests by which favorable hydrodynamic parameters were established as well as geological and physical characteristics of collector rocks, determined by the previous and current research. The aforementioned studies determined the viability of the well, thus establishing the possibility of using geothermal water for energy purposes. Also, a sufficient number of data for further research was obtained

Keywords: geothermal energy, Bošnjaci – North Field, well Boš-1

Thesis contains: 42 pages, 2 tables, 24 figures, 1 appendices and 38 references

Original in: Croatian

Thesis deposited at: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Supervisor: Assistant Professor Željko Duić, PhD

Reviewers: Assistant Professor Željko Duić, PhD
Associate Proffesor Tomislav Malvić, Phd
Assistant Proffesor Dario Perković, PhD

Date of defense: December 16, 2016.

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. TEORIJSKE OSNOVE 2

2.1. Osnovni indikatori geotermijskih pogodnosti i obilježja izravnog korištenja geotermalnih ležišta na području hrvatskog dijela Panonskog bazenskog sustava . 5

2.2. Osnovna geotermijska obilježja utvrđenog geotermalnog ležišta na istraživačkom prostoru «Bošnjaci – sjever» 8

3. OPIS ISTRAŽIVAČKOG PROSTORA 9

3.1. Geografske karakteristike istraživačkog prostora 9

3.2. Geološke karakteristike istraživačkog prostora 10

3.2.1. Stratigrafski odnosi na istraživačkom prostoru 12

3.2.2. Strukturni odnosi 18

3.2.3. Geološki opis geotermalnog ležišta «pješčenjaci Županja» 20

4. ISTRAŽIVAČKI RADOVI NA LOKACIJI BUŠOTINE BOŠ – 1 22

5. ZNAČAJKE I MOGUĆNOSTI LEŽIŠTA 32

5.1. Geološko – fizikalne karakteristike vodonosnih stijena 32

5.2. Hidrodinamičke značajke ležišta 33

5.3. Fizikalno-kemijska analiza ležišnih fluida 33

5.4. Mogućnosti ležišta kroz bušotinu Bošnjaci – 1 35

6. ZAKLJUČAK 37

7. LITERATURA 39

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Položaj dubokih bušotina (točka i oznaka npr Ž – 2) i mreže 2D seizmičkih profila (mreža ravnih linija) na širem prosotoru Vukovarsko-srijemske županije (*Kolbah i Škrlec, 2014*)..... 3
Slika 2-2. Prikaz odobrenih istraživačkih prostora (crveni poligoni) i eksploatacijskih polja (plavi poligoni) za istraživanje i korištenje geotermalne energije u sjevernoj Hrvatskoj (modificirano prema Živković et al., 2015)..... 4
Slika 2-3. Toplice i lječilišta te lokaliteti bušotina s geotermalnim potencijalom temperature geotermalne vode dobivene ili očekivane na površini, a prikazane odgovarajućom bojom prema legendi, na hrvatskom dijelu Panonskog bazena (Živković et al., 2015)..... 6
Slika 3-1. Geografski položaj istraživačkog prostora geotermalnog polja «Bošnjaci – sjever»..... 10
Slika 3-2. Depresije i uleknine u hrvatskom dijelu Panonskog bazenskog sustava..... 11
Slika 3-3. Litostratigrafska nomenklatura u Savskoj i Dravskoj depresiji (Malvić i Cvetković, 2013) 12
Slika 3-4. Geološka karta šireg prostora (OGK Vinkovci, Brkić et al., 1989) s naznačenim prostorom istraživanja 13
Slika 3-5. Informativna paleogeološka karta neposerdne podloge tercijara, odnosno kompleksa „Podloge tercijara“ prema (Hernitz, 1983) 15
Slika 3-6. Kronostratigrafske i litostratigrafske jedinice s pripadajućim elektrokarotažnim markerima, litološki sastav i položaj važnijih ležišta (Velić, 2007)..... 17
Slika 3-7. Geološki profili: AA' koji povezuje projektiranu bušotinu Boš – 1 s najbliže korelativnom bušotinom Ž – 2 i poprečni profil BB' koji prikazuje projektiranu bušotinu Boš – 1 (*Kolbah i Škrlec, 2012*) 20
Slika 4-1. Staklenička proizvodnja rajčice..... 22
Slika 4-2. Položaj bušotine Boš – 1 23
Slika 4-3. Bušaća garnitura na lokaciji bušotine Boš – 1..... 24
Slika 4-4. Tragovi nafte pod UV lampom na uzorku iz isplake..... 25
Slika 4-5. Spaljivanje plina na baklji 25
Slika 4-6. Separator plina i vode..... 26
Slika 4-7. Priprema za karotažna mjerenja 26
Slika 4-8. Cementacija 27

Slika 4-9. Mjerenje temperature 28
Slika 4-10. Promatranje uzorka pod mikroskopom 29
Slika 4-11. Položaj nove istraživačko-proizvodne bušotine 30
Slika 4-12. Geološki profil s bušotinom Boš-2 s pretpostavljenom udaljenosti između bušotina Boš – 1 i Ž – 2. Županjski pješčenjaci se nalaze u formaciji Vera između neformalnih repera Delta i Alfa. Po klasifikaciji koja vrijedi upravo u Slavonsko-srijemskoj depresiji to se EK markeri «A» (korelativan s «Alfa») i «B» (korelativan s «Delta») 31
Slika 5-1. Ispuštanje vode u melioracijski kanal 34
Slika 5-2. Krivulja indeksa proizvodnosti (*Kolbah i Škrlec, 2012*) 35

POPIS TABLICA

Tablica 5-1. Pregled parametara korišten u izračunu obujma vode odabranog dijela ležišta pješčenjaka Županja (*Kolbah i Škrlec, 2012*). 33
Tablica 5-2. Hidrodinamičke karakteristike ležišta 33

POPIS PRILOGA

Prilog 1. Konstrukcija geotermalne bušotine Boš – 1 s litologijom (prema Kovačević et al., 2010)

POPIS JEDINICA

q – dotok (l/s)
g_T – geotermijski gradijent (°C/m; °C/km)
T_m – temperatura na dubini mjerenja (°C)
T_z – srednja godišnja temperatura zraka (°C)
H_m – dubina težišta odabranog prostora ležišta (m)
V_{wL} – Obujam vode u ležištu (m^3)
V_L – Obujam ležišta (m^3)
ϕ – Šupljikavost ležišta (%)
S_w – Zasićenje vodom (%)
B_w – Obujamski faktor za vodu (m^3/m^3)

1. UVOD

U ovom radu je prikazan proces bušenja geotermalne bušotine Boš – 1 kao i analiza geološko-fizikalnih, hidrodinamičkih i fizikalno-kemijskih karakteristika geotermalne vode na geotermalnom polju «Bošnjaci – sjever».

Povoljne perspektive za istraživanje, pridobivanje i korištenje geotermalne energije u Panonskom bazenskom sustavu proizlaze iz njegove povoljne geološke građe i njegove značajke kao što je povoljan geotermijski gradijent, sekundarna i primarna poroznost te postojeća podzemna ležišta vode (npr. Kolbah, 1976). Posebna pogodnost pri poznavanju prostornog rasporeda područja s izraženim geotermalnim potencijalom na području Panonskog bazenskog sustava dugogodišnje je istraživanje i proizvodnja ugljikovodika i neizravno ili izravno otkrivena brojna geotermalna ležišta (Živković et al., 2015).

Danas se, ovisno o naznačenom potencijalu, geotermalna ležišta koriste se za proizvodnju električne energije, koja se koristi u kogeneraciji kao potencijalni resurs: za grijanje/hlađenje otvorenih površina, staklenika i ostalih korištenja u poljoprivredi i ratarstvu, stambenih i poslovnih prostora te u obrtnim i industrijskim procesima. Dio koji danas nije pogodan za izravno korištenje dizalicama topline i slično na indirektan način koristi se kao energetska sirovina.

Porijeklo Zemljine topline posljedica je raspadanja radioaktivnih elemenata u jezgri Zemlje, zadržane topline iz razdoblja ranoga hada nakon stvaranja ili trenja pri pomicanju Zemljine kore pri konvekcijskom kretanju magme iz plašta prema površini (Getliher, et al. 2006, Čubrić, 1987). Toplinska energija prenosi se iz unutrašnjosti Zemlje prema njenoj površini kondukcijom preko čestica i mineralnih zrna u stijenama i konvekcijom čestica fluida (magme, vode i drugih). Geotermalna toplina može se preuzeti iz stijena i fluida koji su njima okruženi.

2. TEORIJSKE OSNOVE

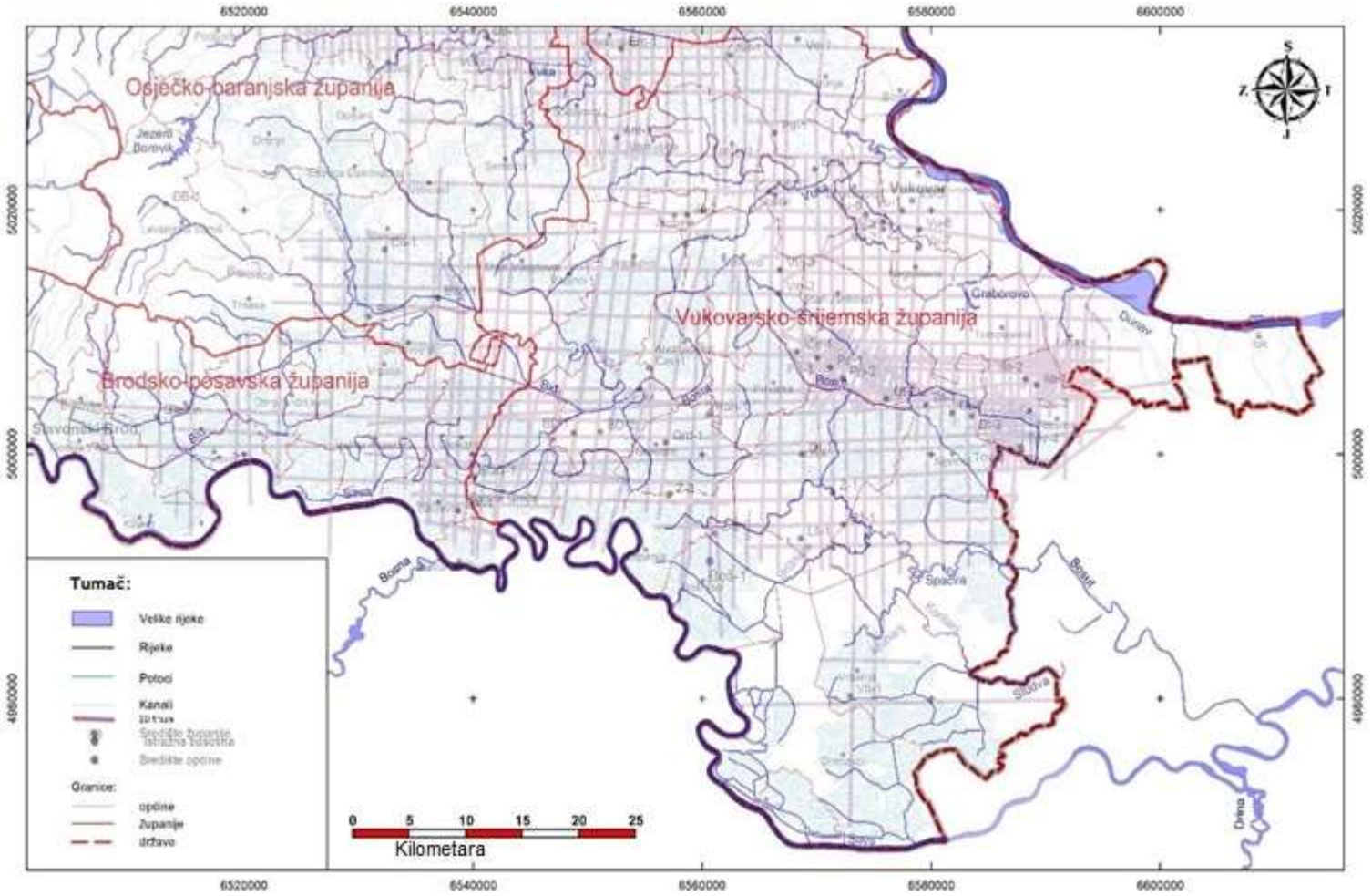
Istraživanje i korištenje geotermalnog potencijala temelji se na svjetskim, ali i lokalnim iskustvima. Taj proces čini zatvoreni krug interaktivnog povezivanja rezultata dobivenih na temelju osnovnih morfoloških značajki, geoloških i hidrogeoloških istraživanja, površinskih geološko-geofizičkih i geokemijskih radova te odgovarajućih istraživanja na dubokim bušotinama uz njihovo hidrodinamičko ispitivanje, osvajanje i korištenje, a sličan je naftnim istraživanjima (*Kolbah i Škrlec, 2012*). U tim multidisciplinarnim radovima geološka su istraživanja pokretački i kontrolni element cjelokupnog procesa otkrivanja i definiranja zaliha zagrijane, mineralizirane vode.

Najstarija potvrđena geološka istraživanja na području istočne Slavonije datiraju još s kraja 19. stoljeća, a provodili su ih austrijski geolozi. Tada su na geološkoj karti izdvojeni aluvij južno od rijeke Bosut te deluvijalni pijesak i šljunak sjeverno od tog područja (Hauer, 1867-1871).

Također, iz toga vremena, točnije iz 1876., datira i jedan od prvih istraživačkih radova na području između Slavonskog Broda i Županje, a u kojem se opisuju praporne naslage. Njega je napisao poznati hrvatski geolog Đuro Pilar. Istraživanja su nastavljena početkom 20. stoljeća kada Gorjanović-Kramberger (1912, 1920, 1922) i Šandor (1912) proučavaju prapornu stepenicu istočne Slavonije. Važan dio pristupa istraživanja ugljikovodika dan je na primjeru Srijema i Podravine (Hernitz, 1983). Područje je obuhvaćeno i novijim radovima za OGK (Galović et al., 1989).

Dosadašnja dubinska geološka saznanja temelje se na gotovo stoljeće dugom istraživanju i proizvodnji ugljikovodika u sjevernoj Hrvatskoj, području s najintenzivnijim geotermalnim dotokom u Hrvatskoj (Živković et al., 2015). Riječ je o geološkoj i tehnološkoj dokumentaciji s preko 4000 dubokih bušotina, a cijelio područje dobro je pokriveno namjenskim geološko-geofizičkim radovima. Od površinskih geofizičkih mjerenja prije svega su važna: geoelektrična, magnetometrijska, gravimetrijska (Hernitz, 1983) i, posebno važna, mjerenja vezana za 2D (Aljinović, 1963).

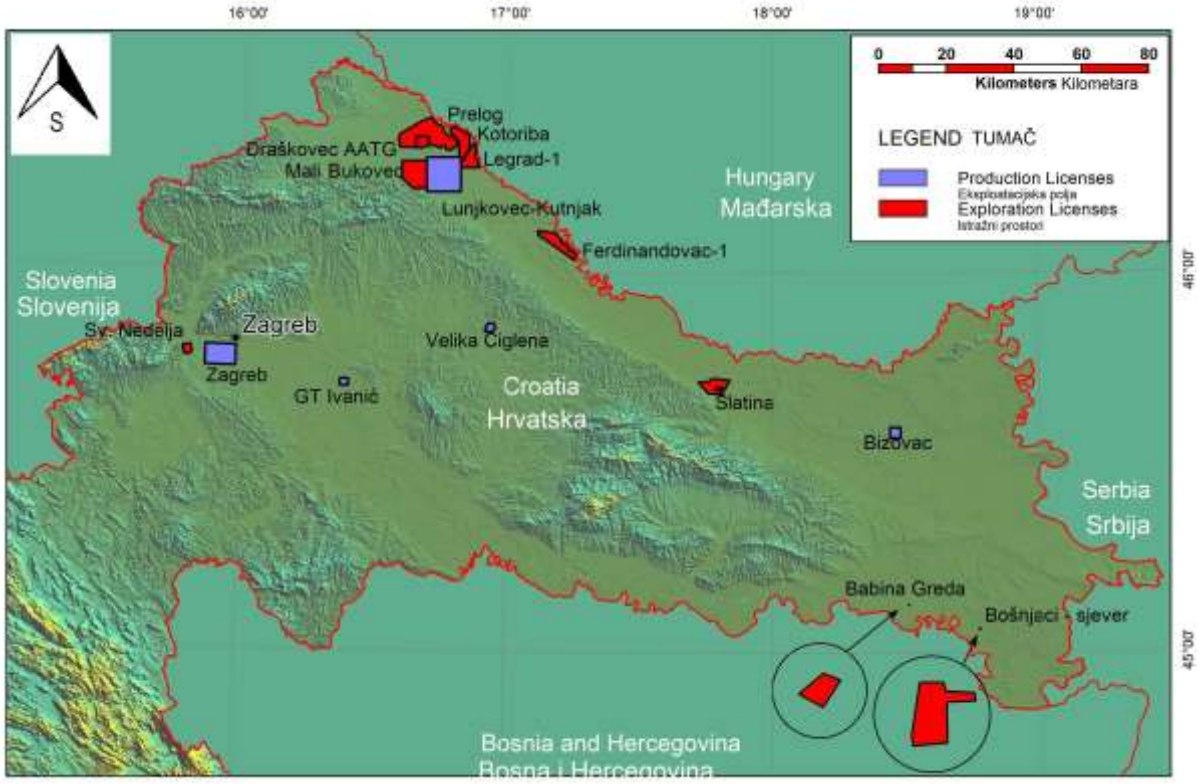
Kako bi se dobila predodžba o raspodjeli i gustoći ovih radova u Vukovarsko-srijemskoj županiji, koristit će se prikaz lokacija dubokih bušotina i mreža 2D seizmičkih profila (Slika 2-1), koje su u usporedbi prema intenzitetu istraživanja na preostalom dijelu Panonskog bazenskog sustava u Hrvatskoj male do umjerene gustoće.



Slika 2-1. Položaj dubokih bušotina (točka i oznaka npr Ž – 2) i mreže 2D seizmičkih profila (mreža ravnih linija) na širem prosotoru Vukovarsko-srijemske županije (*Kolbah i Škrlec, 2014*)

Na području Vukovarsko-srijemske županije ukupno je izbušeno stotinjak dubokih bušotina, od kojih je većina razradna na proizvodnim poljima; istraživanjem na tridesetak lokaliteta utvrđena je pojava nafte (npr. na lokalitetima Banov Dol i Tovarnik), a pojava plina na još više lokaliteta i, konačno, otkrivena su i u proizvodnju stavljena tri naftna i plinska polja: Privlaka, Đeletovci i Ilača. Nažalost, unatoč ovako ozbiljnim dokazima o naftoplinonosnosti prostora nije nastavljeno s detaljnijim istraživanjima (Velić, 2007).

U smislu istraživanja i korištenja ležišta geotermalne energije na području Vukovarsko-srijemske županije izdvojena su dva istraživačka prostora. Na istražnom prostoru „Babina Greda“, koji je svojevremeno namjenski ispitivala tvrtka INA d.d. iz Zagreba, naznačena je mogućnost korištenja geotermalne energije za proizvodnju električne energije, dok je istražni prostor «Bošnjaci – sjever» rezultat ulaganja privatnoga poduzeća za izravno korištenje topline geotermalne vode za zagrijavanje staklenika koji se koristi za hidroponski uzgoj rajčica (Slika 2-2; Živković et al., 2015).



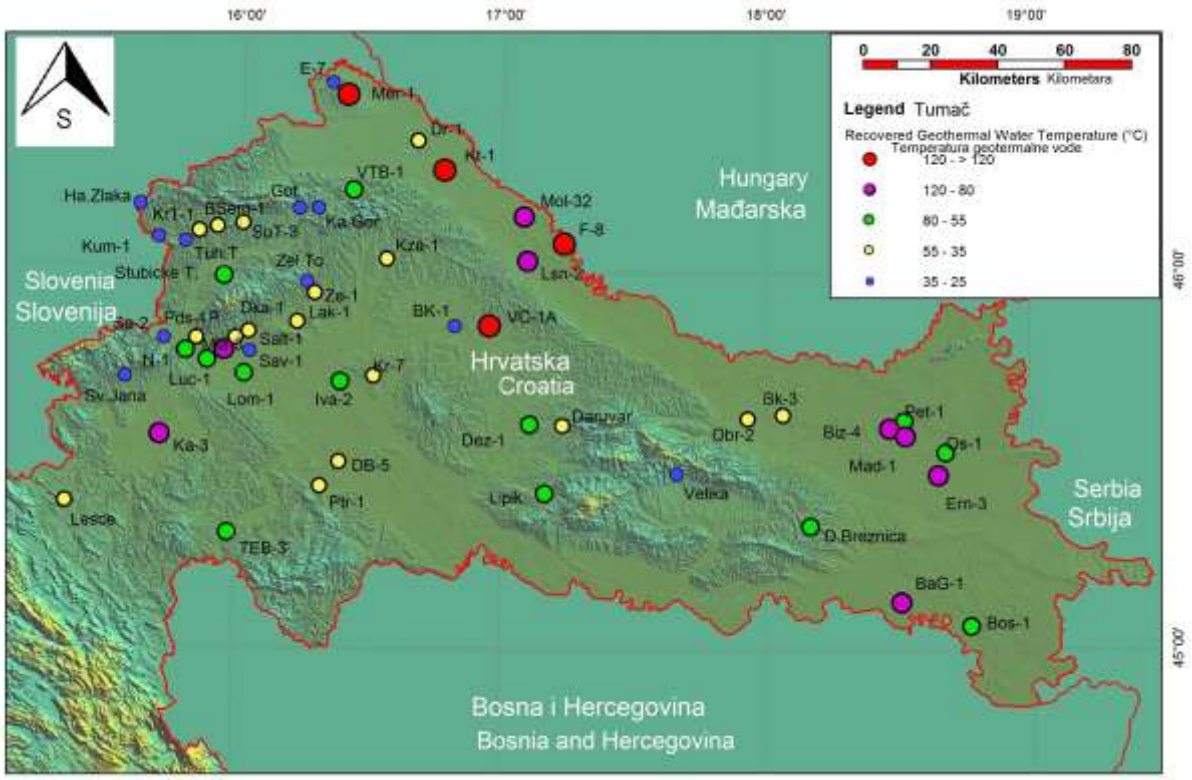
Slika 2-2. Prikaz odobrenih istraživačkih prostora (crveni poligoni) i eksploatacijskih polja (plavi poligoni) za istraživanje i korištenje geotermalne energije u sjevernoj Hrvatskoj (modificirano prema Živković et al., 2015)

Podatak da jedinica za geotermalni stupanj na području Županje iznosi 23,4 m (ili 42,7 ^{o}C/km) prvi je objavio Rubinić (1961) opisujući anomalne, povišene geotermijske gradijente na tom dijelu Panonskog bazena. Termičke osobine sedimentnog kompleksa JZ dijela Panonskog bazena detaljno su objašnjenje u doktorskoj disertaciji (Jelić, 1979) i njegovim kasnijim radovima. Početno zapažanje i promicanje geotermalnog potencijala zaslužni su poznati geolog i prvi voditelj geotermalnih istraživanja (uključujući i izradu dubokih geotermalnih bušotina) Radovan Filjak, kao i naftni inženjer Velimir Sariđa. Rad Velimira Sariđe bio je i inicijalna informacija za mogućnost oblikovanja geotermalnog ležišta u pješčenjacima Županja na istraživačkom prostoru «Bošnjaci – sjever» (Kolbah 1977, prema Sariđa, 1963 i Filjak et al., 1969). To je bio jedan od prvih znanstvenih radova na tu temu, a u radu su prikazane geotermalne značajke i potencijal na području sjeverne Hrvatske (Sariđa, 1963). Cjeloviti uvid u geotermalna ležišta u hrvatskom dijelu Panonskog bazenskog sustava, njegove inženjerske osnove i procjene geotermalnog potencijala prikazao je u svojoj disertaciji Čubrić (1987), koja je ključna za proračun geotermalnih rezervi i njihovo pouzdano korištenje.

2.1. Osnovni indikatori geotermijskih pogodnosti i obilježja izravnog korištenja geotermalnih ležišta na području hrvatskog dijela Panonskog bazenskog sustava

U Panonskom bazenskom sustavu sjeverne Hrvatske nabušena su geotermalna ležišta u kojima temperatura znatno prelazi 180 °C (Velika Ciglena, Babina Greda, Bizovac i druga; Getliher et al. 2012; *Dukić, 2012*), čime je otvorena mogućnost korištenja geotermalnog potencijala.

Pojave geotermalnih voda na prirodnim izvorima važan su indikator potencijala i mogućnosti korištenja još od pretpovijesnih preko povijesnih i današnjih vremena: za kupanje, liječenje ali i za energetsko korištenje. Korištenje geotermalnih voda temperature veće od 35 ^{o}C važno je za njeno izravno energetsko korištenje, a one s temperaturom preko 140 ^{o}C i uz odgovarajuće dotoke (> 60 l/s) te danas raspoloživu tehnologiju povoljne su za proizvodnju električne energije i izravno korištenje (Slika 2-3).



Slika 2-3. Toplice i lječilišta te lokaliteti bušotina s geotermalnim potencijalom temperature geotermalne vode dobivene ili očekivane na površini, a prikazane odgovarajućom bojom prema legendi, na hrvatskom dijelu Panonskog bazena (Živković et al., 2015)

Dok geotermalna energija postaje vodeći obnovljivi izvor energije širom svijeta i u Europi, u Republici Hrvatskoj korištenje geotermalne energije zasad neopravdano zaostaje i tek se u posljednje vrijeme na objektima za proizvodnju električne energije ostvaruju značajniji pozitivni pomaci. Korištenje geotermalne energije iz prirodnih izvora ima dugu kod Svetog Martina na Muri. Korištenje geotermalnih ležišta u dubokim vodonosnicima Panonskog bazenskog sustava i njegove podloge, izradom dubokih bušotina ima tradiciju dugu preko sto godina. Naftna i plinska istraživačka bušotina E – 11 kod Svetog Martina na Muri još je u upotrebi. Korištenje geotermalnog resursa kao energetske sirovine kod nas je započelo prije 40 godina s prvim namjenskim pokušajem pridobivanja geotermalne vode iz negativne naftne bušotine Stupnik – 1 (Stu – 1), na današnjem geotermalnom polju Zagreb.

Izravno korištenje topline obavlja se na zanemarivo malom broju objekata na dva eksploatacijska polja, Zagreb i Bizovac, te dva istraživačka prostora Sveta Nedjelja i

«Bošnjaci – sjever» (*Kolbah i Škrlec 2014*; Živković at al., 2015). Sve zajedno je daleko ispod konzervativne procjene osnovnog djela otkrivenog geotermalnog potencijala koji bi mogao zamijeniti 1/3 potrošnje prirodnog plina u 2014. godini (Živković et al., 2015). Slična je situacija i s korištenjem postojećeg potencijala u toplicama i lječilištima.

Indikatori povoljnih geotermijskih obilježja za izravan prikaz pristupačnijih i brojnijih mjerenja koriste se za proračun „geotermalnog gradijenta“ (2-1):

$$g_T = \frac{T_m - T_z}{H_m}, \qquad °C/m \tag{2-1}$$

gdje je:

g_T - geotermijski gradijent; (°C/m; °C/km);

T_m - temperatura na dubini mjerenja (°C);

T_z - srednja godišnja temperatura zraka (°C);

H_m - dubina težišta odabranog prostora ležišta (m).

U hrvatskom dijelu Panonskog bazenskog sustava prisutna je prosječna pozitivna geotermalna anomalija čije se vrijednosti kreću od 4,5 – 5 °C/100 m, međutim na brojnim se prostorima javljaju i dodatna povećanja tih vrijednosti, kao na primjer na geotermalnom polju Zagreb, u Dravskoj depresiji i drugdje gdje geotermijski gradijent prelazi 7 °C/100 m. Jedna od bitnih obilježja geotermalnih ležišta je mogućnost konstantnog obnavljanja korištene energije. Visoka i rizična ulaganja za otkrivanje geotermalnih ležišta za izravno korištenje topline danas može biti isplativo. Samo izravno korištenje bilančnih količina pridobivene energije vruće vode ovisi o razlici njene temperature na ušću bušotine i one na izlazu iz postrojenja za prijenos topline na sekundarni krug radnog fluida. Zbog odsustva emisije stakleničkih plinova kao današnje bitne prijetnje čovječanstvu i prirodnom okolišu ovakav tip energetskog izvora je od neprocjenjive je vrijednosti zbog mogućnosti stabilne proizvodnje i lokalnog karaktera (Jelić et al., 1995).

2.2. Osnovna geotermijska obilježja utvrđenog geotermalnog ležišta na istraživačkom prostoru «Bošnjaci – sjever»

Slavonsko-srijemska depresija u jugoistočnom dijelu Panonskog bazenskog sustava Hrvatske, gdje se i nalazi istraživački prostor geotermalnog ležišta «Bošnjaci – sjever», ima vrlo povoljna geotermijska obilježja pri čemu geotermalni gradijent prelazi vrijednost od 60 ºC/km (*Kolbah i Škrlec, 2012*).

Prema mjerenjima Državnog hidrometeorološkog zavoda, na području Županje srednja godišnja temperatura iznosi 11,3 ˚C, a u bušotini Bošnjaci – 1 (Boš – 1), na referentnoj dubini od 1020 m izmjerena temperatura iznosi 73,3 ˚C. Pomoću tih podataka izračunat je geotermijski gradijent za ležište od 6,1 ˚C/100 m ili 61 ˚C/km (2-2):

$$g_T = \left(\frac{73{,}3 - 11{,}3}{1020} \right) \times 100 = 6{,}1 \quad ^\circ\text{C/100 m} \tag{2-2}$$

Razlog tako visokih vrijednosti geotermalnog gradijenta geotermalnog ležišta u Županjskim pješčenjacima na istraživačkom polju «Bošnjaci – sjever» posljedica je niza povoljnih geoloških i geotermijskih značajki toga područja. Prva povoljna značajka jest smanjena debljina zemljine kore na sjevernim i istočnim rubovima hrvatskog djela Panonskog bazenskog sustava (Aljinović, 1986) koja omogućuje bolju kondukciju geotermalnog dotoka.

Sljedeća važna povoljna značajka jest prisustvo mezozojskih karbonatnih kompleksa kao potencijalnih vodonosnih stijena neposredno sjeverno i zapadno od bušotine Boš – 1, u kojem postoji mogućnost stvaranja geotermalnih vodonosnika s mogućnošću konvekcija molekula vode (Hernitz, 1983).

Uz samo ležište u pješčenjacima Županja na istraživačkom polju «Bošnjaci – sjever» lokalna tektonska naprezanja duž pojedinih pukotinskih sustava mogu omogućiti hidrodinamičku vezu s dubljim „tercijarnim“ vodonosnicima i/ili masivnim geotermalnim vodonosnicima u mezozojskim karbonatima „podloge tercijara“ ili mogućim vodonosnicima u „temeljnom gorju“. Konačno, i vrlo povoljne vrijednosti šupljikavosti i propusnosti u geotermalnom ležištu pješčenjaka Županja mogu ostvariti dobru hidrodinamičku vezu s dublje (do 2000 m) položenim dijelom vodonosnika u središnjim

dijelovima lokalnog depocentra, a time i omogućiti hidrodinamičku i geotermalnu konvekciju unutar njega.

3. OPIS ISTRAŽIVAČKOG PROSTORA

U ovom poglavlju prikazane su geografske i geološke karakteristike istraživačkog prostora. U okviru geološkog opisa istraživačkog prostora opisani su stratigrafski i strukturni odnosi šireg prostora istraživanja i lokacije pješčenjaka Županja.

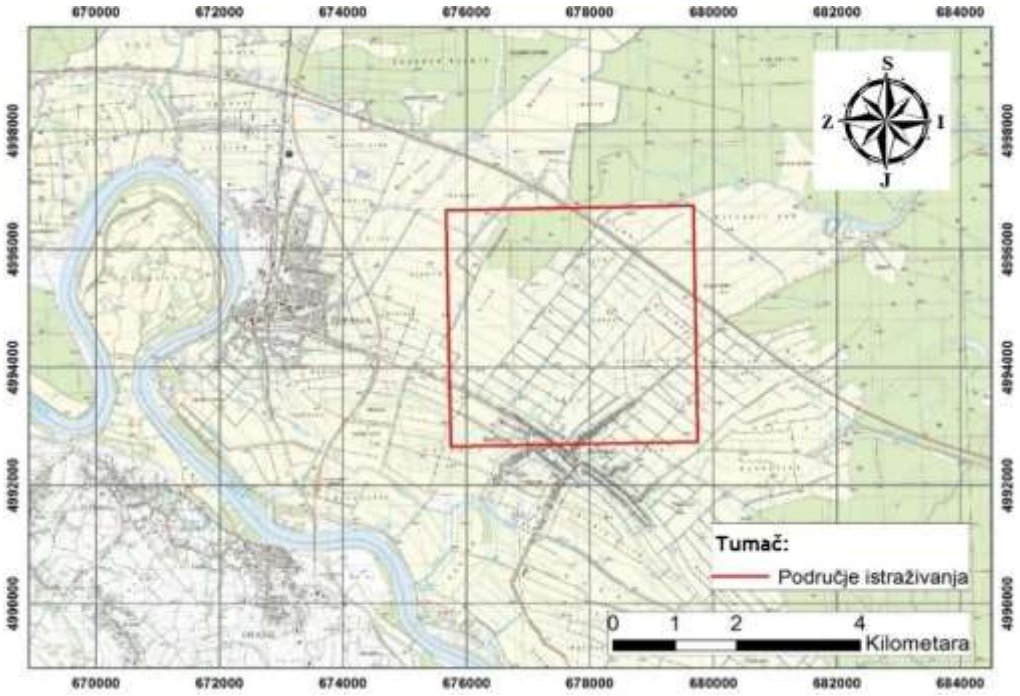
3.1. Geografske karakteristike istraživačkog prostora

Proučavano geotermalno polje «Bošnjaci – sjever» nalazi se u istočnom dijelu Hrvatske, u Vukovarsko-srijemskoj županiji. S geološkog aspekta nalazi se u južnom dijelu Panonskog bazenskog sustava u Slavonsko-srijemskoj depresiji. Geomorfološki pripada ravničarskom području Srijema u istočnom dijelu Savske nizine. Nadmorska visina Slavonsko-srijemske depresije kreće se od 80 do 100 m, dok se geotermalno polje nalazi na 82 m.

Akumulativno-aluvijalni tip reljefa bogat je meandrima Save i Tolise. Rijeka Sava odlikuje se relativno mirnim meandrirajućim, nizinskim tokom. Hidrografskoj mreži sliva Save pripadaju Bić, Bosut, Berava i Spačva koje teku prema istoku usporedno sa Savom, dok Virovi koji se nalaze sjeveroistočno od Županje i Bošnjaka teku ili stagniraju ovisno o dobu godine (Galović et al., 1989).

Istraživački prostor odlikuje se kontinentalnom klimom prosječne minimalne temperature od -4,5 °C tijekom zimskih mjeseci te prosječnom maksimalnom temperaturom od 22,8 °C tijekom ljetnih mjeseci. Za proračun geotermalnog gradijenta korištena je vrijednost srednje godišnje temperature od 11 °C određena prema Državnom hidrometeorološkom zavodu.

Geografski položaj geotermalnog polja «Bošnjaci – sjever» prikazan je na slici 3-1.



Slika 3-1. Geografski položaj istraživačkog prostora geotermalnog polja «Bošnjaci – sjever»

Proučavani prostor zauzima površinu od 16 km², na jugu zahvaća dio naselja Bošnjaci, a na sjeveroistoku preko njega prelazi trasa autoputa Zagreb – Beograd. Na uglavnom poljoprivrednim površinama postoje asfaltne ceste i tvrdi putevi te mreža melioracijskih kanala. Od infrastrukture postoji i niskonaponska električna mreža.

3.2. Geološke karakteristike istraživačkog prostora

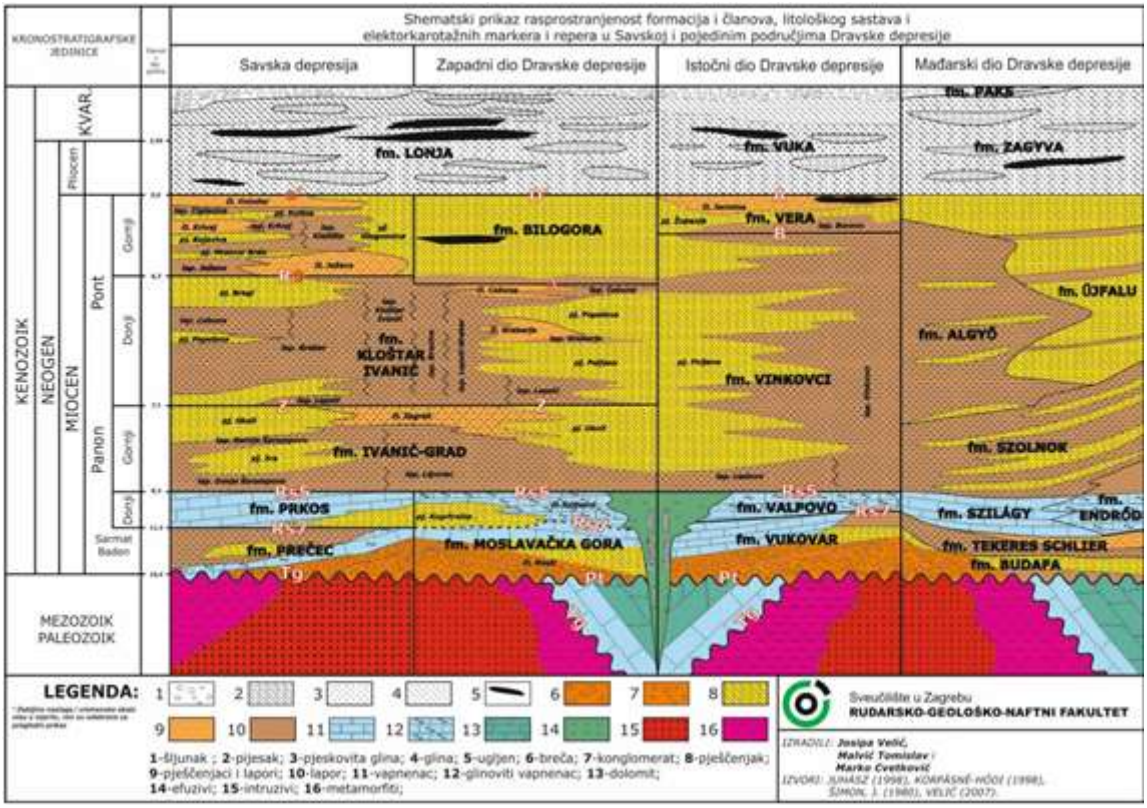
Panonski bazenski sustav pretežno je nizinski prostor planinskih lanaca Alpa, Karpata i Dinarida. Hrvatski, jugozapadni dio bazena zahvaća Mursku, Dravsku, Savsku i Slavonsko-srijemsku depresiju što je prikazano na slici 3-2 (Velić, 2007). Istraživački prostor «Bošnjaci – sjever» nalazi se u sjevernom dijelu Bošnjačkog bazena Slavonsko-srijemske depresije.



Slika 3-2. Depresije i uleknine u hrvatskom dijelu Panonskog bazenskog sustava (preuzeto iz Velić, 2007; prema Kranjec et al., 1981)

Pored mnogih važnih geoloških spoznaja, a za potrebe intenzivnog istraživanja i proizvodnje nafte, plina i geotermalnih resursa u dubinama Panonskog bazenskog sustava, Šimon (1973) raščlanjuje geološku građu i Slavonsko-srijemsku depresiju u pet litostratigrafskih formacija: formacija Vukovar, formacija Valpovo, formacija Vinkovci, formacija Vera i formacija Vuka. On ih dalje detaljno raščlanjuje i korelira sa susjednom formacijom u Dravskoj depresiji što se može vidjeti na sljedećoj slici (Slika 3-3). Na shematskom litostratigrafskom profilu neogensko-kvartarnog kompleksa, utvrđen u stupovima dubokih bušotina duž Dravskih i Slavonsko-srijemskih depresija (Šimon, 1980) jasno je naznačeno, a novijim istraživanjima razrađeno pomicanje zapunjavanja bazena kroz geološko vrijeme s više aktivnih mehanizama (Malvić, 2016). Za promatrane formacije posebno je bilo interesantno odlaganje pješčanih naslaga sa zapada, s Dravskih depresija prema istoku, a zaključno sa Slavonsko-srijemskom depresijom. Za vrijeme jezerskog razdoblja hrvatskog dijela Panonskog bazenskog sustava došlo je do taloženja pijesaka i drugih klastita te kao rezultat toga taloženja nastali su pješčenjaci Županja. Ono je trajalo od gornjeg panona do donjeg ponta i većina klastita donošena je mutnim strujama. Važna rješenja strukturno-tektonskih odnosa u području istočne Slavonije tj. u

hrvatskom dijelu Panonskog bazenskog sustava, Savskoj i Dravskoj depresiji dao je i Hernitz (1983).

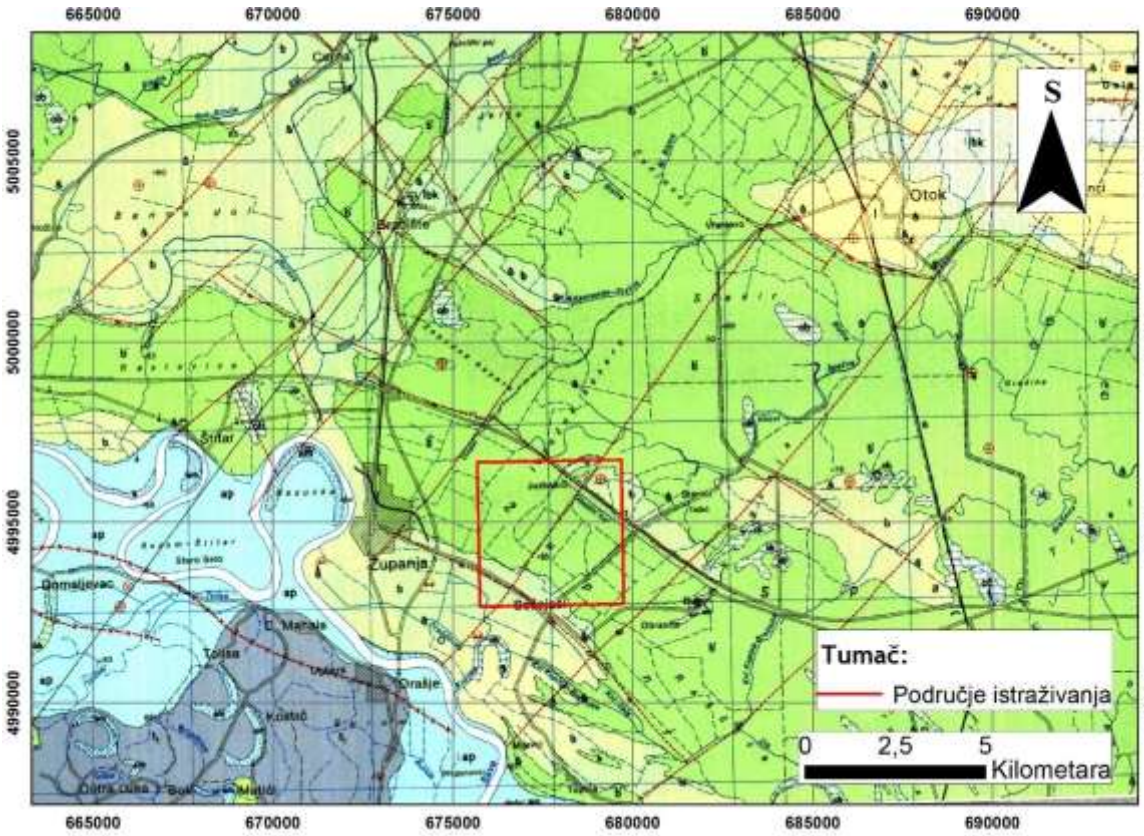


Slika 3-3. Litostratigrafska nomenklatura u Savskoj i Dravskoj depresiji (Malvić i Cvetković, 2013)

3.2.1. Stratigrafski odnosi na istraživačkom prostoru

Geotermalno polje «Bošnjaci – sjever» dio je Slavonsko-srijemske depresije, odnosno ravničarskog područja južno od Đakovačko-vukovarsko-vinkovačkog ravnjaka – platoa (Velić, 2007).

Površina terena šireg područja istraživanja prikazana je na slici 3-4. Prema podacima *Osnovne geološke karte* mjerila M : 100 000 lista Vinkovci (Brkić et al., 1989) i podacima u *Tumač*u za taj list (Galović et al., 1989), ovo područje je na površini izgrađeno od naslaga kvartara tako da je dubinska geološka građa ovog područja vezana isključivo za podatke iz dubokih bušotina i geofizičkih istraživanja.



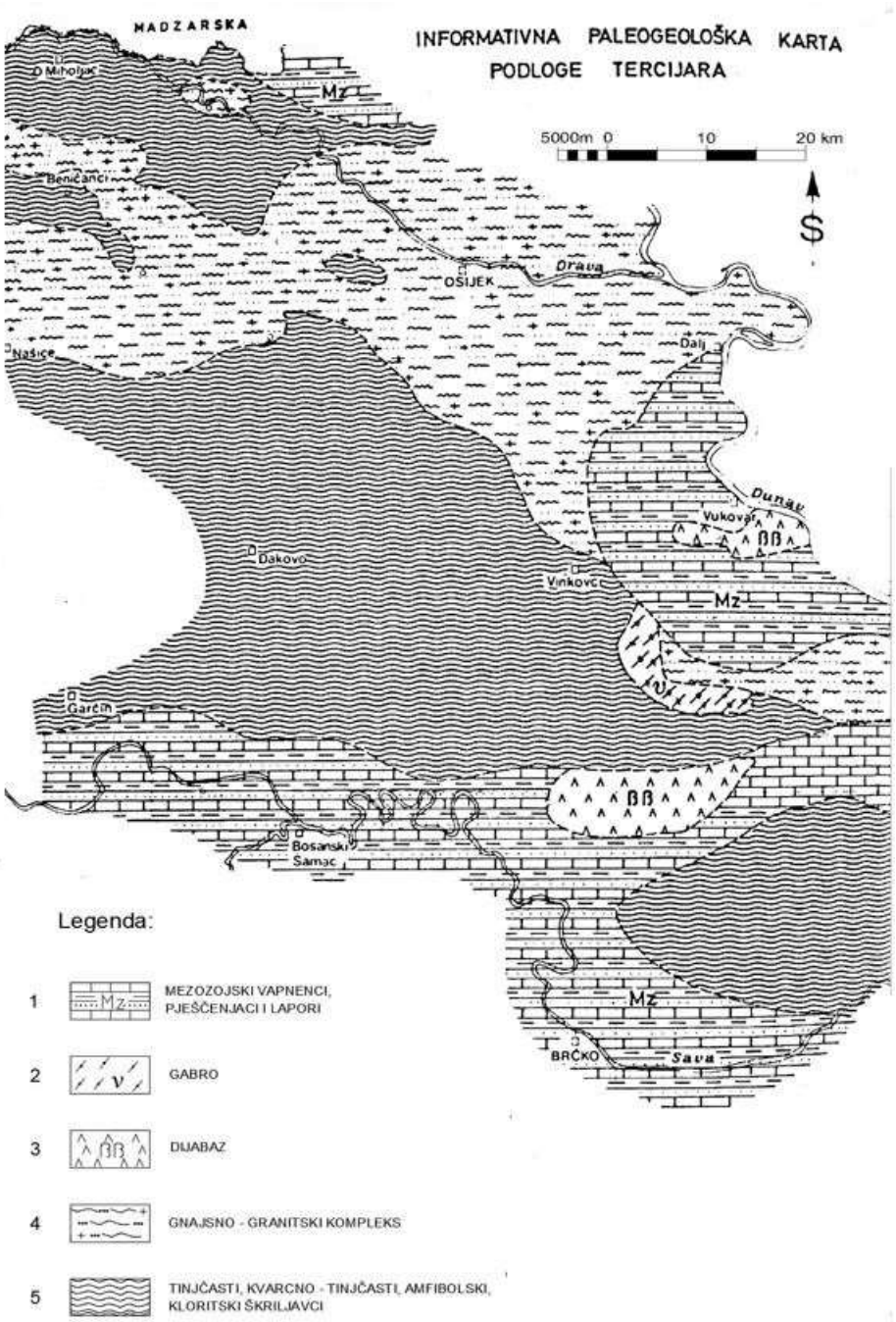
Slika 3-4. Geološka karta šireg prostora (OGK Vinkovci, Brkić et al., 1989) s naznačenim prostorom istraživanja

Tumač oznaka: lbk – barsko-kopneni les: pjeskovito-glinoviti silt; l – kopneni les-silt; t_1 *– sedimenti i naplavne terase: glinoviti silt, pojave pijeska i šljunka; b – stariji barski sedimenti: siltozni pijesak, silt, glinoviti silt, b' – mlađi barski sediment: glinoviti silt-gline; ob – organogeni-barski sedimenti: glinoviti silt s organskim tvarima, ab – sedimenti poplavnih područja: glinoviti silt, pijesak, leće šljunka; am – sedimenti mrtvaja: šljunak-pijesak, silt-glina; a – sedimenti korita-plaža: šljunak, pijesak, silt*

Radi povezivanja s postojećom dokumentacijom o stratigrafskim značajkama i stupnju istraženosti u istočnoj Slavoniji, izdvojene u dvije osnovne litostratigrafske cjeline: tercijarno-kvartarni kompleks naslaga i njegova podloga koje danas odgovaraju cjelinama paleogena, neogena i kvartara i stijenama njegove podloge. U daljnjem tekstu koristi se pojam „tercijar“ radi usklađivanja pojmova u radu i korištenoj dokumentaciji.

Smatra se da je istraživačkim bušotinama bolje istražen slijed tercijarnih i kvartarnih slojeva, a o starijim stijenama na većim dubinama ima puno manje podataka. Na većini dubokih bušotina provedena su elektrokarotažna (EK) mjerenja, što je omogućilo dobru korelaciju (Hernitz, 1983).

Najstarije nabušene stijene magmatsko-metamorfnog kompleksa „temeljnog gorja“ paleozojske su starosti, a nabušene su na lokalitetima sjeverno i istočno od istraživačkog prostora. To su intruzivne magmatske i sedimente stijene, metamorfozirane tijekom paleozojskih konsolidacija u gnajsove i škriljavce pa tako tvore metamorfne škriljavce (amfibolski, tinjčasti, kloritni i kvarcno-tinjčasti škriljavci) i granitno-gnajsni kompleks koji se proteže od Papuka prema istoku pod Đakovačko-vinkovački ravnjak (Slika 3-5). Nabušeni su na bušotinama Banov Dol – 1, Cerna – 1, Otok – 1 i Vinkovci – 2 i na bušotinama kod Đeletovaca (Hernitz, 1983; Galović i dr., 1989). Na samom istraživačkom prostoru «Bošnjaci – sjever», bušotinom Županja – 2 (Ž – 2) i Boš – 1 kompleks „temeljnog gorja“ nije nabušen.



Slika 3-5. Informativna paleogeološka karta neposerdne podloge tercijara, odnosno kompleksa „Podloge tercijara“ prema (Hernitz, 1983)

Tumač oznaka: „Podloga tercilara“ izdvajanog ispod EKM „Pt“ 1) Mezozojski vapnenci, pješčenjaci i lapori, 2) Gabro, 3) Dijabaz i „Temeljnog gorja“ izdvajanog ispod EKM „Tg“ 5) tinjčasti, kvarcno-tinjčasti, amfibolski i kloritni škriljavci; 4) granitno-gnajsni kompleks

Pretpostavlja se da je najstariji stijenski kompleks na području Županje mezozojske starosti i pripada kompleksu „podloge tercijara“. Proteže se duž doline Save, prelazeći u sjevernu Bosnu. Prema bušotinskim podacima, ovaj razvoj mezozoika je predstavljen vapnencima, dolomitima, pješčenjacima, laporima, brečama i vulkanogenim stijenama. Mezozojska starost ovih stijena pretpostavljena je na temelju superpozicijske korelacije budući da postoji veza južno od Županjske strukture s mezozoikom kod Ilinaca. Značajne su gornjokredne naslage koje izgrađuju klastični i klastično karbonatni sedimenti uz vulkanske stijene. Naslage su konstatirane na bušotinama kod Domaljevca, Županje i Cerne te na području sjeverno od Vinkovaca. Kao rezultat vulkanske aktivnosti, unutar ovih naslaga nabušeni su gabro i dijabaz u bušotinama Županja – 1 i Županja – 2 (Hernitz, 1983; Galović i dr., 1989).

Ukupna debljina neogensko-kvartarnih sedimenata u području Slavonsko-srijemske depresije doseže maksimalno 3500 m debljine (Velić, 2007). Tercijarne naslage pojavljuju se na cijelom području istočne Slavonije, a utvrđene su naslage pješčenjaka, šejlova, silta, pijeska, gline, lapora, vapnenca te konglomerata i efuziva (Galović i dr., 1989).

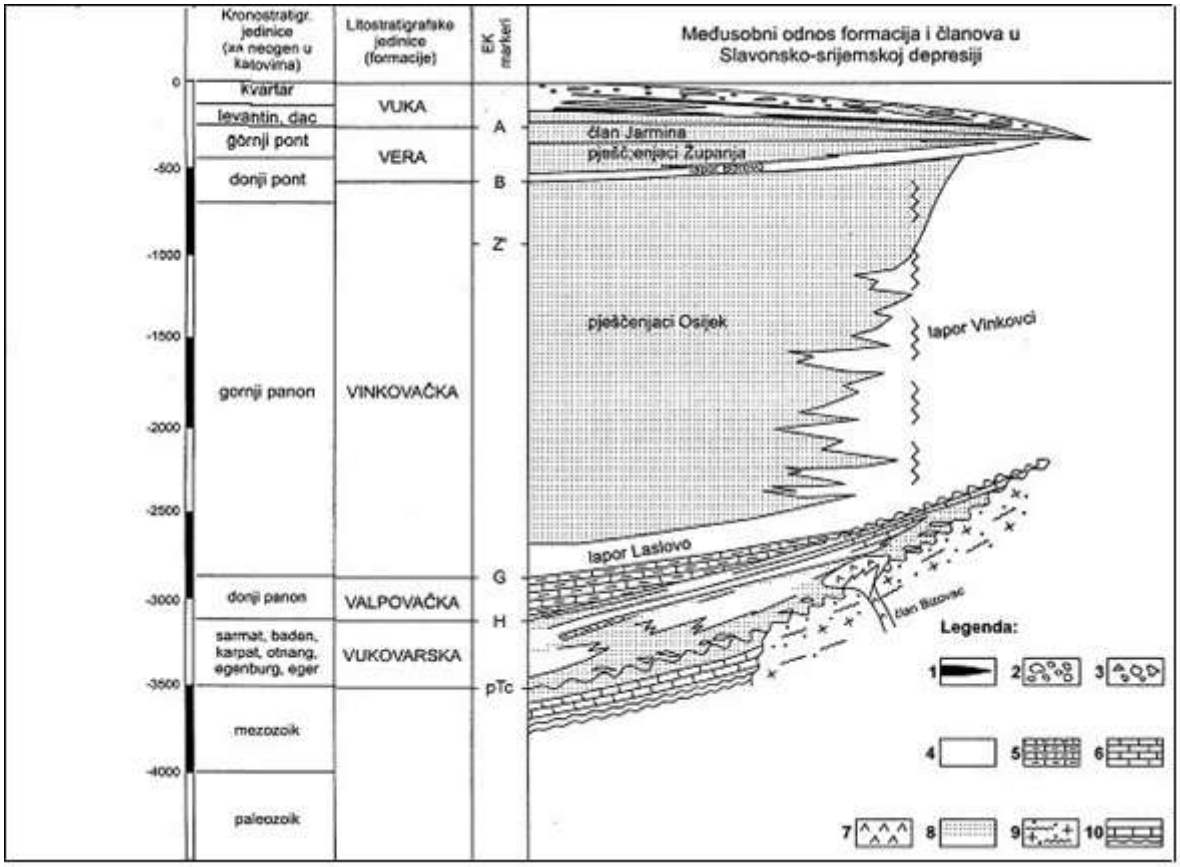
Za županjsko područje su konstatirane paleogenske naslage prema bušotini Banov Dol – 1. Na prijelazu iz mlađe krede u paleogen talože se fliške naslage koje završavaju pojavom konglomerata. Kraj oligocena karakteriziran je transgresijom praćenom tektonikom i vulkanizmom (Galović i dr., 1989). Efuzivne stijene pokrivaju cijelo okolno područje Županje. Vulkanske stijene su andezitnog sastava na bušotini Cerna – 1, andezit-dacit nabušen je bušotinom Otok – 1 te dijabaz na bušotinama Đeletovci – 2, Vinkovci – 3, Županja – 1 i – 2, Banov Dol – 1.

Stijene starijeg miocena na širem području uglavnom karakterizira izmjena pješčenjaka i lapora na širem prostoru, uz pojave efuziva (Velić, 2007). Naslage sarmata su vrlo tanke (30-100m) i sastavljene su uglavnom od tankoslojevitih vapnenaca i kalcitičnih lapora te podređeno od kvarcnih pješčenjaka i konglomerata (kod Vukovara; Galović, 1989).

Gornjomiocenski sedimenti u Slavonsko-srijemskoj depresiji su debljine više od 100 m. Donjopanonski slojevi su uglavnom glinoviti vapnenci, dok se gornjopanonski i pontski sastoje od izmjene pješčenjaka i lapora (Velić, 2007).

Pliocenske naslage sličnog su sastava, uz povećanje udjela gline i s pojavama fragmenata ili proslojaka ugljena. Na njima, kao i u većem dijelu Panonskog bazenskog sustava, naliježu Paludinski slojevi kao odraz eutrofikacijskih uvjeta na prostoru

nekadašnjeg Panonskog jezera, a oni su pak prekriveni kvartarnim barskim i aluvijalnim talozima (Slika 3-5) (Galović i dr., 1989).



Slika 3-6. Kronostratigrafske i litostratigrafske jedinice s pripadajućim elektrokarotažnim markerima, litološki sastav i položaj važnijih ležišta (Velić, 2007)
Tumač oznaka: 1) ugljen; 2) šljunci i konglomerati; 3) breče; 4) glinovito-kalcitni lapori; 5) glinoviti vapnenci; 6)vapnenci, 7) efuzivi, 8) pijesci i pješčenjaci; 9) granit i gnajs; 10) pješčenjaci, vapnenci i škriljavci

Zbog stalnih izmjena pješčenjaka i lapora, mlađe miocenske naslage formacije Vera su podijeljene na tri litostratigrafske jedinice: lapor Borovo, pješčenjaci Županjski i član Jarmina (Hernitz, 1983). Pješčenjake Županja izgrađuju subgrauvake i tinjčaste subgrauvake sa zrncima kvarca, feldspati, listićavi sericit i klorit, a vezivo im je glinovito-laporovito (Hernitz, 1983). Prema *Kolbah i Škrlec* (2012) ti se slojevi smatraju najvažnijim geotermalnim vodonosnicima u području Bošnjaka, a razvijeni su gotovo neposredno ispod EK markera «A» prema interpretaciji EK dijagrama (Bilić, 2014) (Hernitz, 1983). Na geološkim profilima AA' i BB' (Slika 3-7; na profilu označena žutom bojom oznakama gp

3 i gp 4) kao glavna vodonosna tijela geotermalnog ležišta Bošnjaka – sjever u pješčenjacima Županja detaljnije opisano u završnom radu (Bilić, 2014).

Holocenske naslage obuhvaćaju područje oko toka rijeke Save. Mogu se izdvojiti sedimenti poplavnog područja, aluvij Save i sedimenti mrtvaja, a između Save i lesnog ravnjaka Đakovo-Vinkovci-Vukovar nalaze se barski i organogeno barski sedimenti taloženi na većim ili manjim površinama. Savski aluvij nalazi se u području korita rijeke Save i na bokovima bez strmih obronaka. Sedimenti ovog područja su šljunci, pješčenjaci i siltovi u izmjeni, a od minerala prevladavaju serpentinsko-vulkanogeni minerali te čestice karbonata (Galović i dr., 1989).

3.2.2. Strukturni odnosi

Dubinski strukturni odnosi u istoimenom području i njegovoj okolici opisani su prema analizi dubinskih strukturno-tektonskih odnosa u području istočne Slavonije (Hernitz, 1983), dopunjeni podacima istraživanja podacima iz geotermalnih ležišta u novije vrijeme (*Kolbah i Škrlec, 2014*)

Panonski bazenski sustav u cjelini spada među veće svjetske bazene, a nastao je u okviru alpske orogeneze tijekom 20 milijuna godina u više kinematičkih faza. Hrvatski dio Panonskog bazenskog sustava pokriva cijeli južni i jugo-zapadni dio Panonskog bazenskog sustava. Primjer je neogenske i kvartarne sedimentacije i tektonike marginalnih bazena koji se nalazi u velikom bazenskom sustavu. Velika zona rasjeda nalazi se južno na području Save te predstavlja regionalnu granicu neogenske sedimentacije u Panonskom moru tijekom badena i sarmata (Malvić i Velić, 2011). Tijekom badena dogodila se glavna ekstenzijska (vlačna) i marinska transgresija koje su uzrokovale izdizanje Apenina i Dinarida. Panonski bazenski sustav nakon sarmata postupno se oslađuje i naposljetku isušuje. Velika područja nekadašnjih depresijskih prostora izdignuta su i tektonski poremećena krajem paleogena, u savskoj orogenetskoj fazi kada su se formirala epikontinentalna mora ili jasno ograničeni bazeni. (Hernitz, 1983; Malvić, 2012).

Filjak (1969) smatra da su neogenske stijene jako izlomljene i borane što je nastalo kao posljedica vertikalnih pokreta. Boranje je dovelo su do istodobnog izdizanja i spuštanja terena zbog čega je stvoren velik broj horstova i bazenskih uleknina. Intenzivna tektonika događa se tijekom neogena, kad je zabilježen niz rasjednih pokreta praćenih vulkanizmom.

Naslage paleogena utvrđene su samo u obodnim dijelovima bazena. U podlozi tercijara stare stijene su jako dislocirane i često borane. Duž rasjednih ploha dolazilo je do neujednačenog kretanja, a tekstonski pokreti su obnavljani više puta (Hernitz, 1983).

Na području istočne Slavonije najvažniji su dravski i slavonski glavni potolinski rasjedi. Riječ je o sustavu rasjeda duž kojih je došlo do stepeničastog spuštanja pa se uz njih nalaze i paralelni rasjedi iz istih glavnih zona (Hernitz, 1983). Prema podacima bušenja, prije prodora miocenskih efuziva na području istočne Slavonije sedimenti su tercijara na više od dvije trećine prostora u izravnom dodiru s paleozojskim magmatsko-metamorfnim kompleksom, a tek u predjelu vukovarske timorske antiklinale i duž toka Save tercijarni sedimenti leže na stijenama mezozojske starosti (Hernitz, 1983). Uleknine ili sinklinale sadrže najkompletniji slijed naslaga mlađeg tercijara i kvartara. Efuzivi se vjerojatno nalaze u strukturno-morfološki nižim predjelima, kako na to ukazuju bušotine Cerna – 1 i Otok – 1. Terasni ravnjaci su rijetki i u paleoreljefu zapravo nema takvih izraženih oblika. Jedna od izraženijih terasa nalazi se u sjeverozapadnom produžetku županjske antiklinale. Prijevoji ili sedla relativno su brojni i redovito predstavljaju vezu među ostalim, bilo većim bilo manjim strukturnim oblicima (Hernitz, 1983).

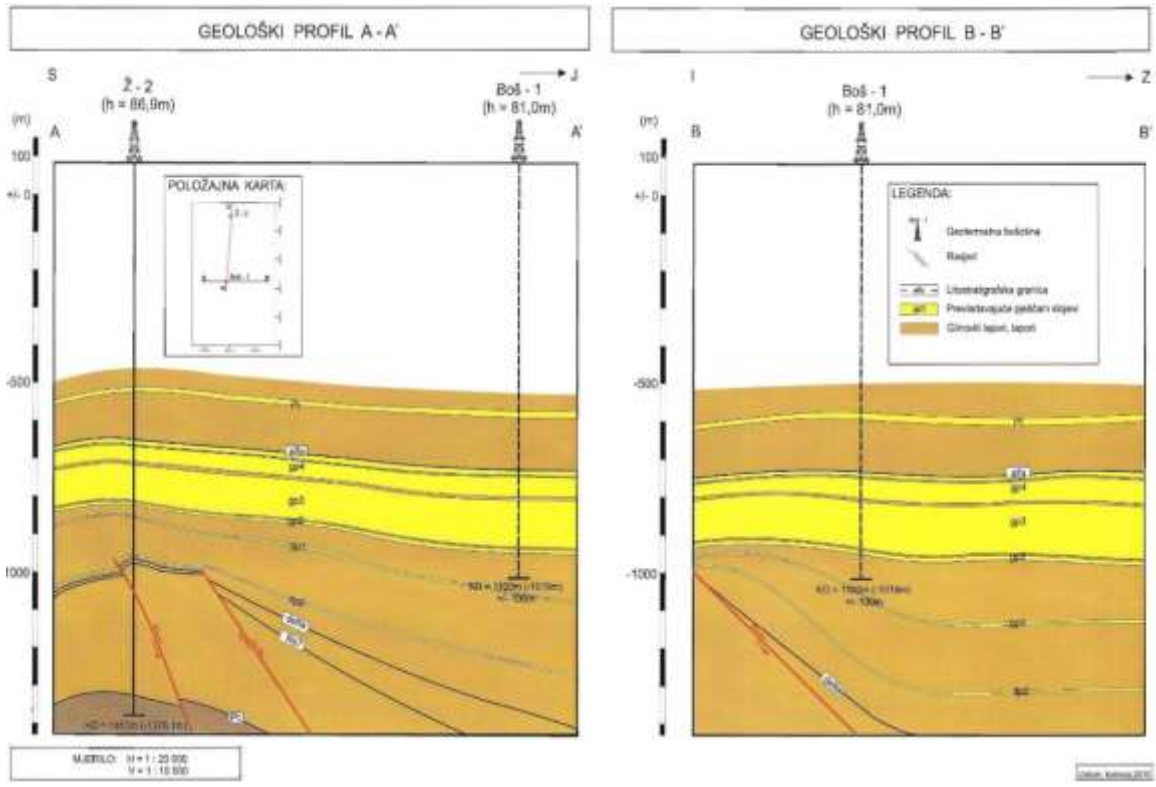
Jedan od najistaknutijih predjela istočne Slavonije svakako je Đakovačko-vukovarsko-vinkovački ravnjak. U morfološkom i strukturno-tektonskom pogledu razveden je nizom manjih oblika. Na površini su to doline Kašnice i Jošave koje poprečno presijecaju ravnjak, a u dubini je podijeljen uzdužno na tri dijela. Duž sjevernog ruba usjekao se duboki glavni rasjed dravske depresije. On zadire u podlogu tercijara, a bio je aktivan kroz cijelo vrijeme neogena do kvartara. Južno od Đakovačko-vukovarsko-vinkovačkog ravnjaka, u Slavonsko-srijemskoj depresiji, prevladavaju rasjedi pravca pružanja zapad-istok te sjever-sjeveroistok i jug-jugozapad (Hernitz, 1983). Drugi su nešto mlađi te presijecaju razne strukture. Jedan od najvećih seže od Županje do Vukovara i nastavlja se prema Dalju. U središnjem dijelu postoji sustav rasjeda koji su stvorili dugački timorski lanac (proteže se od Đakova preko Županje prema Ilincima i Šidu).

Slavonsko-srijemska depresija plića je od Dravske. Brojni geomorfološki oblici koji se nalaze na tom području uglavnom imaju temeljni pravac pružanja zapad-istok. U središnjem dijelu depresije dominira greben između Đakova, Županje i Šida, a nastavlja se dalje na istok prema fruškogorskom horstu. Obrubljen je rasjedima i dijeli potolinu na sjeverni (manji, dublji) i južni (prostraniji, plići, razvedeniji) predio. Taj horst ima zapadno od Županje odvojak u formi sedla. Istočno od te strukture nalaze se dva erozijsko-

tektonska uzvišenja (*buried hill*) kao odraz mezozojskog magmatizma, a u Županji-2 dijabazi i vapnenci gornje krede. Jugoistočno od Županje nalazi se izdužena i razvedena struktura Vrbanja (Hernitz, 1983). Strukturne deformacije vezane su uz tektonske poremećaje otvaranja bazenskog prostora u starijim razdobljima, dok je najveća energija zapunjavanja i danas važećih odnosa tektonskog stresa vezana uz dinamiku aktivnu u mlađem i aktualnom geološkom vremenu (*Kovačević et al., 2010; Kolbah i Škrlec, 2012*).

3.2.3. Geološki opis geotermalnog ležišta «pješčenjaci Županja»

Lokacija istraživačke bušotine Boš – 1 određena je na osnovi interpretacije rezultata duboke bušotine Ž – 2 (Sariđa, 1963) i geološko-geofizičkih radova šireg prostora istraživanja (Slika 3-7) (*Kovačević et al., 2010*).



Slika 3-7. Geološki profili: AA' koji povezuje projektiranu bušotinu Boš – 1 s najbliže korelativnom bušotinom Ž – 2 i poprečni profil BB' koji prikazuje projektiranu bušotinu Boš – 1 (*Kolbah i Škrlec, 2012*)

Iako su na širem prostoru utvrđena ležišta geotermalne vode u karbonatnim stijenama podine neogena i sa sekundarnim pornim prostorom, na istraživačkom prostoru «Bošnjaci – sjever» zadovoljavajući i ekonomski dohvatljiv cilj istraživanja bili su pješčenjaci Županja formacije Vera.

Na istraživačkom prostoru «Bošnjaci – sjever» u dubinskoj geološkoj građi izdvojene su sljedeće kronostratigrafske jedinice: karbonati mezozojske starosti i magmatske stijene „podloge tercijara“ utvrđene u bušotini Ž – 2 koje čine najstariju neogensku podlogu u prostoru istraživanja. Na njih diskordantno naliježu klastične naslage lapora sa slabije razvijenim pješčenjacima Vukovarske formacije.

Zahvaljujući tim odnosima tu je formacija Vera sa pješčenjacima Županja glavni nosilac ležišta u pješčenjacima. Razvijena je ispod regionalnih EK-markera A (Bilić, 2014 prema Velić, 2007) ili Alfa' (*Kolbah i Škrlec, 2012*), neposredno iznad izmjene pješčanih (gdje je izdvojena pješčana serija Alfa ili A) i laporovitih naslaga Jarmina člana (Hernitz, 1983), podno kojeg su razvijeni Županjski pješčenjaci između markera a_1 i a_2, dok su u dubljem dijelu razvijene laporovite naslage lapora Borovo s povremenim pješčanim proslojcima.

Detaljnijom interpretacijom pješčenjaka Županja na profilu bušotine Ž – 2 izdvojena su tri perspektivna produktivna intervala (operativno naznačenim kao gornji pont): gp 2, gp 3 i gp 4, koji su u nešto izmijenjenom razvoju potvrđeni bušenjem i pripremljeni za pridobivanje geotermalne vode.

Strukturno-tektonski odnosi (odnosno geometrija ležišta geotermalne vode) u pješčenjacima Županja definirani su izradom karte po podini i krovini EK markera podine i krovine (Bilić, 2014) na temelju kojih je izrađena karta debljina (*Kolbah i Škrlec, 2012*), a sami su markeri detaljnije obrazloženi u završnom radu (Bilić, 2014).

Najmlađa Vuka formacija razvijena je u značajnoj debljini od preko 600 m i u cijelosti ima pokrovni i izolacijski karakter za oblikovanje geotermalnog ležišta.

Ležište geotermalne vode na istraživačkom području u pješčenjacima Županja izdvojeno je iz geološkog slijeda naslaga uz povoljne geotermijske značajke kao moguće za crpljene geotermalne vode.

U Slavonsko-srijemskoj depresiji su od ostalih mineralnih sirovina utvrđena ležišta nafte, jedno od poznatih polja je polje Ilača te promatrana bušutona Boš – 1. Ispitivanjima na susjednoj bušotini Ž – 2 nisu utvrđeni ugljikovodici dok su bušenjem u ležištu geotermalne vode utvrđeni tek slabi tragovi nafte (*Kovačević et al., 2010*).

4. ISTRAŽIVAČKI RADOVI NA LOKACIJI BUŠOTINE BOŠ – 1

Pregled istraživačkih radova na lokaciji «Bošnjaci – sjever» prikazan je prema uvidu u dokumentaciju poduzeća Ruris, Županja:

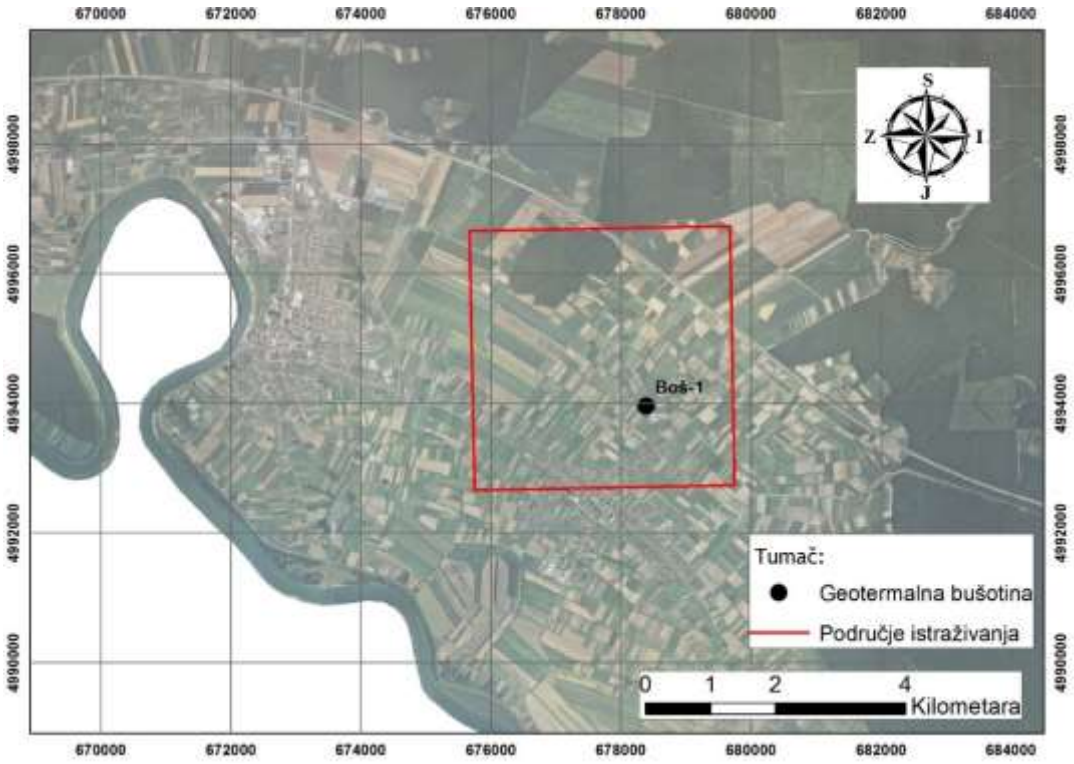
- Pojednostavljeni rudarski projekt za istraživačku geotermalnu bušotinu Bošnjaci – 1 (*Kovačević at al., 2010*)
- Hidrogeološki izvještaj bušotine Boš – 1 (*Karahodžić, 2011*)
- Analiza rezultata hidrodinamičkih mjerenja na geotermalnoj bušotini Boš – 1 (*Škrlec, 2012*)
- Elaborat o rezervama geotermalne vode u geotermalnom polju Bošnjaci (*Kolbah i Škrlec, 2012*)
- Dubinska geološka građa prostora geotermalnog polja Bošnjaci – sjever (Bilić, 2014)

S ciljem smanjenja troškova stakleničke proizvodnje rajčice, kao što je vidljivo na sljedećoj slici (Slika 4-1), do tada korišteni energent plin zamijenio se geotermalnom vodom.



Slika 4-1. Staklenička proizvodnja rajčice

U blizini staklenika izbušena je bušotina Boš – 1 kako bi se ispitalo perspektivno ležište geotermalne vode u pješčenjacima Županja. Položaj bušotine prikazan je na sljedećoj slici (Slika 4-2). Bušotina Boš – 1 locirana je na temelju korelacije s raspoloživim podatcima iz duboke istraživačke bušotine, posebno s Ž – 2 izbušenom 1963. godine, i ostalim geološko-geofizičkim informacijama, posebno s regionalnim gravimetrijskim mjerenjima.



Slika 4-2. Položaj bušotine Boš – 1

Ovom bušotinom otkriveno je geotermalno polje «Bošnjaci – sjever» te je u prvoj, istraživačkoj fazi, utvrđeno ležište na osnovi geološkog praćenja bušenja, izvršenih karotažnih mjerenja i njihove interpretacije, provedenih proizvodnih i hidrodinamičkih mjerenja te kemijskih i fizikalnih analiza stijena i fluida. Navedenim mjerenjima i njihovom obradom utvrđeni su geološko-fizikalni i kemijski parametri pomoću kojih su procijenjene količina i kakvoća rezervi geotermalne vode.

Dubokim istraživačkim bušenjem u susjednom Domaljevcu (na desnoj obali Save u BiH) utvrđena su ležišta geotermalne vode u karbonatnim stijenama podloge tercijara sekundarne šupljikavosti koja je indicirana i na bušotini Ž – 2, uporišnoj za projektiranje Boš – 1. Zbog mnogo dubljeg zalijeganja tih povoljnih potencijalnih ležišta geotermalne

vode, na istraživačkom prostoru «Bošnjaci – sjever» ekonomski su bili prihvatljiviji i tehnički zadovoljavajući pješčenjaci Županja, koji su pješčani vodonosnici primarne šupljikavosti.

Na odabranoj lokaciji izrađena je bušotina do 1165 m dubine (Slika 4-3). Zatim je prema *Kovačević et al*. (*2010*) izvršeno kontinuirano geološko praćenje i uzorkovanje materijala koje je detaljno opisano u *Karahodžić* (*2011*).



Slika 4-3. Bušaća garnitura na lokaciji bušotine Boš – 1

S obzirom na to da se radilo o naftnoplinonosnom bazenu gdje ima plinskih i naftnih polja kao npr. Đeletovci, posebna je pažnja posvećena pojavama plina i nafte. Pojave plina u bušaćem fluidu (isplaci) praćene su plinskim detektorom, a pojave nafte pregledom uzoraka pod UV svjetlošću. Unutar geotermalnog ležišta na manjem broju uzoraka primijećena je slaba pojava tekućih ugljikovodika primjenom luminiscentnog testa. Uzorak je tretiran organskim otapalom, tetrakloruglikom (CCl_4), koje je reagiralo s tragovima nafte u uzorku te je luminisciralo pod UV lampom. To samo znači da su ti pješčenjaci u okolici bušotine bili na dijelu migracijskoga puta ugljikovodika (Slika 4-4).



Slika 4-4. Tragovi nafte pod UV lampom na uzorku iz isplake

Mala količina plina izdvajana iz vode nije ometala daljnji tijek bušenja, a izdvojeni se plin tijekom izljeva bušotine spaljuje na baklji (Slika 4-5).



Slika 4-5. Spaljivanje plina na baklji

U nastavku ispitivanja za izdvajanje otopljenog plina iz vode sagrađen je odgovarajući sistem (separator) za odjeljivanje plina iz vode (Slika 4-6).



Slika 4-6. Separator plina i vode

Zatim je izvršeno karotažno mjerenje (Slika 4-7) čijom je interpretacijom određen potencijalno produktivan dio ležišta koji je uspješno zacijevljen perforiranom cijevi ugrađenom od 777 do 1033 m.



Slika 4-7. Priprema za karotažna mjerenja

Zaštitne cijevi su se prema *Kovačević et al*. (*2010*) morale cementirati što je za dublju kolonu izvršila tvrtka Schlumberger (Slika 4-8). Na Prilogu 1 prikazana je konstrukcija bušotine Boš – 1 gdje su vidljivi cementirani dijelovi bušotine kao i prateća litologija duž cijele kolone.



Slika 4-8. Cementacija

Osvajanje bušotine izvršeno je aerizacijom stupca isplake u kanalu bušotine komprimiranim zrakom što je izazvalo samoizljevanje bušotine. S vremenom i zagrijavanjem fluida u kanalu bušotine i time smanjenjem njegove obujamske mase, izdašnost bušotine povećavala se do maksimalne vrijednosti od 20 l/s. Tijekom ispitivanja crpljenja mjerena je temperatura geotermalne vode na ušću koja je iznosila 64 °C kod maksimalnog ostvarenog protoka (Slika 4-9).



Slika 4-9. Mjerenje temperature

Tijekom samoizljeva primijećene su velike količine pijeska u geotermalnoj vodi što je posljedica samog bušenja. Prethodno tome, tijekom geološkog praćenja bušenja, pored standardnog pregleda i opisa nabušenog materijala uz kontrolu eventualne prisutnosti ugljikovodika, a s napredovanjem bušenja, u dijelu potencijalnog ležišta geotermalne vode pješčenjaka Županja utvrđeno je da se radi o nedovoljno vezanom pješčenjaku za proizvodnju geotermalne vode (kvarcnom pijesku; Slika 4-10), pa su uzimani i posebni uzorci za granulometrijske analize. Prema tim analizama utvrđen je granulometrijski sastav koji je kasnije pomogao za određivanje parametara za postavljanje filtera i pješčanog zasipa (granulacije zasipa i meša filtera).



Slika 4-10. Promatranje uzorka pod mikroskopom

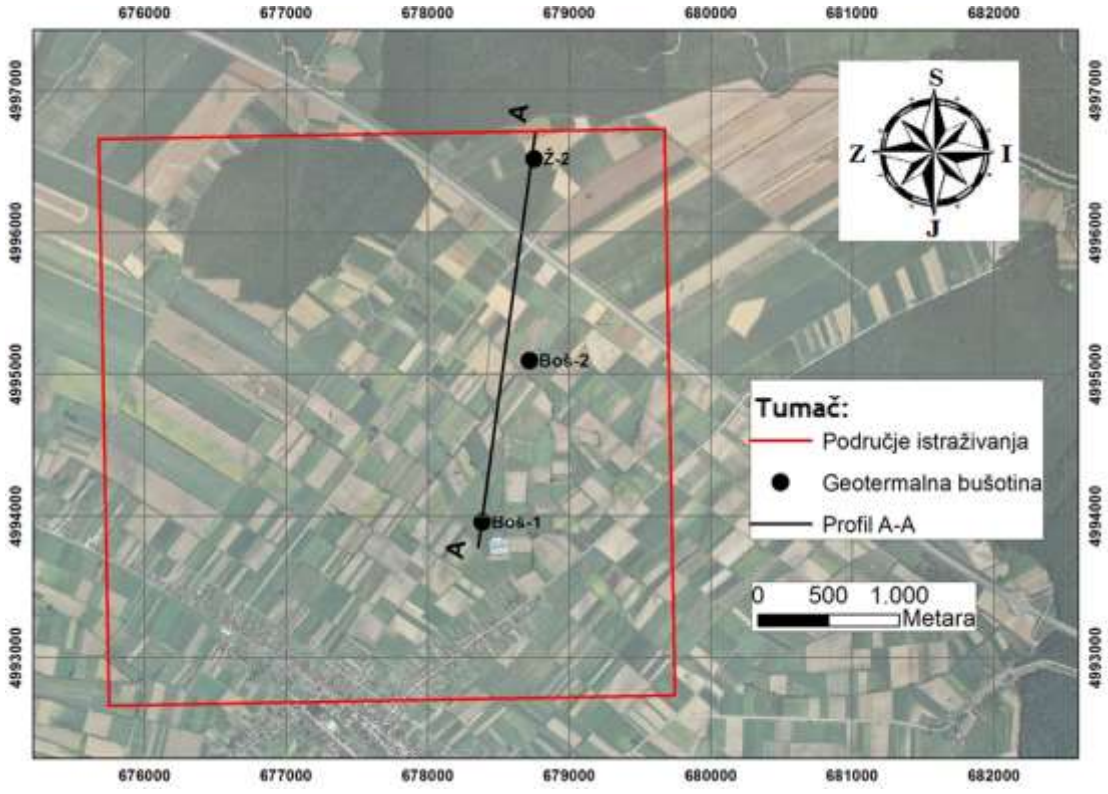
Za vrijeme proizvodnje ustanovljen je priljev veće količine pijeska tako da je postojala opasnost od gubitka bušotine zbog urušavanja. Zaključeno je kako je crpljenje geotermalne vode moguće samo uz ugradnju pješčanih filtera i izvođenje pješčanog zasipa. Unutar perforirane cijevi ugrađeni su pješčani filteri i izvršen je pješčani zasip koji dijelom prolazi kroz perforacije na cijevi i dijelom kroz sam filter. Nakon dugotrajnijeg proizvodnog ispitivanja ustanovljeno je kako u uzorcima vode nema pijeska.

Proizvodnim ispitivanjem utvrđeno je kako nakon ugradnje filtera pijeska nema ni u tragovima, ali je dotok reduciran u odnosu na proizvodnju bez ugrađenih filtera za polovicu (s 20 l/s na 10 l/s). Ponovno su izvršena hidrodinamička mjerenja s ciljem utvrđivanja ležišnog tlaka, temperature i reduciranog indeksa proizvodnosti nakon ugradnje pješčanog zasipa.

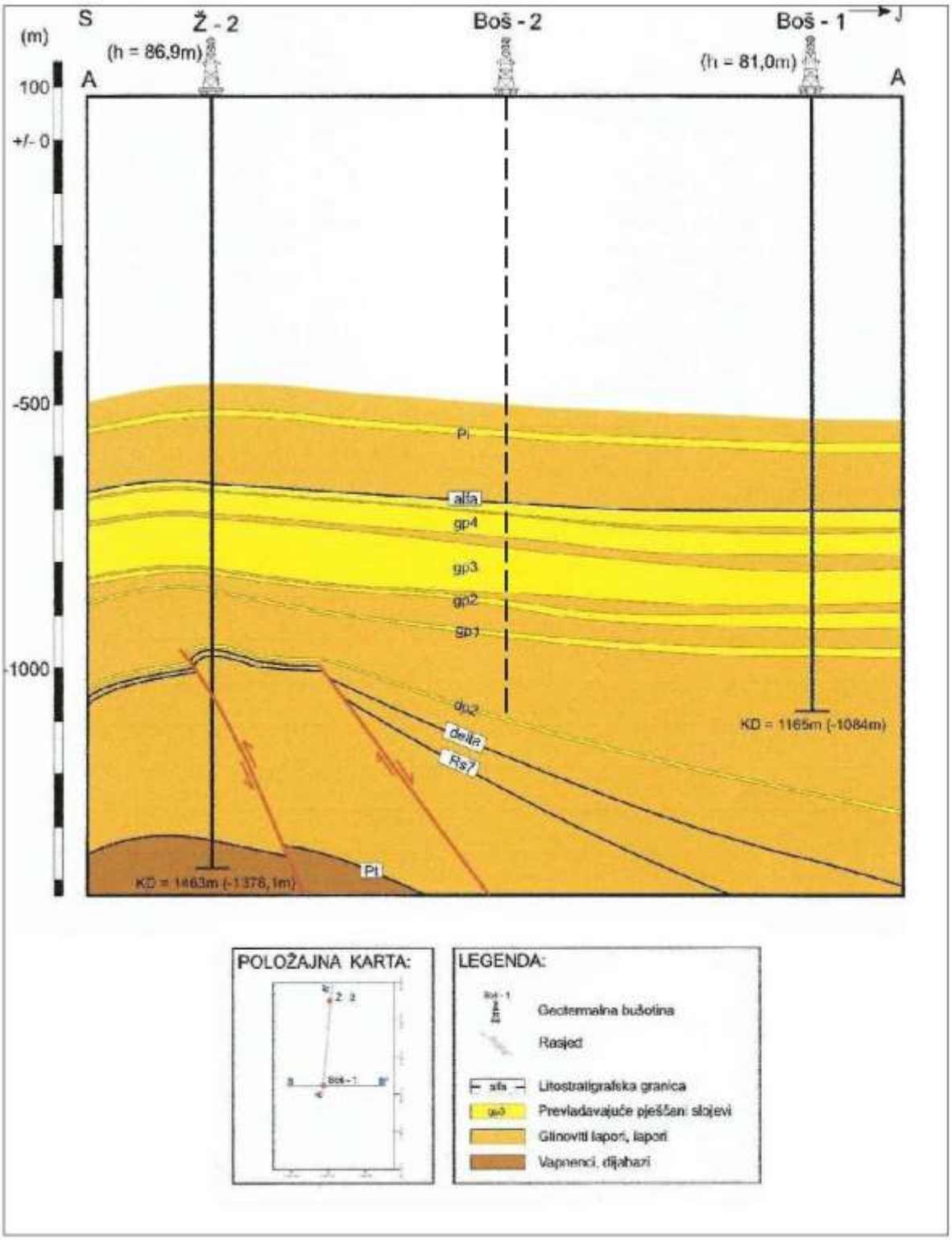
S ciljem utvrđivanja energetskog nivoa u ležištu (tj. količine crpljenja kojom se ne izaziva pad tlaka u ležištu) rađeno je duže proizvodno ispitivanje, a obavljena hidrodinamička mjerenja potvrdila su kako nije došlo do pada tlaka u ležištu nakon deset mjeseci ispitne proizvodnje za vrijeme koje je proizvedeno cca. 40 000 m^3 vode. To pokazuje kako se radi o ležištu s prirodnim napajanjem koje u potpunosti nadoknađuje količinu proizvodnje koja je ostvarena kod ispitne proizvodnje samoizljevom u količini od 10 l/s.

Sljedeći cilj razrade ležišta trenutačno se provodi, tj. utvrđuje se je li moguće pad proizvodnje uzrokovan pješčanim zasipom nadomjestiti ugradnjom dubinske centrifugalne sisaljke. Nakon toga određivat će se maksimalne rezerve izražene u l/s koje se mogu pridobiti iz ležišta s postojećom proizvodnom bušotinom, a da se pritom ne poremeti konstantan odnos režima crpljenja i prirodnog utoka.

Radi potrebe razrade geotermalnog polja «Bošnjaci – sjever» i energetskih potreba poduzeća Ruris d.o.o. Županja, planira se projektiranje dodatne istraživačko-proizvodne bušotine. U ovom diplomskom radu za potrebe geološkog odabira i definiranja potrebne bušotine primijenjena je metodologija i rezultati dani u završnom radu (Bilić, 2014). Tako definiran objekt hidrodinamički zadovoljava potrebe daljnje razrade i korištenja geotermalnog ležišta u pješčenjacima Županja i daje osnovne elemente za projektiranje istraživačko-proizvodne bušotine Boš – 2. Zahvaljujući kvalitetnim geofizičkim informacijama i mjerenjima na dvije spomenute bušotine dobiveni su pouzdani rezultati koji su omogućili nastavak istraživanja i razrade geotermalnog polja i znatno smanjili geološki rizik nove istraživačko-proizvodne bušotine. Priložene su slike s predloženom novom lokacijom (Slika 4-11.) sjeveroistočno u odnosu na već postojeću infrastrukturu, kao i njen položaj na geološkom profilu AA (Slika 4-12.) kojim se prikazuje zahvaćanje samog ležišta pješčenjaka Županja.



Slika 4-11. Položaj nove istraživačko-proizvodne bušotine



Slika 4-12. Geološki profil s bušotinom Boš-2 s pretpostavljenom udaljenosti između bušotina Boš – 1 i Ž – 2. Županjski pješčenjaci se nalaze u formaciji Vera između neformalnih repera Delta i Alfa. Po klasifikaciji koja vrijedi upravo u Slavonsko-srijemskoj depresiji to se EK markeri «A» (korelativan s «Alfa») i «B» (korelativan s «Delta»)

5. ZNAČAJKE I MOGUĆNOSTI LEŽIŠTA

U daljnjem tekstu razmatraju se geološko-fizikalne karakteristika ležišta i fluida pješčenjaka Županja, kao i procjena proizvodnih mogućnosti ležišta pomoću bušotine Boš – 1 kao najbitnijim faktorima pri procjeni zaliha geotermalne vode (energije).

5.1. Geološko – fizikalne karakteristike vodonosnih stijena

Za procjenu petrofizikalnih parametara pješčenjaka Županjskih (šupljikavosti, zasićenja vodom i litologije) korištena su izvješća geološkog praćenja bušenja i interpretacija karotažnih dijagrama (karotažne krivulje konvencionalne elektrokarotaže EL/Sp).

Zasićenje vodom određeno je analizom karotažnih dijagrama te iznosi S_w = 100 %. Obujam ležišta odabranog segmenta određen je računski množenjem površine i srednje efektivne debljine ležišta.

Na temelju dobivenih podataka utvrđeni su osnovni parametri kolektora i fluida u ležištu te je u odabranom segmentu ležišta izračunat obujam geotermalne vode volumetrijskom metodom prema jednadžbi (5-1):

$$V_{wL} = V_L \cdot \phi \cdot S_w / B_w, \quad (m^3) \qquad (5\text{-}1.)$$

gdje je:

V_{wL} - Obujam vode u ležištu, m^3;

V_L - Obujam ležišta, m^3;

ϕ - Šupljikavost ležišta, dij. cijelog;

S_w- Zasićenje vodom, dij. cijelog;

B_w - Obujamski faktor za vodu, m^3/m^3, ovdje je 1,0248 m^3/m^3 (prema *Kolbah i Šrklec, 2012*).

U Tablici 5-1 dan je pregled parametara korišten u izračunu obujma vode odabranog dijela ležišta Županjskih pješčenjaka.

Tablica 5-1. Pregled parametara korišten u izračunu obujma vode odabranog dijela ležišta pješčenjaka Županja (*Kolbah i Škrlec, 2012*).

Ležište	Površina segmenta m^2	Obujam ležišta m^3	Srednja efektivna debljina m	Šupljikavost %	Obujamski faktor m^3/m^3	Obujam vode u ležištu m^3
Pješčenjaci Županja	16 000 000	1 536 000 000	96	22,0	1,0248	346 300 416

Utvrđeni obujam vode za odabran prostor geotermalnog ležišta iznosi 346 300 416 m^3.

5.2. Hidrodinamičke značajke ležišta

Proizvodnim ispitivanjem i hidrodinamičkim mjerenjima nakon izradbe bušotine dobiveno je između 432,0 m^3/dan (5 l/s) i 2 000 m^3/dan (23 l/s) vode, ovisno o otvorenosti ventila kojim se regulirala proizvodnja. Izmjerena je temperatura od 73,3 °C na 1 020 m. Temperatura na ušću kod proizvodnje od 20 l/s iznosila je 65 °C. Transmisivnost u ležištu iznosi $22403 \cdot 10^{-3}$ $\mu m^2 \cdot m$ za efektivnu debljinu od 96 m. Hidrodinamičke karakteristike ležišta dobivene su interpretacijom hidrodinamičkih mjerenja prikazanim u Tablici 5-2. prema podacima *Kolbah i Škrlc* (*2012*).

Tablica 5-2. Hidrodinamičke karakteristike ležišta

Transmisivnost, $k \cdot h_{ef}$	$22403 \cdot 10^{-3}$ $\mu m^2 \cdot$ m;
Efektivna debljina, h_{ef}	96 m;
Propusnost, k	$233 \cdot 10^{-3}$ μm^2.

5.3. Fizikalno-kemijska analiza ležišnih fluida

Fizikalno-kemijska analiza uzorka geotermalne vode iz bušotine Boš – 1 pokazuje kako je geotermalna voda prema klasifikaciji slojnih voda svrstana u slabo mineralizirane vode u kojoj dominiraju hidrokarbonatni, kloridni i natrij-ioni, visoke uporabne kvalitete, nekorozivna i ne sadrži veliku količinu prisutnih plinova. Analiza pokazuje i koncentraciju vodikovih iona pH=7,33 te salinitet 2,18 g NaCl/l.

S obzirom na rezultate fizikalno-kemijskih analiza geotermalne vode, od Hrvatskih voda dobivena je vodopravna dozvola prema *Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 80/13, 43/14)* za ispuštanje ohlađene geotermalne vode (30 ^{o}C) u melioracijski kanal za oborinsku odvodnju u neposrednoj blizini bušotine (Slika 5-1).

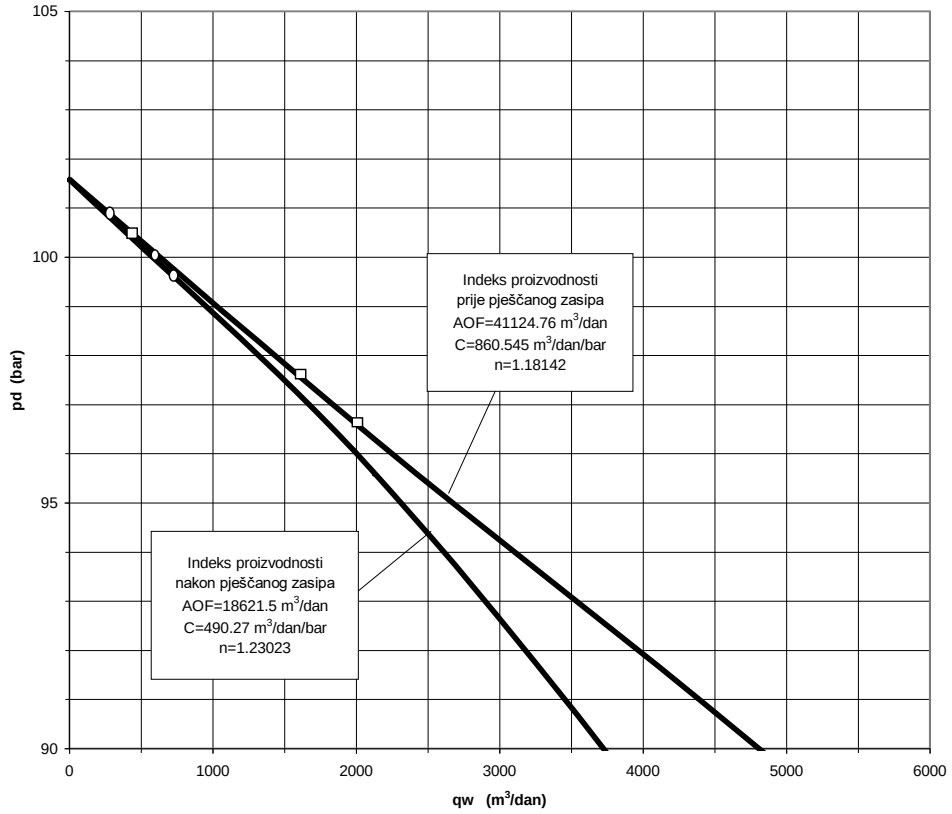


Slika 5-1. Ispuštanje vode u melioracijski kanal

Ispitani parametri zadovoljavaju kriterije za ispuštanje u prirodni prijemnik pa potencijalne opasnosti po okoliš kod proizvodnje pod zadanim uvjetima geotermalne vode praktički nema.

5.4. Mogućnosti ležišta kroz bušotinu Bošnjaci – 1

Procjena moguće količine proizvodnje iz ležišta kroz bušotinu Boš – 1 načinjena je na temelju ispitne proizvodnje eruptivnim načinom i hidrodinamičkim mjerenjima. Procjena je izražena pomoću Indeksa Produktivnosti (PI) koji predstavlja odnos davanja bušotine i njemu odgovarajuće razlike između statičkog i dinamičkog tlaka na njezinu dnu. Krivulje indeksa proizvodnosti prikazane su na Slici 5-1., a dobivene su metodom linearne regresije izmjerenih podataka pomoću tri uvjeta proizvodnje eruptivnim načinom prije i nakon pješčanog zasipa (*Škrlec,2012*).



Slika 5-2. Krivulja indeksa proizvodnosti (*Kolbah i Škrlec, 2012*)

Prema *Kolbah i Škrlec* (*2012*) iz krivulje indeksa proizvodnosti dobivene nakon ugradnje pješčanog zasipa može se očitati da će se s ugrađenom dubinskom centrifugalnom sisaljkom moći povećati pridobivanje geotermalne vode na 2 000 m^3/dan (23 l/s) s ostvarenom depresijom od 6 bar.

Elaboratom se potvrđuju količina i kakvoća rezervi geotermalne vode te ekonomska isplativost korištenja s obzirom na ukupna ulaganja i dobivenu korist, tj. količinu energije koja se dobije iz proizvedene geotermalne vode. Kako bi se mogle eksploatirati i rentabilno

koristiti, geotermalne vode i mineralne rezerve moraju pripadati bilančnim i dokazanim rezervama kategorija A, B i C1 prema *Pravilniku o prikupljanju podataka, načinu evidentiranja i utvrđivanja rezervi mineralnih sirovina te o izradi bilance tih rezervi (NN48/1992)*. Postojanjem bušotine te hidrodinamičkim i drugim u njoj načinjenim mjerenjima prikupljeno je dovoljno podataka da se rezerve proučavanog geotermalnog ležišta mogu svrstati u dokazane rezerve kategorije C_1. Radi sigurnosti i dugogodišnje proizvodnje u bližoj budućnosti planirana je izrada dodatne istraživačko-proizvodne bušotine. Tako bi se s ciljem dugogodišnje uspješne stakleničke proizvodnje rajčice hidroponskim uzgojem osiguralo pridobivanje geotermalne energije uz konstantnu temperaturu.

6. ZAKLJUČAK

Cilj ovog diplomskog rada bila je obrada podataka i izrada pregleda rezultata istraživanja u prostoru današnjeg geotermalnog polja «Bošnjaci – sjever» kao i obrada podataka o bušotini Boš – 1 koja je izvedena kako bi se polje dokazalo i privelo pridobivanju geotermalne vode. Nadalje, taj uži prostor stavljen je u geološke odnose s općim geološkim spoznajama o podini kenozoika te neogenu i kvartaru na području istočne Slavonije, tj. Slavonsko-srijemske depresije. Također je prikazan niz metoda kojima se općenito mogu istraživati «plića» geotermalna ležišta u prostoru sjeverne Hrvatske.

Razrađene su i geološko-fizikalne značajke ležišta i fluida u geotermalnom polju «Bošnjaci – sjever». Postojeća bušotina Boš – 1 projektirana je i uspješno izbušena uporabom regionalne dubinske korelacije s postojećom bušotinom Ž – 2. Dokazano je ležište s dovoljnim dokazanim zalihama geotermalne vode koja se može koristiti u energetske svrhe. Prema karti izobata po EK markeru A u krovini formacije Vera, iz Bilić (2014) je vidljivo kako se dubine zalijeganja povećavaju prema jugu čime tvore monoklinu. U smjeru od juga prema sjeveru izobate poprimaju sve manje dubine. Južni dio odlikuju dubine veće od 800 m što se smanjuje prema sjeveru. Glavna razlika u dubini vidi se na karti izobata po EK markeru H (Prilog 5 iz Bilić, 2014) gdje se od crveno naznačenog normalnog rasjeda, pružanja ISI – ZJZ dubina smanjuje. Dubina podine najveća je na jugu na dubini većoj od – 1500 m. Također, debljina ležišta u zahvaćenom proučavanom području neznatno varira te njegova srednja efektivna debljina iznosi 96 m.

Kao neki od najznačajnijih rezultata istraživanja i interpretacije izdvojeni su:

- Pješčenjaci Županja glavni su vodonosnici u istraživačkom prostoru;
- Budući da cijelim svojim volumenom predstavljaju geotermalno ležište, ono je također tako i imenovano;
- Geotermijski gradijent je visok i iznosi 6,1 °C/100 m;
- Dodatna povoljna geološka činjenica jest ta da su stijene «podine tercijara» (mezozoika), kao pretpostavljeni regionalni vodonosnik geotermalne vode, relativno plitko, što je povoljno za oblikovanje geotermalnog ležišta u njihovoj klastičnoj krovini;
- Prikazan je ogledni proces bušenja geotermalne bušotine uz popratne informacije i fotografije, kako bi se slična buduća bušenja u prostoru sjeverne Hrvatske mogla planirati i takvim podatcima;

- Bušenjem i mjerenjima dokazano je kako rezerve proučavanog geotermalnog ležišta pripadaju dokazanim rezervama kategorije C1;
- Eruptivnim načinom crpi se dnevna maksimalna količina crpljenja, a to je 10 l/s;
- Desetomjesečnim ispitivanjem utvrđeno je kako se radi o ležištu s podržavanjem tlaka prirodnim utokom. Ugradnjom dubinske centrifugalne sisaljke dobivena je dvostruko veća količina vode s tim da nije uočen pad tlaka u ležištu prilikom crpljenja.

Bušotinom Boš – 1 dobiven je velik broj podataka koji može služiti budućoj gradnji istraživačko-proizvodne bušotine Boš – 2, čime bi se osigurala daljnja razrada polja i omogućila pouzdanija proizvodnja geotermalne energije uz konstantnu temperaturu za sljedećih pedesetak godina.

7. LITERATURA

Objavljeni izvori

1. ALJINOVIĆ, B., 1963. Seizmička ispitivanja duboke seizmičke bušotine Županja-2 – mjerenje brzine širenja elastičnih valova. Geofizika, Zagreb.
2. ALJINOVIĆ, B., 1986. Dubine zalijeganja Moho diskontinuiteta. Nafta,37/3, Zagreb, 127-130 str.
3. BILIĆ, T., 2014, Dubinska geološka građa područja geotermalnog polja Bošnjaci–sjever. Završni rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 22 str.
4. BRKIĆ, M., GALOVIĆ, I., BUZALJKO, R., 1989. Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100 000, list Vinkovci. L 34 – 98. Geološki Zavod – Zagreb, Geoinžinjering – Sarajevo, 1979-1985. Savezni geološki zavod, Beograd.
5. ĆUBRIĆ S., 1987. Obnovljiva geotermijska energija i njen utjecaj na ekonomiku proizvodnje geotermijske energije na nekim ležištima u SR Hrvatskoj. Doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 147 str.
6. DUKIĆ, G., 2012. Analiza geotermalnog potencijala i korištenja geotermalne energije u Dravskom bazenu kao podrška upravljanju energetskim razvojem Republike Hrvatske. Procjena geotermalnog kapaciteta u bazenu Drave, Ekonomski fakultet u Osijeku, Osijek, 335-358 str.
7. FILJAK, R., PLETIKAPIĆ, Ž., NIKOLIĆ, D. i AKSIN, V., 1969. Geologija nafte i prirodnog plina neogenskog kompleksa i njegove podloge u južnom dijelu Panonskog bazena. Nafta, 12, Zagreb, 583-598 str.
8. GALOVIĆ, I., BRKIĆ, M., BUZALJKO, R., 1989. Osnovna geološka karta 1 : 100 000 Tumač za list Vinkovci L34-98. Savezni geološki zavod Beograd, 46 str.
9. GETLIHER, A., CAZIN, V., FEIGL, A., 2012. Strategija proizvodnje i uporabe geotermalne energije u energetskom razvitku Republike Hrvatske. Ekonomski fakultet u Osijeku, Osijek, 153-168 str.

10. GETLIHER, A., CAZIN, V., MURŠIĆ, R., 2006 Geotermalna energija kao obnovljivi resurs postoji u Hrvatskoj u znatnoj mjeri ali se nedovoljno iskorištava za njen gospodarski razvitak. Zbornik radova, INA-Naftaplin, Zagreb, 130 str.
11. GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D., 1912. Iz prapornih predjela Slavonije. Vijesti Geol. povjerenstva, 2, Zagreb, 28-30 str.
12. GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D., 1920. Morfološke prilike srijemskog lesa. Glasnik Geografskog društva, 5, Beograd, 17-53 str.
13. GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D., 1922. Morfologijske i hidrogeologijske prilike prapornih predjela te pograničnih česti županije Virovitičke. Glasnik Hrvatskog Prirodnog društva, 34, 2, Zagreb, 3-64 str.
14. HAUER, F., 1867.-1871. Geologische Übersichtskarte Österreich – Ungarischen Monarchie. Blatt X, Wien
15. HERNITZ, Z., 1983. Dubinski strukturno-tektonski odnosi u području istočne Slavonije. Disertacija, Nafta, Zagreb, 221 str.
16. HRVATSKI SABOR, 2013. Zakon o rudarstvu. Narodne novine 56/13, 47 str.
17. JELIĆ, K., 1979. Termičke osobine sedimentacionog kompleksa jugozapadnog dijela Panonskog bazena. disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučillšte u Zagrebu, 79 str.
18. JELIĆ, K., KVERIĆ, I., KRASIĆ, O., 1995. Temperatura i toplinski tok u tlu Hrvatske. Zbornik radova 1. Hrvatskog geološkog kongresa, Opatija, 245-249.str.
19. KRANJEC, V., 1981. Neke značajke naftoplinonosnosti naslaga i moguća daljnja nalazišta ugljikovodika u predjelima Vanjskih Dinarida i Jadranskog područja. Pomorski zbornik, 19, Rijeka, 385 – 412 str.
20. KOLBAH, S. 1976. Geotermičke značajke jugozapadnog dijela Panonskog bazena. Magistarski rad, Svučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 81 str
21. KOLBAH, S. i ŠKRLEC, M., 2014. Hidro-geotermalni resursi na području Bosuta - inicijator razvoja gospodarstva, Hydro - geothermal resources of Bosut area an initiator of economy development. HAZU CZR u Vinkovcima - Znanstveni skup: Rijeka Bosut i Pobosučje u prošlosti, sadašnjosti i budućnosti, Vinkovci, 15 str.

22. MINISTARSTVO POLJOPRIVREDE, 2013. Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda. (NN 80/13, 43/14), 70 str.

23. MINISTARSTVO ENERGETIKE I INDUSTRIJE, 1992. Pravilnik o prikupljanju podataka, načinu evidentiranja i utvrđivanja rezervi mineralnih sirovina te o izradi bilance tih rezervi. (NN 48/1992), 75 str

24. MALVIĆ, T. i CVETKOVIĆ, M. 2013. Lithostratigraphic units in the Drava Depression (Croatian and Hungarian parts) – a correlation. Nafta, 64, 1, 27-33.

25. MALVIĆ T. VELIĆ J. 2010. Relation between effective thickness, gas production and porosity in heterogeneous reservoirs, an example from the Molve Field, Croatian Pannonian Basin. Petrol. Geosc., 16 (1), 41–51 str.

26. MALVIĆ T. 2012 Review of Miocene shallow marine and lacustrine depositional environments in Northern Croatia. Geol. Quart., 56 (3), 493–504 str

27. MALVIĆ, T., 2016. Regional turbidites and turbiditic environments developed during Neogene and Quaternary in Croatia. De Gruyter Open 39-54 str.

28. PILAR, Đ., 1876. Podravina, Đakovština i Dilj-gora. Rad JAZU, 3, Zagreb, 38 – 57 str.

29. ŠANDOR, F., 1912. Istraživanja prapora iz Vukovara, Bilo Gore i sa Rajne. Vijesti Geol. Povjerenstva, 2, Zagreb, 103 – 108 str.

30. ŠIMON, J., 1973. O nekim rezultatima regionalne korelacije litostratigrafskih jedinica u jugozapadnom području Panonskog bazena. Nafta, 3, Zagreb, 119-127 str.

31. VELIĆ, J., 2007. Geologija ležišta nafte i plina. Udžbenik, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko - geološko - naftni fakultet, 342 str.

32. ŽIVKOVIĆ, S., KOLBAH, S., GOLUB, M., ŠKRLEC M., 2015. Croatia Country Update 2015 and On, Proceedings World Geothermal Congress. Australia, 11 str.

Iz fonda stručne dokumentacije:

33. KARAHOĐIĆ, M., Hidrogeološki izvještaj bušotine Boš – 1. Geo-hidro d.o.o.Preserje, 17 str.

34. KOLBAH, S. i ŠKRLEC, M., 2012. Elaborat o rezervama geotermalne vode u istražnom području „Bošnjaci-Sjever“ geotermalnog polja „Bošnjaci-Sjever“. Fond dokumentacije-Ruris d.o.o., Županja, 62 str.

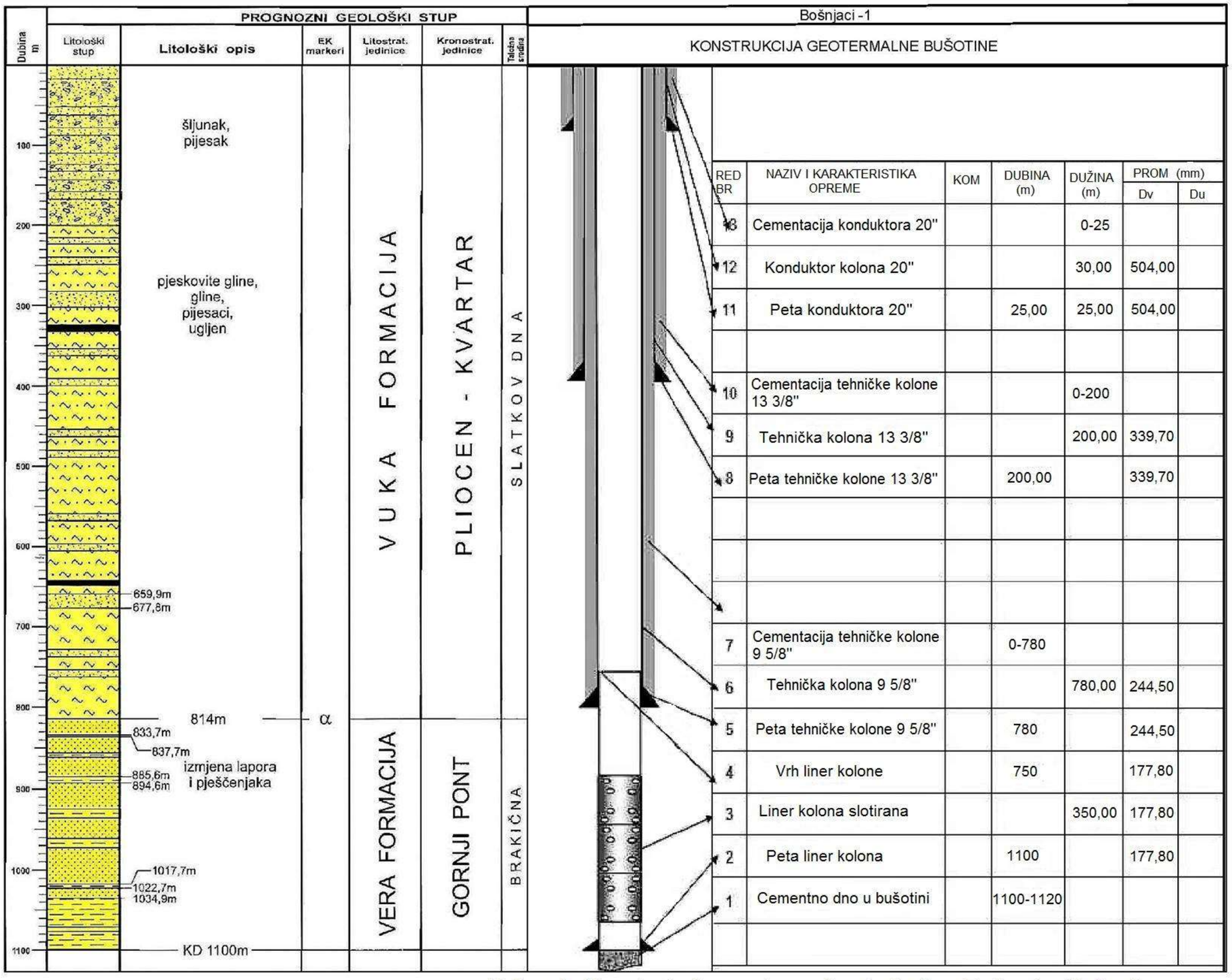
35. KOVAČEVIĆ, Z., KOLBAH, S., STANIŠIĆ, A., 2010. Pojednostavljeni rudarski projekt za istražnu geotermalnu bušotinu Bošnjaci – 1 (Boš-1). Geološki program bušotine, Fond dokumentacije- Ruris d.o.o. – Ministarstvo gospodarstva, Županja, 65 str.

36. RUBINIĆ, A. 1961. Geološki prikaz strukture Županja. Fond stručne dokumentacije, INA – Naftaplin, Zagreb

37. SARIĐA, V. 1963. Analiza EK-dijagrama bušotine Ž-2. Služba proizvodnje. Fond struč. dokum. INA – Industrija nafte d.d., Zagreb.

38. ŠKRLEC, M., 2012. Analiza rezultata hidrodinamičkih mjerenja na geotermalnoj bušotini Boš – 1. Fond dokumentacije.-Ruris d.o.o., Bošnjaci, 52 str.

PRILOZI



Bošnjaci -1

KONSTRUKCIJA GEOTERMALNE BUŠOTINE

RED BR	NAZIV I KARAKTERISTIKA OPREME	KOM	DUBINA (m)	DUŽINA (m)	PROM (mm) Dv	Du
13	Cementacija konduktora 20"			0-25		
12	Konduktor kolona 20"			30,00	504,00	
11	Peta konduktora 20"		25,00	25,00	504,00	
10	Cementacija tehničke kolone 13 3/8"			0-200		
9	Tehnička kolona 13 3/8"			200,00	339,70	
8	Peta tehničke kolone 13 3/8"		200,00		339,70	
7	Cementacija tehničke kolone 9 5/8"		0-780			
6	Tehnička kolona 9 5/8"			780,00	244,50	
5	Peta tehničke kolone 9 5/8"		780		244,50	
4	Vrh liner kolone		750		177,80	
3	Liner kolona slotirana			350,00	177,80	
2	Peta liner kolona		1100		177,80	
1	Cementno dno u bušotini		1100-1120			

Prilog 1. Konstrukcija geotermalne bušotine Boš - 1 s litologijom (prema Kovačević et al., 2010)