

Procjene temperature formacije iz bušotinskih podataka na primjeru iz Savske depresije

Papić, Anđela

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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:169:502069>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-21**



Repository / Repozitorij:

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



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

**PROCJENE TEMPERATURE FORMACIJE IZ BUŠOTINSKIH PODATAKA NA
PRIMJERU IZ SAVSKE DEPRESIJE**

Završni rad

Anđela Papić

G4668

Zagreb, 2024



KLASA: 602-01-24-01/97
URBROJ: 251-70-14-24-1
U Zagrebu, 12.09.2024.

Andela Papić, studentica


RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01-24-01/97, URBROJ: 251-70-14-24-1 od 13.06.2024. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

PROCJENE TEMPERATURE FORMACIJE IZ BUŠOTINSKIH PODATAKA NA PRIMJERU IZ SAVSKE DEPRESIJE

Za mentoricu ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Doc.dr.sc. Iva Kolenković Močilac nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentorica:



(potpis)

Doc.dr.sc. Iva Kolenković
Močilac

(titula, ime i prezime)

Predsjednica povjerenstva za
završne i diplomske ispite:



(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Ana Maričić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:



(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje
Pašić

(titula, ime i prezime)

PROCJENE TEMPERATURE FORMACIJE IZ BUŠOTINSKIH PODATAKA NA PRIMJERU IZ SAVSKE
DEPRESIJE

Anđela Papić

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

Sažetak

Odgovarajuće metode procjene temperatura iz bušotinskih podataka neophodne su za pravilno istraživanje dubokog podzemlja. Razni izvori podataka imaju različite korekcije, u ovom slučaju su očitane vrijednosti BHT-a korigirane su Hornerovom metodom dijagrama te su dobiveni rezultati uspoređeni s očitanjima iz DST mjerenja. Analizirani su podatci iz bušotina smještenih u Savskoj depresiji, koja pripada hrvatskom dijelu Panonskog bazenskog sustava, pri čemu su bušotine odabrane prema dostupnosti potrebnih podataka. Obrada podataka provedena je u programu Microsoft Excel. Na kraju je provedena usporedba podataka i procjena pouzdanosti korištenih metoda pri određivanju stvarne temperature formacije.

Ključne riječi: Panonski bazenski sustav, Savska depresija, BHT, Hornerova metoda dijagrama, DST

Završni rad sadrži: 16 stranica, 2 tablice, 4 slike i 11 referenca.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentorica: doc. dr. sc. Iva Kolenković Močilac

Ocjenjivači: doc. dr. sc. Iva Kolenković Močilac
izv. prof. dr. sc. Marko Cvetković
izv. prof. dr. sc. Bruno Saftić

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. GEOLOŠKA GRAĐA PODRUČJA ISTRAŽIVANJA	2
3. METODOLOGIJA I ULAZNI PODATCI	5
3.1 Metode procjene i mjerenja temperature u dubokom podzemlju	5
3.2 Geografski aspekti i karakteristike koncentracije bušotina u Savskoj depresiji.....	8
4. REZULTATI.....	10
4.1 Pregled vrijednosti temperature prikupljenih iz DST testiranja	12
5. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK	13
6. LITERATURA	16

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Depresije smještene unutar hrvatskog dijela Panonskog bazena (Malvić i Saftić, 2008.....	2
Slika 3-1. Drill stem test (modificirano prema https://northstardst.com/services/drill-stem-testing/).	8
Slika 3-2. Istraživano područje i lokacije korištenih bušotina (preuzeto sa OpenStreetMap-a; modificirano u programu QGIS).	9
Slika 5-1. Dijagram usporedbe BHT-a i temperature korigirane Hornerovom metodom. ..	13

POPIS TABLICA

Tablica 4-1. Bušotine i njima pripadajuće korigirane temperature procijenjene Hornerovom metodom.	10
Tablica 4-2. Bušotine i njima pripadajući DST podatci.....	12

1. UVOD

U ovom radu prikazane su metode procjene temperatura dubokog podzemlja, pri čemu su očitane BHT (engl. „*bottom hole temperature*“) korigirane Hornerovom metodom dijagrama, a dobiveni rezultati uspoređeni su s očitanjima iz DST (engl. *Drillstem test*) mjerenja. Temperatura izmjerena na dnu bušotine podcjenjuje stvarnu temperaturu formacije jer je pod utjecajem cirkulacije isplake, odnosno vrijeme od prestanka cirkulacije isplake do mjerenja temperature nije dovoljno da bi se postigla temperaturna ravnoteža, stoga je potrebno provesti korekcije kako bi se dobile realnije vrijednosti temperature. Cilj je bio ocijeniti pouzdanost i preciznost korištenih metoda, identificirati i analizirati pogreške i utvrditi njihove uzroke. Rezultati su uspoređeni s DST podacima, koji, iako rijetki, predstavljaju najpouzdanije rezultate. U tu svrhu korišteni su podatci iz 33 bušotine smještene na području Savske depresije koja pripada jugozapadnom dijelu Hrvatskog dijela Panonskog bazenskog sustava. Bušotine su odabrane na temelju dostupnosti potrebnih podataka.

Kao prvi korak dan je pregled geološke građe istraživanog područja u kojem se opisuju strukturni i stratigrafski odnosi koji su uzrokovali pojavu povišenog toplinskog toka. Nakon opisa korištenih metoda prikazane su tabelirane vrijednosti obrađene u programu Microsoft Excel. Na kraju se daje pregled rezultata te se navode svi bitni zaključci.

2. GEOLOŠKA GRAĐA PODRUČJA ISTRAŽIVANJA

Hrvatski dio Panonskog bazena obuhvaća jugozapadni dio Panonskog bazenskog sustava (PBS) koji je kao jedna složena cjelina omeđen starom Europskom pločom na sjeveru, Alpama na zapadu, Jadranskom karbonatnom platformom na jugu i Mezijskom pločom na istoku. Postanak Panonskog bazenskog sustava započelo je u otnangu subdukcijom i konvergencijom Apulijske ploče pod Dinaride (Velić i dr.,2012). U tom razdoblju razvijaju se njegova južna (perijadransko-varđarski lineament) i sjeverna granica (Vanjski Karpati) unutar kojih se djelovanjem transkurentnih rasjednih sustava otvaraju bazeni, uleknine i potonine (Velić i dr.,2012). Cijeli prostor hrvatskog dijela Panonskog bazena smještenog u Sjevernoj Hrvatskoj obuhvaća četiri depresije, promatrajući od sjeverozapada prema jugoistoku to su Murska, Dravska, Savska i Slavonsko-srijemska (Slika 2-1) kao i Bjelovarsku te Požešku subdepresiju. Podatci obrađeni u ovom radu dolaze iz Savske depresije koja se nalazi između Medvednice i Žumberačke gore na sjeverozapadu, Moslovačke gore na sjeveru, Papuka i Krndije na sjeveroistoku i Petrove gore na jugozapadu.



Slika 2-1. Depresije smještene unutar hrvatskog dijela Panonskog bazena (Malvić i Saftić, 2008).

Hrvatski dio Panonskog bazena možemo, s obzirom na starost i litološki sastav, podijeliti u dvije skupine. Stijene koje se nalaze u podlozi su magmatskog i metamorfnog podrijetla paleozojske starosti a na njima se mjestimično nalaze mezozojski karbonati. Druga skupina su sedimenti neogensko-kvartarne starosti (Malvić i Saftić, 2008). Sedimentacija hrvatskog dijela PBS-a karakterizirana je cikličnošću te su naslage neogena i kvartara podijeljene u tri megaciklusa. Debljina neogenskih sedimenata mijenja se od rubova depresije prema središnjim dijelovima uz povećanje debljine. Svaki megaciklus definiran je dobro opisanim nizom litostratigrafskih jedinica koje uključuju sedimente taložene u ovisnosti o relativnoj promjeni razine mora (Velić i dr.,2012).

Prvi megaciklus, istaložen u prvoj transtenzijskoj fazi, obuhvaća sedimente donjeg i srednjeg miocena, u Savskoj depresiji predstavljen je Prečec formacijom. Opisan je kao heterogena sekvencija sitno zrnastih i krupno zrnastih klastita te karbonata. Povećanje intenziteta ekstenzije i marinske transgresije rezultira dominacijom taloženja lapora i silita te krupnozrnastih klastita (Pavelić, 2001). Završetak glavne ekstenzijske faze označava i kraj prvog taložnog megaciklusa. Drugi megaciklus je starosti kasnog miocena. Obuhvaća formacije Prkos, Ivanić-Grad, Kloštar Ivanić i Široko Polje u Savskoj depresiji. Taloženi su slojevi lapora proslojeni sa sitno zrnatim i srednje zrnatim pješčenjacima. Udio i debljina slojeva pješčenjaka variraju ovisno o uvjetima taloženja. U početku su se taložili mutnim strujama u zaštićenoj sredini, a kasnije je u jezero ušla delta, što je povećalo udio pješčenjaka. Općenito, taložni model ovog megaciklusa upućuje na to da se radi o dubljoj niskoenergetskej sredini, brakičnim i jezerskim okolišima (Malvić i Saftić, 2008). Treći, najmlađi, megaciklus pripada pliocenskoj, pleistocenskoj i holocenskoj epohi. Obuhvaća formaciju Lonja u Savskoj depresiji koja je karakterizirana močvarnom, jezerskom i riječnom sedimentacijom, sastoji se od nekonsolidiranih pijesaka, šljunka i gline uz sporadične pojave mjestimično debelih ugljena. (Velić i dr.,2012).

Strukturni razvoj jugozapadnog dijela PBS-a započeo je ekstenzijskom tektonikom. U hrvatskom dijelu Panonskog bazena početak ekstenzije obilježen je pojavom andezitnog vulkanizma na području sjeverno od Zagreba nakon čega slijedi glavna ekstenzija tijekom ranog i srednjeg miocena koja je dovela do pokretanja lijevih transkuretnih rasjeda i otvaranja glavnih regionalnih (depresije u Panonskom bazenu) i lokalnih ekstenzijskih zona koje su onda ispunjene neogenskim sedimentima. Do završetka glavne ekstenzijske faze dolazi u razdoblju između srednjeg i kasnog miocena (Prelogović i dr., 1998). Odgovarajući ekstenzijski bazeni

označavaju zone najintenzivnijeg rastezanja litosfere što rezultira velikim protokom topline. Plitki položaj granice litosfere i astenosfere ispod Panonskog bazena odraz je podizanja astenosferskog plašta (dijapirskog podizanja) te uzrokuje termalnu subsidenciju uslijed izostatskog potonuća istanjene kore (Konečný i dr., 2002). Termalno slijeganje pridonijelo je taloženju velike količine sedimenata u panonu. Ponovna tektonska aktivnost pojavljuje se u pliocenu gdje dolazi do inverzije prijašnjeg ekstenzijskog u kompresijski režim. Tektonski pokreti inicirani subdukcijom Jadranske ploče ispod Dinarida i Alpa formirali su navlake i reverzne strukture, zbog jačanja kompresijskog režima, uz istovremene desne transkurentne pomake koji se najbolje vide u Južnim Alpama i Dinaridima (Prelogović i dr., 1998).

3. METODOLOGIJA I ULAZNI PODATCI

Na temelju bušotinskih podataka, uzetih iz zapisnika o radu, izdvojene su dubine bušenja i izmjerene BHT temperature s vremenom proteklom od prestanka cirkulacije isplake. Ulazni podatci uzeti su iz 33 bušotine koje su ispunjavale kriterije za provođenje korekcija. Također su korištena mjerenja temperature provedena DST testiranjem za 21 bušotinu koja je imala dostupne izmjerene podatke.

3.1 Metode procjene i mjerenja temperature u dubokom podzemlju

Određivanje temperatura dubokog podzemlja ključno je za različite primjene u geologiji i srodnim poljima. Proces se provodi kako bi se dobile informacije o raspodjeli temperature što je primarno za razumijevanje geotermalnog potencijala istraživanoga područja.

S obzirom da se energija kreće iz unutrašnjosti Zemlje prema njenoj površini, porastom dubine povećava se i temperatura. Bušotine stoga pokazuju neprestani rast temperature s dubinom što se izražava geotermalnim gradijentom. Geotermalni gradijent izračunava se na temelju temperature formacije, prosječne temperature na površini i dubine formacije, pri čemu se pod formacijom podrazumijeva stijensko tijelo zajedno s fluidima sadržanima unutar pora. Pri tom se pretpostavlja linearni rast temperature s dubinom što vrijedi samo u homogenim sredinama. Temperatura formacije ovisi o sposobnosti materijala da prenosi ili zadržava toplinu, odnosno o toplinskoj vodljivosti formacije. Geotermalni gradijent u bušotini stoga varira u ovisnosti o toplinskim vodljivostima različitih slojeva. Varijacije geotermalnih gradijenata ovise i o količini topline koja dopijeva iz Zemljine jezgre kao i količini topline koja nastaje raspadom radioaktivnih izotopa u kori (Rider, 1999).

Temperatura mjerena u bušotini nakon bušenja pod velikim je utjecajem temperature same isplake. Isplaka je hladnija od formacije koja se buši te nakon ulaska filtrata isplake u formaciju dolazi do hlađenja pribušotinske zone. Da bi se po prestanku cirkulacije isplake izmjerila prava temperatura formacije potrebno je uspostaviti temperaturnu ravnotežu, odnosno filtrat isplake i isplaka trebaju se zagrijati do temperature formacije. Ovaj proces može potrajati i do nekoliko mjeseci (Rider, 1999). Toplinska difuzivnost, omjer toplinske vodljivosti i toplinskog kapaciteta po jedinici volumena, određuje koliko brzo se temperatura mijenja s vremenom i udaljenosti od

bušotine. Materijal s niskom toplinskom difuzivnošću zahtjeva više vremena za postizanje ravnoteže nakon promjene temperature za razliku od materijala s visokom difuzivnošću (Peters i Nelson, 2012). Uzimajući u obzir parametre poput različitih difuzivnosti, promjera bušotine, dubine bušotine te svojstva i temperatura isplake u trenutku prestanka cirkulacije, otežano je ispravno postići točno rješenje za uspostavljanje ravnoteže temperature bušotine s pravom temperaturom formacije. Stvarne temperature formacije utječu na mnoge aspekte geoenergetskih projekata te za njihovu procjenu primjenjujemo različite korekcije koje se mogu smatrati aproksimacijama, a ne stvarnim vrijednostima.

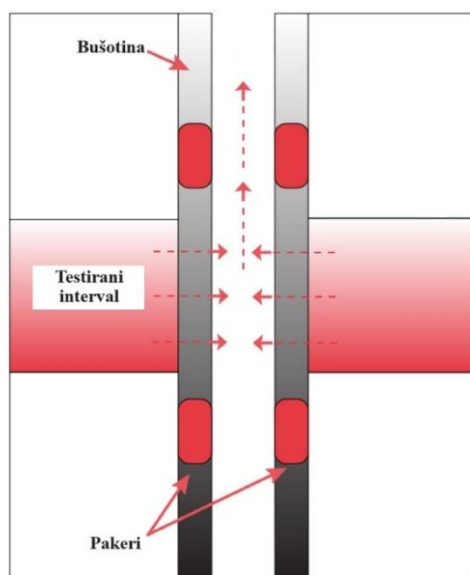
Kako bi odredili svojstva probušenih formacija potrebno je provesti određeni broj geofizičkih mjerenja u otvorenom kanalu bušotine (engl. „*open hole*“). Tijekom ili po završetku tih mjerenja provodi se i mjerenje temperature na dnu bušotine (BHT). Maksimalna temperatura bilježi se nekoliko puta blizu dna bušotine te se u obzir uzima vremenska razlika od trenutka zaustavljanja cirkulacije i trenutka mjerenja maksimalne temperature. Dno bušotine (KD) će najprije poprimiti vrijednosti stvarne temperature formacije zbog najkraće izloženosti cirkulaciji isplake (Peters i Nelson, 2012). Neobrađeni BHT podatci potom se korigiraju nekom od metoda za korekciju.

Temperaturne korekcije mogu se podijeliti na one koje se temelje na matematičkom modelu porasta temperature u bušotini te na empirijske korekcije. Najstarija metoda koja koristi matematički model porasta temperature na dnu bušotine je Hornerov dijagram koji se temelji na istoimenoj jednadžbi. Poremećaj temperature uzrokovan cirkulacijom isplake prikazan je kao linearni pad temperature u homogenoj sredini. Kako bi se korekcija primijenila potrebni su podatci iz dva ili više BHT-a, mjerenih u istoj bušotini, na istoj dubini ali u različitom vremenu od završetka cirkulacije isplake (Deming, 1989). Hornerova korekcija temelji se na konceptu linearne veze između BHT-a i logaritma $\Delta t / \Delta t + t$ gdje Δt predstavlja vrijeme koje je proteklo od prestanka cirkulacije isplake, odnosno vrijeme dostupno za postizanje ravnotežne temperature a t vrijeme u kojem se formacija hladi cirkulacijom isplake (Rider, 1999). Za postizanje pouzdane Hornerove korekcije potrebna su najmanje tri para vrijednosti vremena i temperature na svakoj dubini u bušotini. Naime, bez obzira na to što se korekcija može provesti s dva para, tri ili više parova podataka omogućuju provjeru linearnosti (Peters i Nelson, 2012).

U praksi postoje dva glavna nedostatka u primjeni Hornerova dijagrama. Ponekad se metoda ne može primijeniti zbog nedostatka informacije o trajanju cirkulacije isplake u zapisnicima o

radu dok ozbiljniji problem predstavlja nedostatak setova podataka o vremenu i temperaturi za većinu bušotina. Zbog čestog nedostatka podataka o vremenu trajanja cirkulacije koristi se standardno vrijeme za sve korekcije, jer promjena vremena cirkulacije ne utječe puno na vrijednosti temperature predviđene Hornerovim dijagramom. Također, često se odbacuju podatci mjereni u kratkim vremenima, jer su neprikladni za korekciju i uzrokuju netočne rezultate (Deming, 1989). Za procjenu pogreške podataka korigiranih Hornerovom metodom koristimo DST temperature i susjedne Hornerovim dijagramom korigirane BHT podatke. DST-ovi su rijetki ali pružaju pouzdane temperature, jer mjere temperaturu slojnog fluida koji dotječe u bušotinu (Peters i Nelson, 2012).

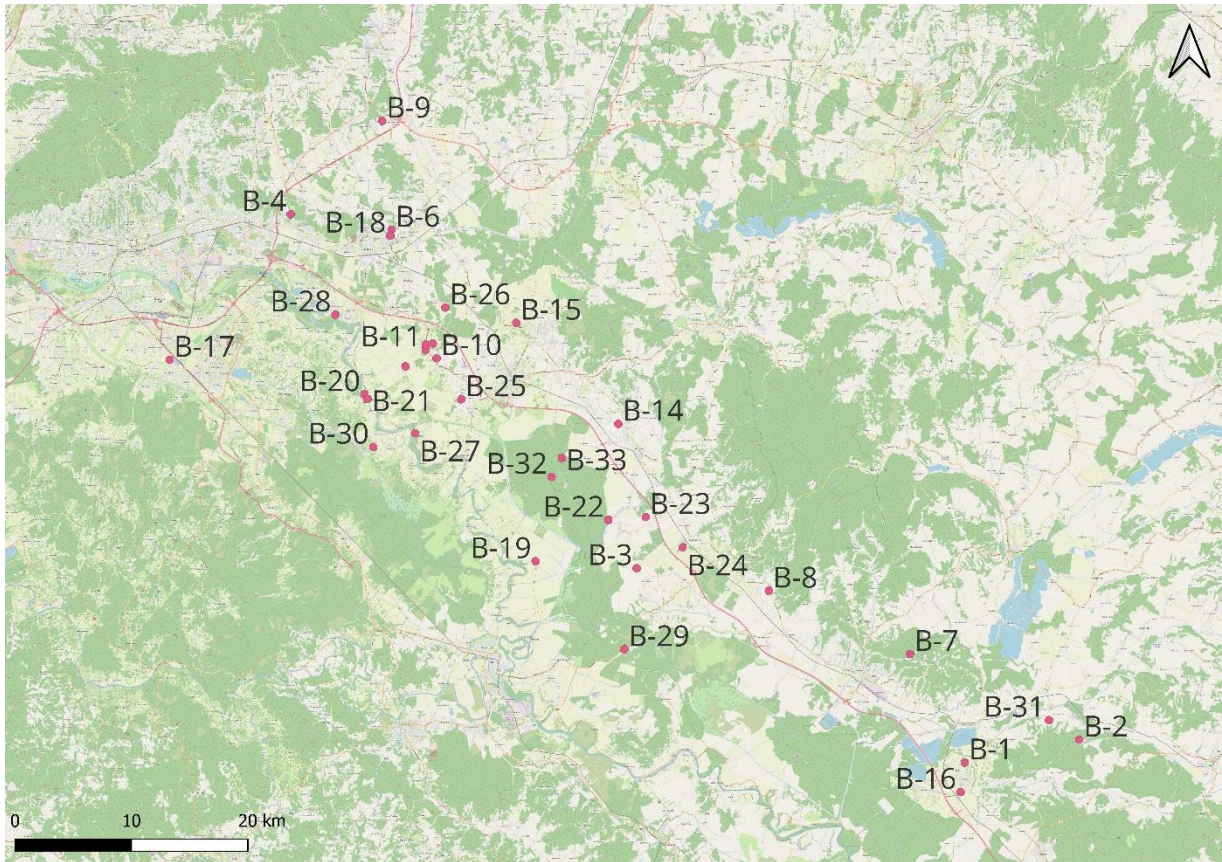
DST (Slika 3-1.) je ispitivanje koje se provodi u fazi izrade bušotine s pomoću posebnog alata. Tijekom ispitivanja testirani interval odvađa se pakerima od ostalog dijela kanala bušotine pri čemu je potrebno osigurati pravilni kontakt između bušotine i sloja kako bi se omogućilo da se tlak u sloju poveže s tlakom u bušačim šipkama. S pomoću pakera moguće je podesiti tlak unutar određenog raspona koji je potreban za održavanje odgovarajuće depresije (smanjenje tlaka) u sloju. Upravo zbog te razlike tlakova ležišni fluidi se pomiču prema bušotini a poremećaj tlaka uzrokovan razlikom tlakova brzo se širi kroz ispitivani interval ležišta. Za zaštitu alata od navedenih utjecaja koristi se stupac vode, isplake ili inertnog plina kojima se napune bušaće šipke. Tek kada je testirani interval potpuno izoliran može se uzeti uzorak ležišnog fluida. Osim uzimanja uzorka slojnog fluida, testiranjem se mjeri tlak testiranog intervala te temperatura formacije. Temperature mjerene tijekom DST-a smatraju se najpouzdanijim mjerenjima temperature formacije i daju približno točne rezultate sve dok fluid nije pod utjecajem toplinskih poremećaja oko bušotine (Damjanić, 2009).



Slika 3-1. Drill stem test (modificirano prema <https://northstardst.com/services/drill-stem-testing/>).

3.2 Geografski aspekti i karakteristike koncentracije bušotina u Savskoj depresiji

Područje istraživanja smješteno je u središnjem dijelu Republike Hrvatske. Najvećim dijelom zauzima istočni dio Zagrebačke Županije te sjeveroistočni dio Sisačko-moslavačke županije. Lokacije bušotina korištenih u ulaznim podacima prikazane su na slici 3-2.



Slika 3-2. Istraživano područje i lokacije korištenih bušotina (preuzeto sa OpenStreetMap-a; modificirano u programu QGIS).

Savska depresija, u kojoj se nalazi područje istraživanja, pruža se pravcem sjeverozapad-jugoistok. Cijeli se prostor Savske depresije ističe velikim visinskim razlikama terena, od nizine rijeke Save do brežuljkastog kraja Moslavine. Klima je umjereno topla vlažna bez izraženih sušnih i vlažnih razdoblja (Bognar, 1999). Kako se radi o starim bušotinama, izbušenima uglavnom između 60-tih i 80-tih godina prošlog stoljeća, njihov prostorni raspored je definiran kombinacijom povoljnih litoloških i tektonskih uvjeta koji su usmjerili naftno-geološka istraživanja upravo na prikazane lokacije. Iz tog razloga se uočava nejednolika gustoća bušotina na istraživanom području.

4. REZULTATI

Za korekciju mjerenja temperatura iz ukupno 33 bušotine korištena je metoda Hornerovog dijagrama. Za svaku bušotinu unesene su vrijednosti BHT-a i vremena od prestanka cirkulacije isplake koje su zabilježene u Zapisnicima o radu. Budući da podatak o stvarnom vremenu trajanja cirkulacije nije bio dostupan, korištena je standardizirana vrijednost od 3 sata (ova vrijednost je kao relevantna preuzeta iz disertacije Kolenković (2012)). Geotermalni gradijent izračunat je na temelju srednje godišnje temperature od 10,7 °C, procijenjene temperature dobivene iz Hornerovog dijagrama i dubine višestrukih mjerenja. Prosječni geotermalni gradijent na istraživanome području iznosi 4,258 °C/100 m. Konačne korigirane vrijednosti temperatura, zajedno s ostalim podacima, prikazane su u tablici 4-1.

Za izračun temperature na konačnoj dubini bušotine korištena je formula 4-1:

$$T(\text{formacije}) = T(\text{sred. godišnja}) + (Gg * (KD/100)) \quad (4-1)$$

Tablica 4-1. Bušotine i njima pripadajuće korigirane temperature procijenjene Hornerovom metodom.

Bušotine	KD (m)	Tmax (°C)	Dubina višestrukih mjerenja (m)	Tcorr HORNER (°C)	Geotermalni gradijent (°C/100m)	Tcorr HORNER (°C) na KD
B-1	4712	193	1885	83,61	3,867904509	193,0
B-2	2043	111	2043	97,83	4,264806657	97,8
B-3	5003	206	5003	208	3,94363382	208
B-4	2826	102	2821	106,44	3,393831974	106,6
B-5	3084	138	3084	126,49	3,754539559	126,5
B-6	2462,5	105,5	2462,5	123,06	4,56284264	123,1
B-7	2235	94	2236	106,72	4,294275492	106,7
B-8	3063	120	3063	126,17	3,769833497	126,2
B-9	2150	78	2150	94	3,874418605	94
B-10	3322	131	3322	150,91	4,220650211	150,9
B-11	3022	119	2522	124,29	4,503965107	146,8

B-12	2175	85	2175	108,11	4,47862069	108,1
B-13	4114	177	3831	149,9	4,808144088	208,5
B-14	1077	52	876,5	49,81	4,462065031	58,8
B-15	1656	62	1382	78,33	4,893632417	91,7
B-16	3194	142	3194	141,3	4,088916719	141,3
B-17	1936	93	1936	88,89	4,038739669	88,9
B-18	2100	118	1659	86,1	4,54490657	106,1
B-19	2500	127	2500	129,5	4,752	129,5
B-20	2900	122	1754	86,56	4,324971494	136,1
B-21	2800	118	2800	123,8	4,039285714	123,8
B-22	3415	131	3415	151,18	4,113616398	151,2
B-23	2836	115	2621	104,51	3,579168256	112,2
B-24	3257	130	3087,4	141,1	4,223618579	148,3
B-25	2870	126	2870	156,06	5,064808362	156,1
B-26	2255	98	2255	69,9	2,625277162	69,9
B-27	2927	134	2926	128,88	4,038961039	128,9
B-28	3300	114	3138	133,95	3,927660931	140,3
B-29	1578	77	1578	90,2	5,038022814	90,2
B-30	3159	108,3	2002	139,7	6,443556444	214,3
B-31	3036	115	3034	131,6	3,984838497	131,7
B-32	3720	148,9	2499	119,64	4,359343737	172,9
B-33	3749	153	2090	99,22	4,235406699	169,5

4.1 Pregled vrijednosti temperature prikupljenih iz DST testiranja

Za 21 od ukupno 33 bušotine bila su dostupna i mjerenja temperature iz DST testiranja, kako je prikazano u tablici 4-2. Na temelju tih podataka izračunati su geotermalni gradijenti, a koristeći konačne dubine bušotina (KD), određene su temperature na konačnim dubinama prema DST mjerenjima.

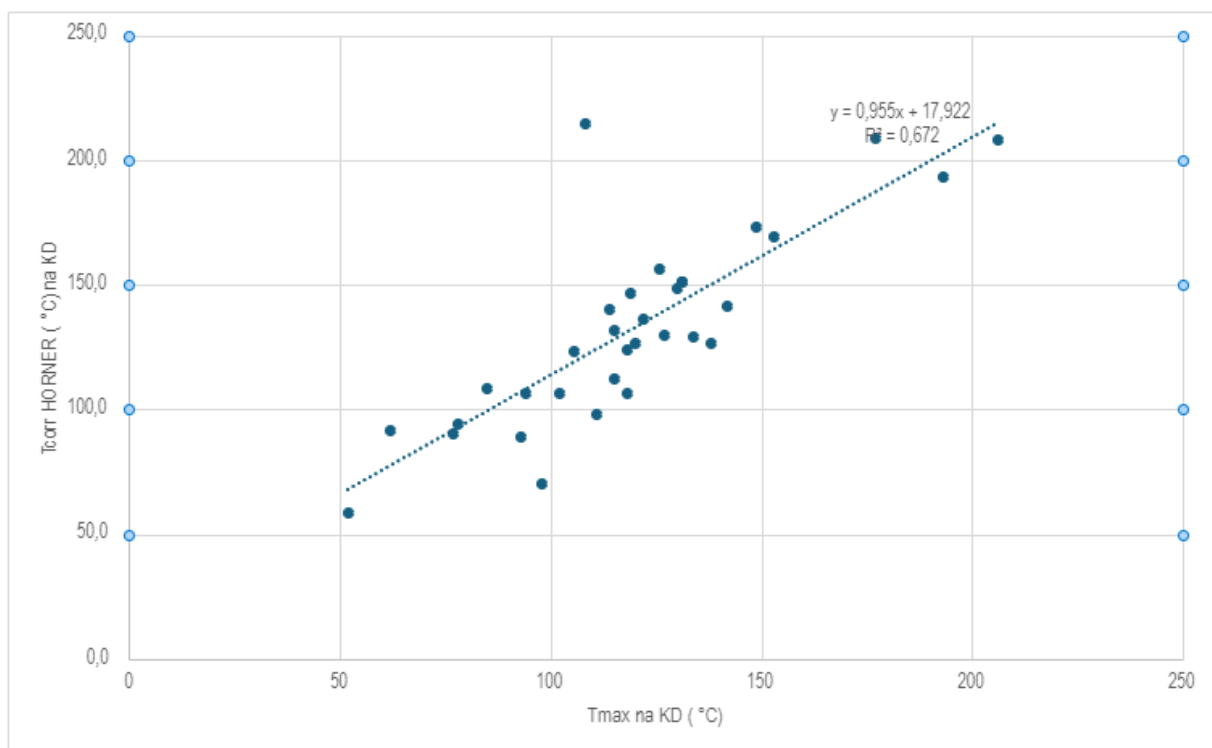
Tablica 4-2. Bušotine i njima pripadajući DST podatci.

Bušotine	Dubina DST (m)	T DST (°C)	Geotermalni gradijent iz DST (°C/100m)	KD (m)	T DST (°C) na KD
B-2	1990	110	4,989949749	2043	112,6447
B-3	3268,74	176	5,056994438	5003	263,7014
B-4	1779,8	95	4,736487246	2826	144,5531
B-5	1683	85	4,414735591	3084	146,8504
B-6	2127	120	5,138692995	2462,5	137,2403
B-7	882	46	4,002267574	2235	100,1507
B-8	1887	101	4,785373609	3063	157,276
B-9	1221	65	4,447174447	2150	106,3143
B-11	2668	135	4,65892054	3022	151,4926
B-13	2660	140	4,860902256	4114	210,6775
B-16	2367,8	143,33	5,601402145	3194	189,6088
B-17	1758	93	4,6814562	1936	101,333
B-18	1426,6	91	5,628767699	2100	128,9014
B-19	2497,8	137,7	5,084474337	2500	137,8119
B-21	2589	122,2	4,306682117	2800	131,2871
B-25	2367,8	143,33	5,601402145	2870	171,4602
B-26	1656,8	110	5,99348141	2255	145,853
B-27	2884	138	4,414008322	2927	139,898
B-28	2582	134	4,775367932	3300	168,2871
B-30	1592	97	5,420854271	3159	181,9448
B-31	1545	67	3,644012945	3036	121,3322

5. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

U većini zapisnika o radu nedostaje dovoljno pojedinačnih mjerenja temperatura na dnu bušotine na različitim vremenskim razmacima od prestanka cirkulacije isplake, a vrijeme proteklo od prestanka cirkulacije isplake često nije dovoljno dugo. Najviša izmjerena temperatura iznosi 206 °C na dubini od 5003 m za bušotinu B-3 dok je najniža temperatura od 52 °C na dubini od 1077 m za bušotinu B-14. Iz tablice 4-1. uočava se da vrijednosti geotermalnih gradijenata izračunatih temeljem podataka iz korigiranih BHT vrijednosti variraju u širokom rasponu od 2,625 °C/100 m koliko je izračunato za bušotinu B-26, do 6,444 °C/100 m koliko je zabilježeno za bušotinu B-30.

Na slici 5-1. prikazan je dijagram odnosa između temperatura iz BHT mjerenja i temperatura dobivenih Hornerovom korekcijom za odabrane bušotine. Odnos se može opisati pravcem s jednačbom $Y=0,955X + 17,922$, što znači da korigirane vrijednosti uglavnom značajno premašuju vrijednosti maksimalne temperature (Tmax) zabilježene u geološkim izvješćima bušotina, pri čemu se najveće odstupanje primjećuje za bušotinu B-30, gdje je izmjerena vrijednost Tmax iznosila 108,33 °C a korigirana vrijednost iznosi 214,3 °C.



Slika 5-1. Dijagram usporedbe BHT-a i temperature korigirane Hornerovom metodom.

Ovako veliko odstupanje može biti i posljedica pogreške u mjerenju ili zapisu vrijednosti u geološkom izvješću. Uočava se i da opisana korelacija ima razmjerno visok koeficijent determinacije od 0,672 i u slučaju da ne postoji mjerenje DST-a na određenoj bušotini, vrijednost temperature na konačnoj dubini moguće je procijeniti korištenjem prikazane jednadžbe.

Također je uočeno da u nekim bušotinama temperatura Tmax na konačnoj dubini ima veću vrijednost od korigirane temperature, odnosno u nekim slučajevima su kao Tmax vrijednosti zabilježene vrijednosti BHT temperature, a u drugim vrijednostima temperature iz drugih izvora, s time da izvor podataka nikad nije naveden. U primjeru bušotine B-26, zabilježena Tmax temperatura iznosi 98 °C, dok je korigirana temperatura 69,9 °C. Vrijednosti Tmax su više od vrijednosti korigiranih Hornerovim dijagramom i za bušotine B-2, B-5, B-16, B-17, B-18, B-23, B-26 i B-27. Iako Hornerova metoda nastoji pružiti točnije procjene temperature formacije, na preciznost ove korekcije direktno utječu ulazni podatci, kao što su nepravilno zabilježeno vrijeme od prestanka cirkulacije isplake. Različite greške u primjeni metode ili netočno zapisivanje podataka faktori su na koje je potrebno obratiti pozornost u cilju postizanja pouzdanih rezultata. Za provjeru točnosti, podatci se uspoređuju s temperaturama očitanih iz DST mjerenja, koja se smatraju najpreciznijim procjenama temperature formacije.

DST mjerenja su u pravilu rijetka, a vrijednosti temperature dobivene ovim testiranjem su prikazane u tablici 4-2. Najčešći uzrok netočnih rezultata pojavljuje se pri prodoru isplake kroz zonu pakera u testirani interval. Za većinu izvještaja dostupan je veći broj DST mjerenja, pa se uzima vrijednost za koju se procjenjuje da je najpouzdanija. U slučaju bušotine B-30 gdje je uočeno značajno odstupanje korigirane vrijednosti temperature u odnosu na Tmax temperaturu, temperatura iz DST-a je za 32,3 °C niža od temperature korigirane Hornerovim dijagramom, što dodatno ukazuje na precijenjenu vrijednost korigirane temperature, odnosno na pogrešku u mjerenju ili zapisu temperatura za ovu bušotinu. DST temperature trebale bi biti približne ili više od BHT temperatura i temperatura korigiranih Hornerovom metodom. U slučaju nižih temperatura iz DST-a, potrebno je dodatno provjeriti DST podatke i razmotriti mogućnost pogreške da je testirani interval bio pod utjecajem isplake što bi moglo dovesti do podcijenjenih temperaturnih vrijednosti.

Može se zaključiti da je u svakom izvještavanju o temperaturama u podzemlju važno uz samu vrijednost temperature navesti i kojim je mjerenjem dobivena te je li naknadno korigirana.

BHT podatci korigirani Hornerovom metodom predstavljaju pouzdane procjene kada izostaju vrijednosti temperature iz DST-a. Samo usporedbom temperatura dobivenih iz dva različita tipa mjerenja mogu se dobiti realističnije procjene temperature. Kako je u radu navedeno, BHT temperature i temperature iz DST-a mogu biti podcijenjene, no nisu utvrđene okolnosti pod kojima bi mogle biti precijenjene, tako da se u načelu viša vrijednost može smatrati pouzdanijom.

6. LITERATURA

BOGNAR, A. 1999. Geomorfološka regionalizacija Hrvatske. *Acta geographica Croatica*, vol. 34. no. 1, str. 7-26.

DAMJANIĆ, D. 2009. 'Potvrda važnosti DST-a na primjeru ispitivanja istražene bušotine/Exploration well test case history confirms importance of DST'. *Rudarsko - Geološko - Naftni Zbornik*, vol. 21, no. 1, str. 47-63.

DEMING, D. 1989. Application of Bottom-Hole Temperature Corrections in Geothermal Studies. *Geothermics*, vol. 18, no. 5-6, str. 775-786. [https://doi.org/10.1016/0375-6505\(89\)90106-5](https://doi.org/10.1016/0375-6505(89)90106-5)

KOLENKOVIĆ, I. 2012. Mogućnosti za geološko skladištenje ugljičnoga dioksida u gornjomiocenskim pješčenjacima zapadnoga dijela Savske depresije. Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 130 str..

KONEČNÝ, V., KOVAC, M., LEXA, J., ŠEFARA, J. 2002. Neogene evolution of the Carpatho-Pannonian region: An interplay of subduction and back-arc diapiric uprising in the mantle. *EGU Stephan Mueller Special-Publication-Series-1*, str. 165-194.

MALVIĆ, T., SAFTIĆ, B. 2008. Dubinsko kartiranje (vježbe): Fakultetska skripta. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 46 str.

PAVELIĆ, D. 2001. Tectonostratigraphic model for the North Croatian and North Bosnian sector of the Miocene Pannonian Basin System. *Basin Research*, vol 13, no 3, str. 359–376.

PETERS, K., NELSON, P. 2012. Criteria to Determine Borehole Formation Temperatures for Calibration of Basin and Petroleum System Models, u: Harris, B. M., Peters, K. E. (ur.). *Analyzing the Thermal History of Sedimentary Basins: Methods and Case Studies*, SEPM Special Publications, str. 5-15.

PRELOGOVIĆ, E., SAFTIĆ, B., KUK, V., VELIĆ, J., DRAGAŠ, M., LUCIĆ, D. 1998. Tectonic activity in the Croatian part of the Pannonian basin. *Tectonophysics*, vol. 297, no. 1, str. 283-293.

RIDER, M. 1999. *The Geological Interpretation of Well Logs* (2nd edition). Škotska: Rider-French Consulting Ltd, 280 str.

VELIĆ, J., MALVIĆ, T., CVETKOVIĆ, M., VRBANAC, B. 2012. 'Reservoir Geology, Hydrocarbon Reserves and Production in the Croatian part of the Pannonian Basin System'. *Geologia Croatica*, vol. 65, no. 1, str. 91-101. <https://doi.org/10.4154/GC.2012.07>