

Saliniteti slojne vode u dubokim propusnim slojevima na području istočnog dijela Dravske depresije

Pavlin, Ida

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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:169:245301>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-17**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Preddiplomski studij geološkog inženjerstva

**SALINITETI SLOJNE VODE U DUBOKIM PROPUSNIM
SLOJEVIMA NA PODRUČJU ISTOČNOG DIJELA DRAVSKE
DEPRESIJE**

Završni rad

Ida Pavlin

GI-2122

Zagreb 2020.

Sveučilište u Zagrebu

Završni rad

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

SALINITETI SLOJNE VODE U DUBOKIM PROPUSNIM SLOJEVIMA NA
PODRUČJU ISTOČNOG DIJELA DRAVSKE DEPRESIJE

IDA PAVLIN

Završni rad izrađen

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

Sažetak

Istočni dio Dravske depresije predstavlja ispunu neogensko-kvartarne starosti koja se geografski nalazi na sjeveroistoku Republike Hrvatske kao manja jedinica unutar Panonskog bazena. Na tome području je provedena analiza sastava slojnih voda u 10 bušotina čiji su rezultati ukazivali na neobično niske vrijednosti saliniteta slojnih voda. Obrađeni podatci preuzeti su iz fonda dokumentacije Agencije za ugljikovodike, a izvor podataka su većinom mjerenja proizvodnih svojstava propusnih slojeva. Na temelju provedene analize utvrđeno je da varijabilnost saliniteta ovisi o propusnosti, poroznosti sedimenata te dubini uzorkovanja. Utvrđene su i vrlo niske vrijednosti saliniteta karakterizirane koncentracijom otopljenih soli nižom od 1 g/l otopljene mineralne tvari. Sve vrijednosti saliniteta zabilježene su u propusnim slojevima, unutar pješčenjaka, konglomerata i breča, zatvorenih vodonosnika s nepropusnim naslagama gline i/ili lapora u krovini i podini. U takvim je vodonosnicima također utvrđena visoka iznadprosječna temperatura slojne vode stoga one predstavljaju zanimljiv objekt istraživanja s aspekta pridobivanja geotermalne energije te eventualno u vodoopskrbi.

Ključne riječi: *Dravska depresija, saliniteti slojnih voda, vodonosnici, geotermalni gradijent, geotermalni izvori*

Završni rad sadrži: 26 stranica, 10 slika, 4 tablice i 21 referencu.

Jezik izvornika: hrvatski

Završni rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Voditelj: Doc. dr. sc. Marko Cvetković

Ocjenjivači: Doc. dr. sc. Marko Cvetković

Doc. dr. sc. Iva Kolenković Močilac

Doc. dr. sc. Zoran Kovač

Datum obrane: 22. rujan 2020.

Zahvala

Zahvaljujem Agenciji za ugljikovodike na ustupljenim podacima u svrhu izrade Završnoga rada te svojem mentoru doc. dr. sc. Marku Cvetkoviću na stručnim savjetima i podršci na izradi rada.

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. GEOGRAFSKE ZNAČAJKE	2
3. GEOLOŠKI UTJECAJI NA SALINITETE SLOJNE VODE	5
3.1. Geokemijski faktori i tipova okoliša koji određuju salinitet vode	5
3.1.1. Utjecaj pornog tlaka na salinitet slojnih voda	7
3.1.2. Poroznost i propusnost	8
3.1.3. Geotermalni gradijent	10
3.2. Metode određivanja i uzorkovanja saliniteta vode	11
3.2.1. Kemijska analiza.....	11
3.2.2. Drill-Stem-Test (DST analiza)	12
3.2.3. Karotaža spontanog potencijala (SP-karotaža).....	13
3.3. Saliniteti slojne vode - primjeri iz svijeta.....	16
4. REZULTATI ANALIZA	18
5. ZAKLJUČAK.....	24
6. LITERATURA	25
6.1. Objavljeni radovi	25
6.2. Neobjavljeni izvori	26
6.3. Web izvor	26

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Depresije i uleknine u hrvatskom dijelu Panonskog bazena.....	3
Slika 2-2. Stratigrafske jedinice, litološki sastav i položaj važnijih ležišta u Slavonsko-srijemskoj depresiji; često se koristi i za najistočniji dio Dravske depresije	4
Slika 3-1. Sadržaj ukupno otopljene krute tvari (TDS) s obzirom na dubinu, pokazujući tri zone Yinggehaiskog bazena	8
Slika 3-2. DRILL STEM TEST.....	13
Slika 3-3. Izgled krivulje spontanoga potencijala s pripadajućim osnovnim linijama te probušena litologija	14
Slika 3-4. Dijagram dubine i saliniteta (TDS) vode vodonosnika Jurassic Hutton Sandstone.....	16
Slika 3-5. Dvostruka analiza laboratorija A i B - odnos dubine i ukupno otopljenih krutih tvari (TDS) bazena engl. Tubular Bells , izmjerene MDT uređajem. Pijesak 9 nije imao dovoljno vode za ionsku analizu	17
Slika 4-1. Istraživačke bušotine istočnog dijela Dravske depresije.....	18
Slika 4-2. Dijagram ovisnosti saliniteta o dubini	20
Slika 4-3. Dijagram ovisnosti temperature o dubini.....	22

POPIS TABLICA

Tablica 3. Kemijski sastav nekih površinskih i podzemnih voda [g/l].....	6
Tablica 4-1. Bušotine i njima pripadajući saliniteti (* – neuspjeli DST testovi)	19
Tablica 4-2. Bušotine i njima pripadajuće temperature.....	22
Tablica 4-3. Bušotine i njima pripadajući geotermalni gradijenti	23

1. UVOD

Ovim radom nastoje se razjasniti neobično niski saliniteti slojnih voda propusnih slojeva u dubokom podzemlju istočnog dijela Dravske depresije. U obzir su uzeti razni geološki faktori poput tlakova, poroznosti i propusnosti, prisutnih iona do temperatura i geotermalnih gradijenata. Razmatranjem zabilježenih niskih vrijednosti saliniteta i svih navedenih čimbenika koji utječu na salinitet nastoji se prikazati potencijalna uporaba analiziranih voda.

Dravska depresija predstavlja uleknuće s ispunom neogensko-kvartarne starosti u Panonskome bazenu na sjeveroistoku Republike Hrvatske nastalo kao posljedica geotektonskih i geokemijskih procesa. Njezine litološke jedinice poput propusnih konglomerata, breča i karbonata te nepropusnih glina i lapora važne su jer svojim fizičkim svojstvima propusnosti i poroznosti utječu na salinitet voda i ukazuju na bitne podzemne pojave poput regionalnih vodonosnika. Na istraživanome području su također zabilježene povišene vrijednosti temperature voda i geotermalnog gradijenta od $4,21^{\circ}\text{C}$ te predstavljaju potencijalna mjesta za formiranje geotermalnih ležišta.

U radu su navedeni i izloženi primjeri saliniteta drugih područja u svijetu kako bi se naglasila varijabilnost saliniteta u podzemlju. Istraživanja su se temeljila na rezultatima dobivenima iz 10 bušotina gdje su se saliniteti voda utvrdili kemijskom analizom iz dominantno DST mjerenja (engl. *Drill Stem Test*) pri čemu uzorkovanje nije uvijek bilo u potpunosti uspješno provedeno.

2. GEOGRAFSKE ZNAČAJKE

Geološki pojam „depresija“ označava regionalno spuštenu dio, uleknucé koje se uslijed tektonskih, erozijskih ili bilo kojih drugih geoloških procesa našlo ispod razine okolnog terena. Alpskom orogenezom, tijekom neogena (točnije miocena) i kvartara, u zaleđu Dinaridskog i Alpsko-karpatkog orogena, nastao je Panonski bazen koji je dio pretežito nizinskog područja.

Njegov jugozapadni dio pripada Hrvatskoj, a približno je omeđen rijekama Kupom, Savom na jugu i Dravom na sjeveru. S obzirom na sastav i građu te geotektonski položaj u hrvatskom dijelu Panonskog bazenskog sustava od sjeverozapada prema sjeveroistoku, razlikujemo četiri velike regionalne, geotektonske jedinice. To su Murska, Savska, Dravska te Slavonsko-srijemska depresija (Velić, 2007).

Dravska depresija koja se nalazi u sjeveroistočnom dijelu Republike Hrvatske, zauzima najveću površinu hrvatskog teritorija Panonskog bazena. Prema Malviću i Cvetkoviću (2013), ukupno pokriva područje površine oko 12 000 kvadratnih kilometara od kojih otprilike 9 100 km² pripada Hrvatskoj. Na sjeveru je omeđena državnom granicom s Mađarskom, na istoku sa Srbijom, a na jugu nizom Medvednica - Moslovačka gora - Papuk-Krndija - Đakovačko-vukovarski ravnjak (Velić, 2007). Područje Dravske depresije podijeljeno je na zapadni i istočni dio gdje je provedena analiza sastava slojnih voda, konkretno na području Virovitičko-podravske županije (slika 2-1.).



Slika 2-1. Depresije i uleknine u hrvatskom dijelu Panonskog bazena (Kranjec et al., 1981, modificirano prema Velić, 2007)

Malvić i Cvetković (2013) definiraju Dravsku depresiju kao volumen stijena i naslaga neogenske i kvartarne starosti. Zbog toga što je debljina neogensko-kvartarnih naslaga između Virovitice i Slatine nešto veća od 7000 m, ova depresija se smatra najdubljom u Republici Hrvatskoj (Velić, 2007).

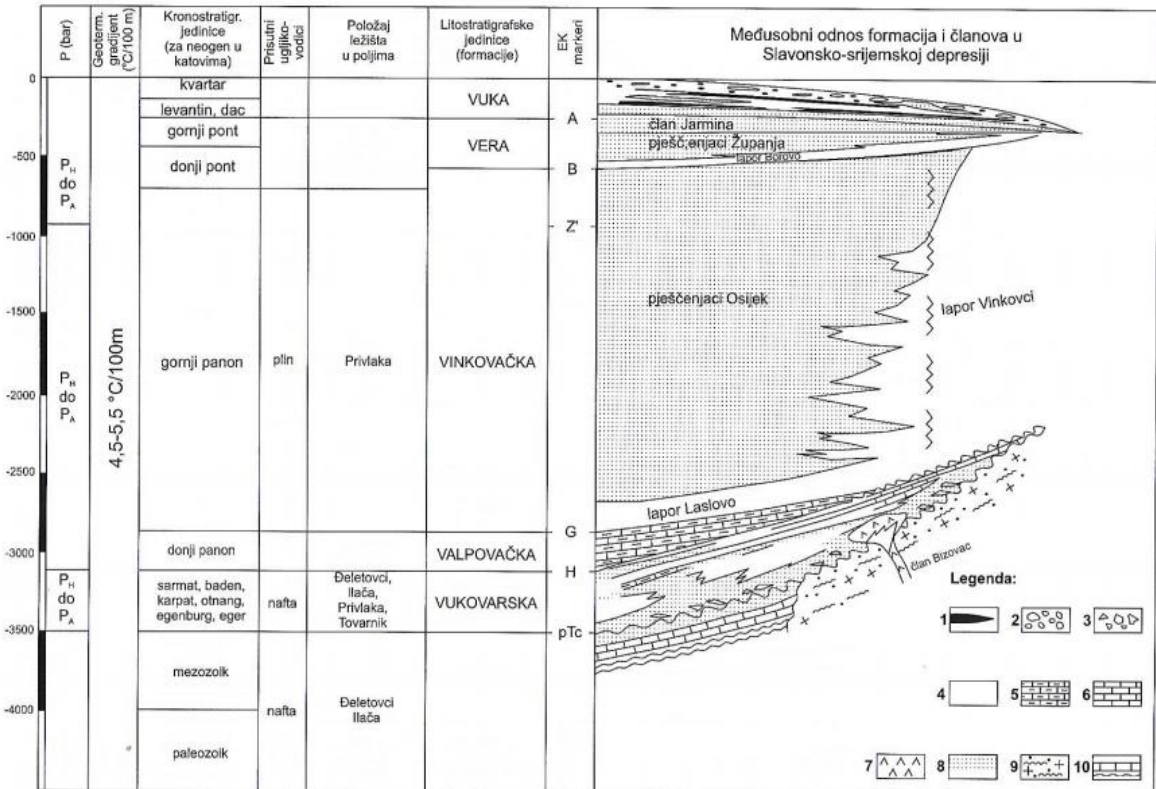
Središnji dio bazena izgrađuju srednjomiocenski do holocenski klastični i biogeni sedimenti i naslage, uz mjestimičnu pojavu efuzivnih stijena srednjomiocenske starosti kao i fluvijalni te jezerski sedimenti donjeg miocena.

Podinu Dravske depresije, čije stijene u hrvatskom dijelu nisu stratigrafski raščlanjene, čine pretežno karbonati (vapnenci i dolomiti), metamorfiti (amfiboliti, škrljavci i gnajsevi) i magmatiti (graniti i gabri) mezozojske i paleozojske starosti. Upravo se ta podloga Dravske depresije, s često kataklaziranim i hidrotermalno izmijenjenim magmatskim i metamorfnim stijenama, još i naziva „temeljnim gorjem“ (Malvić i Cvetković, 2013).

Razlikuje se pet formacija koje definiraju istočni dio Dravske depresije (slika 2-2.):

- formacija Vukovar s krupnoklastičnim sedimentima (brečama i konglomeratima) u svom baznom dijelu te pješčenjacima i vapnencima u vršnom dijelu;
- formacija Valpovo s glinovitim vapnencima;
- formacija Vinkovci s pelitima, tj. laporima u baznom dijelu i ponešto pješčenjaka u pješčenjacima Poljana;

- formacija Vera koja se raščlanjuje na lapor Borovo u baznom dijelu te pješčenjake Županja i član Jarmina u gornjem dijelu;
- formacija Vuka s glinama, siltovima i pijescima u baznom dijelu te pijescima i šljuncima u gornjem dijelu.



Slika 2-2. Stratigradske jedinice, litoški sastav i položaj važnijih ležišta u Slavonko-srijemskoj depresiji; često se koristi i za najistočniji dio Dravske depresije (modificirano prema Velić, 2007)

3. GEOLOŠKI UTJECAJI NA SALINITETE SLOJNE VODE

Pri određivanju saliniteta slojne vode različitim metodama potrebno je razmatrati geološke čimbenike koji utječu na sam salinitet. Neki od njih su petrofizikalna svojstva stijena, odnosno propusnost i poroznost sedimenata, zatim njihov mineralni sastav, dubina zalijeganja (tlakovi), temperaturni gradijent, mogućnost infiltracije površinskih voda i slično (Xie et al., 2003, Velić, 2007).

3.1. Geokemijski faktori i tipova okoliša koji određuju salinitet vode

Prema porijeklu podzemnih voda, razlikuju se meteorska voda, koja se u podzemlju nakuplja procjeđivanjem s površine kroz propusne stijene - općenito govoreći to su površinske i podzemne vode koje su sastavni dio hidrološkog ciklusa. Nadalje, voda koja se zadržava u stijeni iz vremena nastanka, ispunjavajući malene prostore između mineralnih zrna, naziva se konatnom, intersticijskom vodom. Te vode su fosilni ležišni fluidi u zatvorenim hidrauličnim sustavima, odnosno nisu bile u dodiru s površinskim vodama od vremena taloženja stijena što znači da su singenetskog postanka. Osim ovih voda, u podzemlju se može nakupiti voda nastala kondenzacijom vodene pare oslobođanjem magme iz unutrašnjosti Zemlje – juvenilna voda (Bačani, 2006; Velić, 2007).

Budući da voda nije statički medij, pod djelovanjem gravitacije i zbog razlike potencijala u podzemlju, cirkulira kroz podzemlje prolazeći kroz različite slojeve. Protjecanjem voda utječe na stijensko tijelo pri čemu ga kemijski otapa i na taj način slobodni otopljeni ioni obogaćuju mineralni sastav vode.

Količina otopljenih mineralnih tvari određuje salinitet površinskih i podzemnih voda, a izražava se u miligramima po litri [mg/l] ili gramima po litri [g/l] ukupno otopljenih tvari. Razlikuju se slatke vode koje sadrže manje od 1 g/l, zatim brakične s rasponom od 1-10 g/l, slane s vrijednošću od 10-100g/l, a sve iznad 100 g/l ubrajamo u hiperslane vode. Morski salinitet je u prosjeku oko 36 g/l, a sastav mu ne podliježe velikim varijacijama. Obično koncentracija mineralnih otopina raste s dubinom (Velić, 2007).

Govoreći o otopljenim mineralnim tvarima, najčešći kationi u vodama su natrij, kalij, magnezij, kalcij, a anioni su kloridi, sulfati i bikarbonatni ion. Promatrajući Huntovu tablicu (3.), može se uočiti porast udjela iona poput natrija, magnezija i kalcija te klorida od riječnih preko morskih do ležišnih voda povećanjem dubine.

Tablica 3. *Kemijski sastav nekih površinskih i podzemnih voda [g/l] (HUNT, 1995) (modificirano prema Velić, 2007)*

	riječna voda	morska voda	intersticijska voda iz karbonatnih muljeva (Filipini)	intersticijska voda iz karbonatnih muljeva (Filipini)	ležišna voda iz gornjokarbonskih pješčenjaka (Teksas)	ležišna voda iz gornjokarbonskih pješčenjaka (Teksas)
dubina iona			9,5 m	335 m	1 570 m	1 814 m
kationi						
Na ⁺	0,006	10,8	10,5	7,8	53,9	57,0
K ⁺	0,002	0,4	0,4	0,3	nije analiziran	nije analiziran
Mg ²⁺	0,004	1,3	1,3	0,4	2,1	2,2
Ca ²⁺	0,015	0,4	0,4	2,7	15,0	18,0
anioni						
Cl ⁻	0,008	19,4	19,6	23,4	115,9	126,0
SO ₄ ⁻²	0,11	2,7	2,8	2,8	0,1	0,07
HCO ₃ ⁻	0,59	1,4	0,1	0,05	0,05	0,06
ukupno	0,105	36,4	35,1	37,4	187	203

U većini se bazenskih sustava povišenje saliniteta površinskih voda s dubinom uočava linearnim porastom koncentracije natrija i klora s dubinom dok ostali ioni, poput magnezija, bikarbonata i sulfata ne ukazuju na takav trend. Tako, na primjer, povišenje saliniteta s dubinom može biti povezano s otapanjem solnih dijapira ili primjerice izvorno nataloženih evaporita u bazenu (Velić, 2007).

Ovisno o odnosu Na/Cl izraženog u % ekvivalenata izdvojenih iona u 100g vode, prema Velić (2007), razlikuju se četiri osnovna okoliša nastajanja vode:

- kontinentalni (terestrički) okoliš s pretežito sulfatnim odnosno sulfatno-natrijskim vodama;
- kontinentalni okoliš s bikarbonatnim-natrijskim vodama;
- morski okoliši s kloridno-magnezijskim vodama;
- duboki podpovršinski okoliši unutar Zemljine kore pogodni za nastanak kloridno-kalcijskih voda.

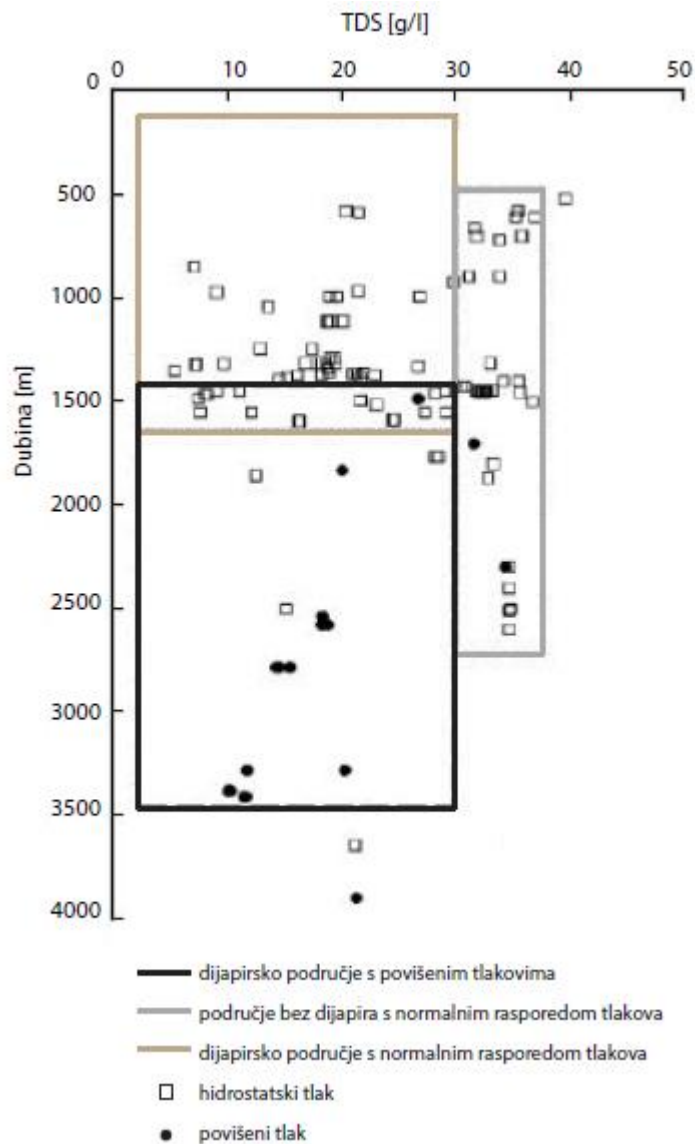
Prva dva navedena okoliša imaju odlike meteorskih i/ili arteških voda, a nastaju u slučaju ako je odnos $\text{Na/Cl} > 1$, te se prevladavajući natrij nad klorom kombinira ili sa sulfatom ili bikarbonatom. Treći ima odlike marinskog okoliša i evaporitnih (solnih) sekvencija, četvrti dubokih, stagnirajućih (ustajalih) uvjeta, a nastaju ako je odnos $\text{Na/Cl} < 1$.

3.1.1. Utjecaj pornog tlaka na salinitet slojnih voda

Na salinitet mogu utjecati i porni tlakovi koji se javljaju u ležištu tako da tvrdnja kako povišenje saliniteta s dubinom raste u tom slučaju nije točna.

Prema istraživanjima provedenim u Shiwu depresiji, Yinggehaiskog bazena u Kini, zamijećene su značajne vertikalne promjene saliniteta s povećanjem dubine (Xie et al., 2003). Bazen je podijeljen u tri regije: područje sa i bez dijapira s normalnim rasporedom tlakova u podzemlju te dijapirsko područje s povišenim tlakovima (slika 3-1.). Salinitet slojne vode u području bez dijapira s normalnim rasporedom tlakova iznosio je između 30 000-38 000 mg/l, što je gotovo jednako salinitetu morske vode od 36 000 mg/l, dok je u dijapirskom području s povišenim tlakovima iznosio od 9 983 mg/l do 31 619 mg/l. Uzorci vode iz zona povišenih tlakova su imali povišene koncentracije HCO_3^- i CO_3^- iona. Najveće varijacije u salinitetu su bile u dijapirskom području s normalnim tlakovima mijenjajući se od 5 336 mg/l do 35 939 mg/l. Iznosi saliniteta i koncentracije HCO_3^- i CO_3^- iona ovise o udaljenosti od vertikalnih rasjeda koji su povezani sa nadpritisnutim zonama. Manja udaljenost od rasjeda obično ukazuje na niži salinitet, a višu koncentraciju HCO_3^- i CO_3^- iona u slojnoj vodi. Istraživanja iz Meksičkog zaljeva također su potvrdila da je salinitet u sedimentima pod većim pritiskom niži nego u sedimentima s hidrostatskim pornim tlakom (Xie et al., 2003).

Ta porna voda nižeg saliniteta može biti i posljedica miješanja slatke vode ispuštene tijekom pretvorbe smektita u ilit. Što je manja količina smektita u omjeru ilit/smektit, to je manje mineraliziranija porna voda u sedimentima pod većim pritiskom (Xie et al., 2003). Naime, Burstovo istraživanje iz 1969. godine prvo je opisalo pretvorbu ekspanzirajućih minerala glina u neekspanzirajuće forme na temperaturama većim od 93°C (Burst, 1969). Takva pretvorba minerala glina je dovela do otpuštanja slojne vode, niske ionske koncentracije iz međuslojeva pri čemu je došlo do razrjeđivanja koncentracije otopljenih soli unutar porne vode u šejlovima (Morton et al., 1981).



Slika 3-1. Sadržaj ukupno otopljene krute tvari (TDS) s obzirom na dubinu, pokazujući tri zone Yinggehaiskog bazena (modificirano prema Xie et al., 2003)

3.1.2. Poroznost i propusnost

Poroznost stijene bitan je čimbenik za proizvodnju fluida iz podzemlja. Često je usko vezan uz propusnost stijene, no ne nužno. Izražava se kao odnos volumena šupljina i ukupnog volumena stijena. Važno je napomenuti da je svaka propusna stijena porozna, ali svaka porozna stijena nije propusna.

Porozni medij koji sadrži, transmitira i otpušta podzemnu vodu naziva se vodonosnik. Postoje tri vrste vodonosnika (Bačani, 2006):

- otvoreni vodosni sloj koji je samo djelomično ispunjen vodom i leži na nepropusnoj podlozi;
- poluzatvoreni vodosni sloj koji je potpuno saturiran, kod kojega se u krovini (i podini) nalaze slabopropusne naslage čija je hidraulička vodljivost veća od nule, ali puno manja od hidrauličke vodljivosti vodosnoga sloja
- zatvoreni vodosni sloj koji je potpuno saturiran čiju gornju i donju granicu čine nepropusne naslage, tj. omeđen je slojevima koji ne propuštaju fluid (hidraulička vodljivost je jednaka nuli).

Stupanj mineralizacije vode ovisi ujedno i o tipu vodosnika, odnosno o propusnostima naslaga koje ih sačinjavaju. Voda zarobljena u propusnim i poroznim stijenama između slojeva nepropusnih stijena (zatvorenog vodosnika) može tvoriti geotermalno ležište (Vorkapić, 2010).

Najmanju hidrauličku vodljivost imaju stijene koji imaju visoki sadržaj gline i kristalinske stijene koje nisu razlomljene, jer u osnovi nemaju primarnu poroznost. Najveću obično imaju karbonatne stijene sa sekundarnom poroznosti ili slabo konsolidirani i dobro sortirani klastiti.

Općenito, sitnozrnaste, nepropusne stijene, poput glina i lapora, zasićene su konatnom ili singenetskom slojnom vodom koja je visokomineralizirana (10-50 g/l otopljenih mineralnih tvari). Srednjezrnasti i krupnozrnasti klastični sedimenti, npr. pješčenjaci, konglomerati ili breče koji su obično propusni, ponekad mogu biti zasićeni i slatkom vodom (do 1 g/l otopljenih tvari). U propusnim, kompaktnim stijenama poput karbonata, voda je često niskomineralizirana (1-4 g/l otopljenih mineralnih tvari).

Jedan od mehanizama koji također objašnjava odnos propusnosti i saliniteta naziva se mehanizam membranske filtracije. On objašnjava najveće promjene u sastavu pornih voda pješčenjačkih ležišta. Naime, zabilježeno je povišenje saliniteta pornih voda pješčenjačkih ležišta u rasponu od 2 do 50 g/l za svakih 300 m porasta dubine. Nakon prvih stotinjak metara zalijeganja voda teži napuštanju šejla kroz brojne vertikalne regionalne pukotinske sustave, što omogućava daleko više propusnih putova nego li je to u samim šejlovima budući da su slabopropusni. Kako bi vodene molekule mogle migrirati kroz sediment, odnosno polupropusne membrane u šejlovima, potreban je veći hidraulički gradijent (Velić, 2007). Uslijed velikog hidrauličkog gradijenta došlo bi do pojačane filtracije što bi rezultiralo

povišenjem saliniteta porinih voda šejlova s dubinom, u odnosu na okolne pješčenjake (Morton et al., 1981).

3.1.3. Geotermalni gradijent

Jedan od bitnijih čimbenika koji utječu na salinitet vode je geotermalni gradijent. Općenito, geotermalni gradijent označava porast temperature od površine prema dubini izražen u °C za određeni razmak (100 m). Formula za izračun prosječnog geotermalnog gradijenta glasi:

$$Gg = \frac{T_h - T_s}{h} \times 100 \quad (3.1)$$

gdje je: Gg – geotermalni gradijent, Th – temperatura na određenoj dubini, Ts – srednja godišnja temperatura, h – dubina.

Prema Jelić et al. (1995), prosječni geotermalni gradijent u svijetu iznosi oko 3°C/100m. Prosječni geotermalni gradijent u Panonskom bazenu iznosi oko 4,9°C/100m (Vorkapić, 2010). Povišene vrijednosti geotermalnog gradijenta, poput ovoga u Panonskom bazenu, mogu ukazivati na potencijalne izvore geotermalne vode koja bi imala široku primjenu.

Jedan od načina korištenja geotermalne vode je za proizvodnju geotermalne energije. Prema Clark et al. (2011), s obzirom na temperaturu, vode se dijele na:

- niskotemperaturne (<90°C);
- umjerene (90°-150°C) i
- visoko temperaturne (>150°C) geotermalne vode.

U geotermalnim elektranama s isparavanjem, temperatura hidrotermalne vode mora biti iznad 182°C. Taj geofluid brzo isparava kad se penje u postrojenju pri čemu para pokreće turbinu koja pokreće generator za proizvodnju energije. Naravno, kompleksni kemijski sastav ove vode često predstavlja problem zbog izazivanja štetnih procesa poput korozije.

Također, hidrotermalna ležišta s temperaturom od 74°C do 185° su korisna u elektranama s binarnim ciklusima. U takvim ciklusima hidrotermalna voda služi za zagrijavanje tzv. radne vode koja isparava i na taj način pokreće turbinu za proizvodnju električne energije. Pozitivna strana ovog načina dobivanja energije je u tome što nema emisije plinova u atmosferu (Clark et al., 2011).

Ribogojstvo je jedna od djelatnosti u kojima je primjena hidrotermalnih voda ključna. Takve vode, temperature od 20-50°C, ili služe za zagrijavanje slatke vode u izmjenjivačima topline bitnima za rad postrojenja za uzgoj ribe ili se miješaju s hladnom vodom i onda koriste direktno u uzgoju. Temperatura zagrijane vode ovisi o vrsti ribe koja se uzgaja (Ragnarsson, 2014).

3.2. Metode određivanja i uzorkovanja saliniteta vode

Utvrđivanje saliniteta slojne vode može biti direktno ili posredno. Direktno uzorkovanje se odnosi na kemijsku analizu uzorka slojne vode uzetog pri DST ispitivanju, dok se posredno može utvrditi pomoću karotaže spontanog potencijala (SP).

3.2.1. Kemijska analiza

Kemijskom analizom, na temelju zastupljenosti kemijskih elemenata (iona), spojeva (plinova) u uzorcima vode, moguće je odrediti salinitet, odnosno utjecaj brojnih procesa na salinitet poput evaporacije i dijagenetskih procesa (spomenuta pretvorba minerala glina).

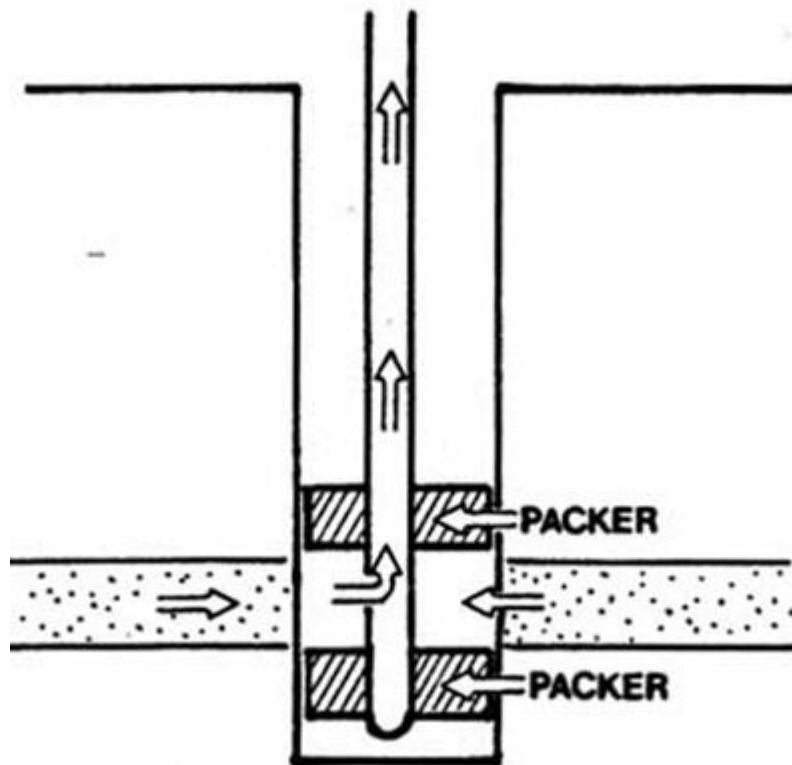
Naime, kompakcijom sedimenta i migracijom vode kroz sedimente dolazi do kemijskih reakcija koje uzrokuju otapanje sedimenta i izlučivanje novih mineralnih faza te pretvorbu jednih minerala u druge. Otopljeni kationi i anioni u vodi ukazuju na minerale od kojih potječu, a kemijskom se analizom na temelju spomenutih otopljenih iona mogu odrediti zone prijelaza poput smektit-ilit, zone albitizacije, zone smanjenja kalcita u šejlovima i sl. koje imaju veliki utjecaj na variranje saliniteta slojne vode (Morton et al., 1981, Stryszewska et al., 2020).

3.2.2. Drill-Stem-Test (DST analiza)

DST analizom (engl. Drill Stem Test) dobiva se predodžba o proizvodnom kapacitetu bušotine. Naime, njome se određuje vrsta fluida u bušotini, temperatura formacije, propusnost (permeabilnost) sloja mjerenjem protoka i tlak u ležištu. Poznavanje temperature formacije na određenoj dubini istraživanog područja bitno je za određivanje geotermalnog gradijenta.

DST uključuje postavljanje pakera ispod i iznad testiranog intervala s ciljem da ga se izolira. Instrument se aktivira na dnu bušotine, mjereći protok nafte ili plina kroz određeno vrijeme, obično sat vremena. Na dnu instrumenta se nalazi perforirano sidro koje omogućuje ulazak tekućina u praznu cijev, a gumeni se pakeri bočno šire prema rubovima bušotine kako bi smanjili pritisak u alatu. Pokretanje instrumenta znači otvaranje i zatvaranje niza ventila kako bi se kontrolirao protok fluida u cijev, koji se šalju kroz protočni vod do rezervne jame na površini. Dok nafta ili plin dosegnu površinu, uobičajeno je da isplaka jednostavno uđe u cijev, ali ne dođe do površine. Bez obzira na to, parametri (protok, tlak i volumen) su zabilježeni. Obično se provodi jedno ili više ispitivanja kako bi se utvrdilo je li sloj proizvođač ili nije (https://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=318&c_id=) (slika 3-2.).

Iako DST mjerenja daju vrlo precizne podatke o temperaturi formacije, prema Petersu i Nelsonu (2012), volumen crpljenog fluida mora biti veći od $> 15,9 \text{ m}^3$ kako bi se temperatura ispitivanog uzorka mogla izjednačiti s temperaturom formacije.



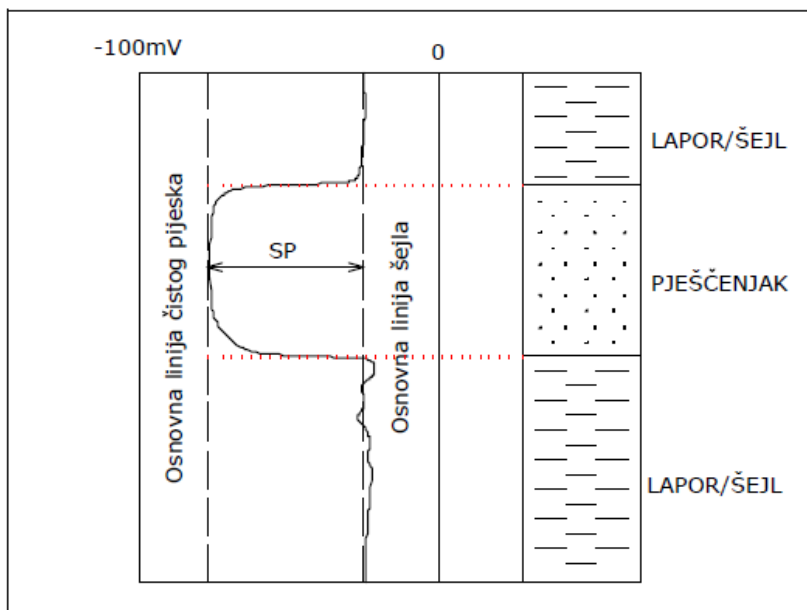
Slika 3-2. DRILL STEM TEST (modificirano prema https://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=318&c_id=)

3.2.3. Karotaža spontanog potencijala (SP-karotaža)

Osnovna namjena ove karotaže je izdvajanje propusnih i nepropusnih naslaga. Osim generalne informacije o poroznosti i propusnosti stijena, dobiva se i općenita informacija o svojstvima fluida (mineralizaciji vode) u naslagama. Sve navedeno se određuje mjerenjem tzv. spontanog ili prirodnog potencijala (SP) koji predstavlja razliku potencijala između površinske elektrode i elektrode spuštene u bušotinu. Mjerenje se izvodi tako da se elektroda N nalazi na površini, a elektroda M se spusti na dno bušotine, te se snimanje izvodi kontinuirano, izvlačenjem elektrode prema površini. SP nastaje kao rezultat međusobnog djelovanja filtrata isplake, porne vode i glina odnosno šejla, stoga ovisi o uvjetima u bušotini (isplaci) i naslagama oko nje. Navedene je faktore bitno uzeti u obzir prilikom interpretacije rezultata mjerenja SP-a (Šumanovac, 2012).

Dogovorno je da otkloni u lijevo predstavljaju negativne vrijednosti SP-a, a otkloni u desno pozitivne vrijednosti SP-a. Na krivulji SP-a može se povući pravac koji tangira otklone udesno, a ne mora biti paralelan s mrežom. Taj pravac se naziva osnovna linija nepropusnih stijena (naslaga), osnovna linija lapora (ili šejla) ili osnovna linija SP-a. Za

ekstremne vrijednosti krivulja (najveći potencijali) koje su snimljene u potpuno čistim dijelovima kolektora, definira se tzv. linija pijesaka (slika 3-3.).



Slika 3-3. Izgled krivulje spontanoga potencijala s pripadajućim osnovnim linijama te probušena litologija (modificirano prema Balić, 1993)

Linija pijesaka se uzima negativna, a linija lapora pozitivna u slučaju kada slojna voda ima veći salinitet u odnosu na isplaku. U plićim naslagama, u propusnim slojevima, prisutna je slatka voda, pa krivulje SP-a nisu tako izražajne ili su inverzne. Takve slatke vode obično imaju veće otpornosti zbog sadržaja kalcijevih i magnezijevih soli. U dubokim naslagama sloj pijeska ili pješčenjaka najčešće je zasićen slanom slojnom vodom zbog velike koncentracije natrijevog klorida, stoga je otpornost takve vode puno manja. Sve vrijednosti SP-a se očitavaju od osnovne linije. Prema spomenutom, otklon krivulje SP-a u lijevu stranu prema negativnom potencijalu, ukazuje na propusne naslage. To se dešava u slučaju kada je slojna voda višeg saliniteta od isplake. U suprotnom, ako bi slojna voda bila nižeg saliniteta od isplake, otkloni u propusnim slojevima bit će udesno, a u nepropusnim ulijevo pa bi došlo do inverzije. Kada bi saliniteti isplake i slojne vode bili jednaki, krivulja bi bila neupotrebljiva (Balić, 1993; Šumanovac, 2012).

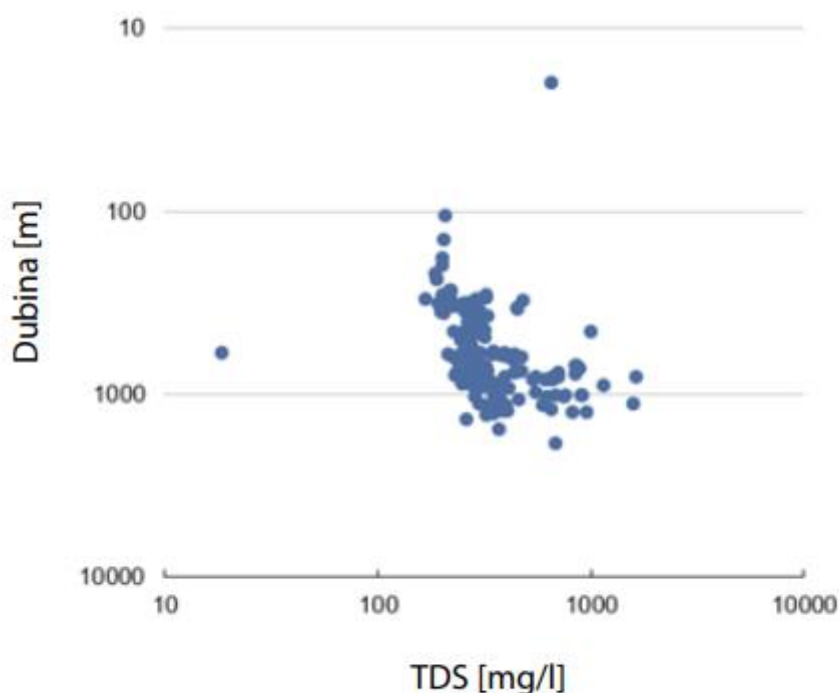
SP-karotaža služi i za:

- korelaciju izdvojenih propusnih i nepropusnih slojeva;
- određivanje debljine slojeva;
- određivanje specifične otpornosti slojne vode;
- procjenu mineralizacije vode;
- određivanje granice između slojeva pomoću točke infleksije – točka u kojoj krivulja SP-a mijenja karakter (iz konkavne u konveksnu).

3.3. Saliniteti slojne vode - primjeri iz svijeta

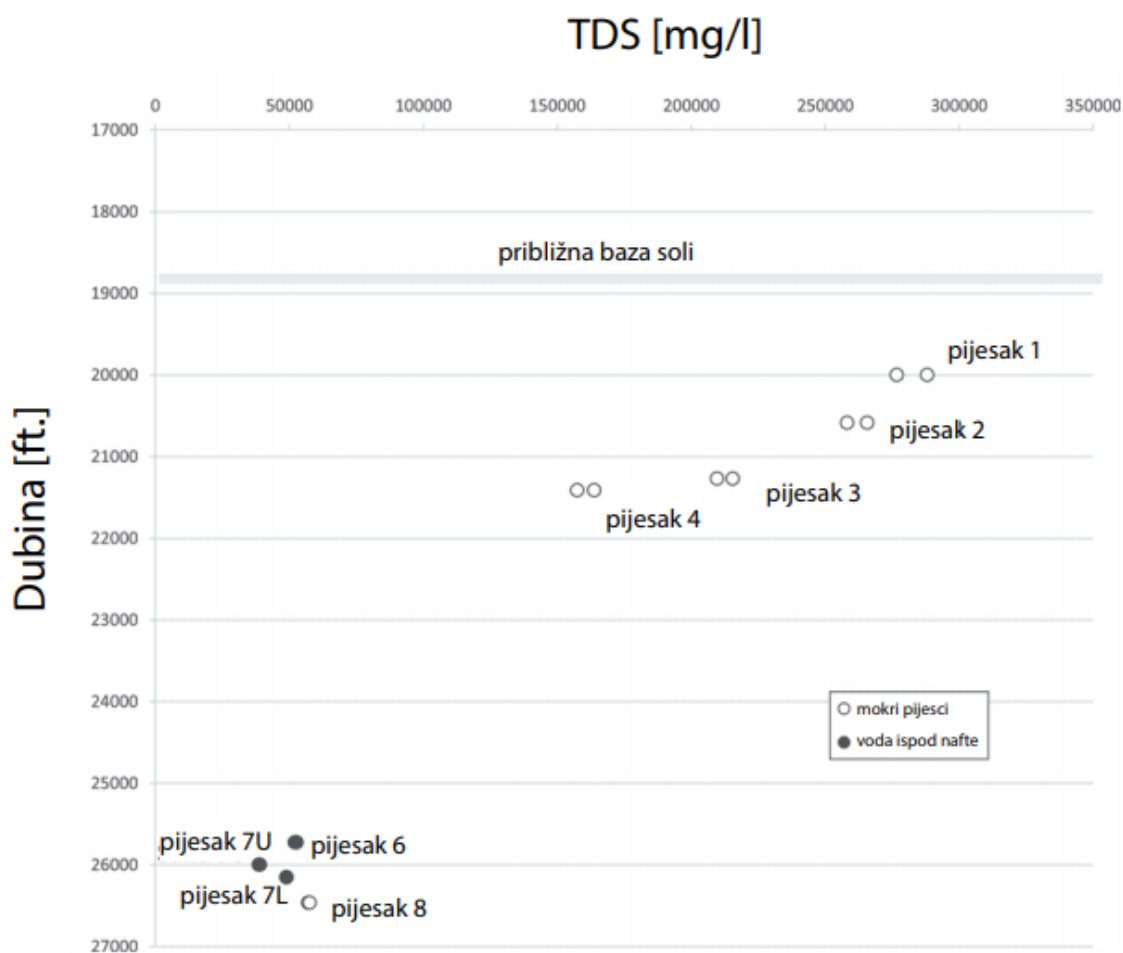
U ovom poglavlju prikazani su saliniteti slojnih voda različitih područja u svijetu poput Australije (Eromangski bazen) i Meksičkog zaljeva (bazen engl. *Tubular Bells*).

Slika (3-4.) prikazuje dijagram ovisnosti saliniteta o dubini jursko-krednog pješčenjaka na području Eromanskog bazena u Australiji. Njegov vodonosni sloj se pretežno sastoji od slatke vode do otprilike 1000 m dubine. Na dubini od 800-1200 m se javlja mineralizirana do jako mineralizirana voda (600-1200 mg/l). Prema podacima je vidljivo da se salinitet načelno povećava s dubinom (<https://www.bioregionalassessments.gov.au/assessments/11-context-statement-galilee-subregion/1142-groundwater-quality#Figure24>).



Slika 3-4. Dijagram dubine i saliniteta (TDS) vode vodonosnika Jurassic Hutton Sandstone (modificirano prema <https://www.bioregionalassessments.gov.au/assessments/11-context-statement-galilee-subregion/1142-groundwater-quality#Figure24>)

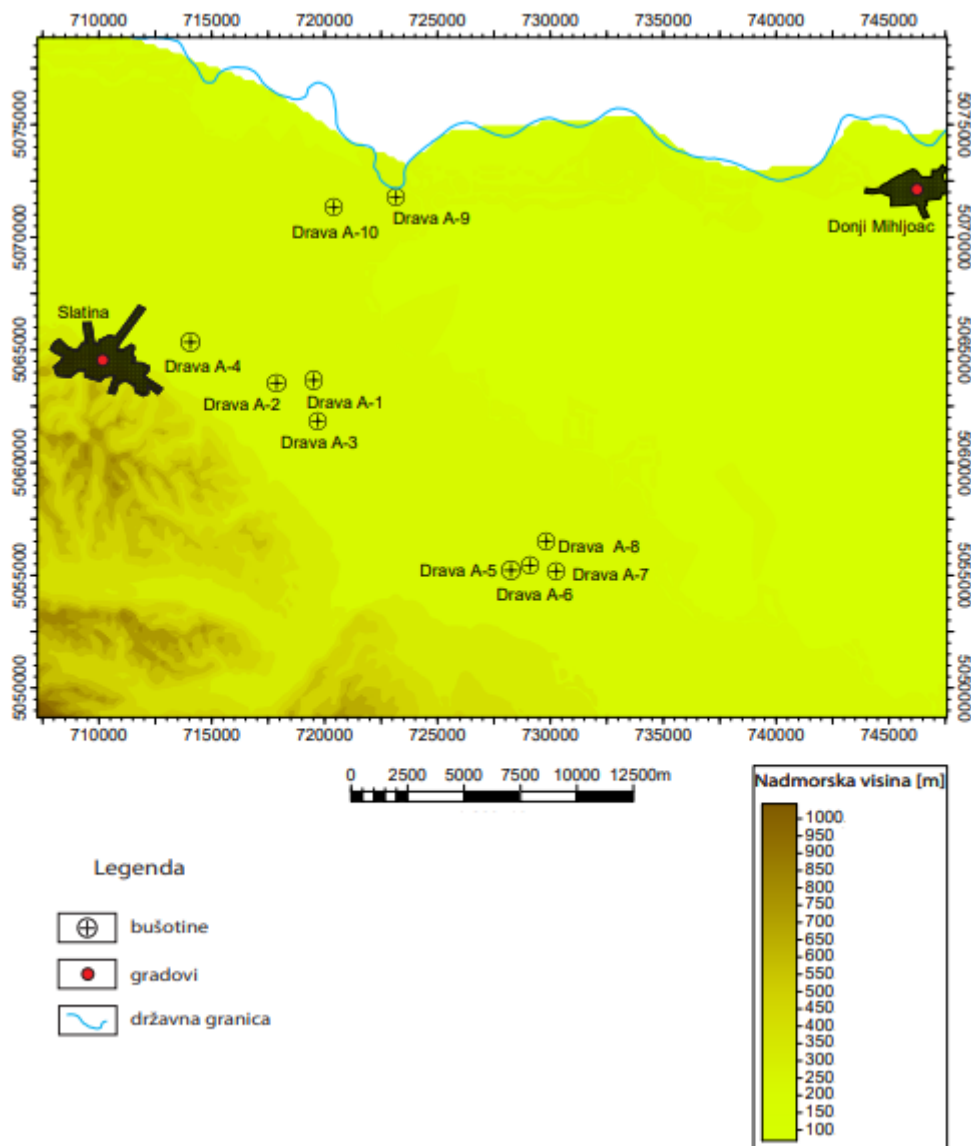
Odnosi saliniteta, miocenskih pješčenjaka Meksičkog zaljeva, prema dubini prikazani su na slici (3-5.) Vrijednosti saliniteta dosta variraju, krećući se od otprilike 38 600 mg/l do otprilike 288 000 mg/l. Salinitet poranih voda opada s porastom dubine (Franks i Uchytel, 2016).



Slika 3-5. Dvostruka analiza laboratorija A i B - odnos dubine i ukupno otopljenih krutih tvari (TDS) bazena engl. Tubular Bells , izmjerene MDT uređajem. Pijesak 9 nije imao dovoljno vode za ionsku analizu (modificirano prema Franks i Uchytel, 2016)

4. REZULTATI ANALIZA

Na temelju 10 istraživačkih bušotina (Fond stručne dokumentacije AZU) u istočnome dijelu Dravske depresije (slika 4-1.), izračunati su saliniteti slojnih voda na različitim dubinama pomoću DST mjerenja (tablica 4-1.). Najviši salinitet je zabilježen u bušotini DRAVA-A9, na dubinskom intervalu od 3180 m do 3256 m, a iznosi 11,13 g/l, a najniži salinitet, iznosa 0,0117 g/l, je zabilježen u bušotini DRAVA-A10 na dubini od 3943,5 m. Zvezdicom su označeni neuspjeli DST testovi koji su bili prepoznati prema tome što je testom pridobiven samo isplačni fluid, a ne slojni. To se je obično događalo u slučajevima kada je paker propustio. Njihove vrijednosti nisu bile iskorištene u dijagramu (4-2.).



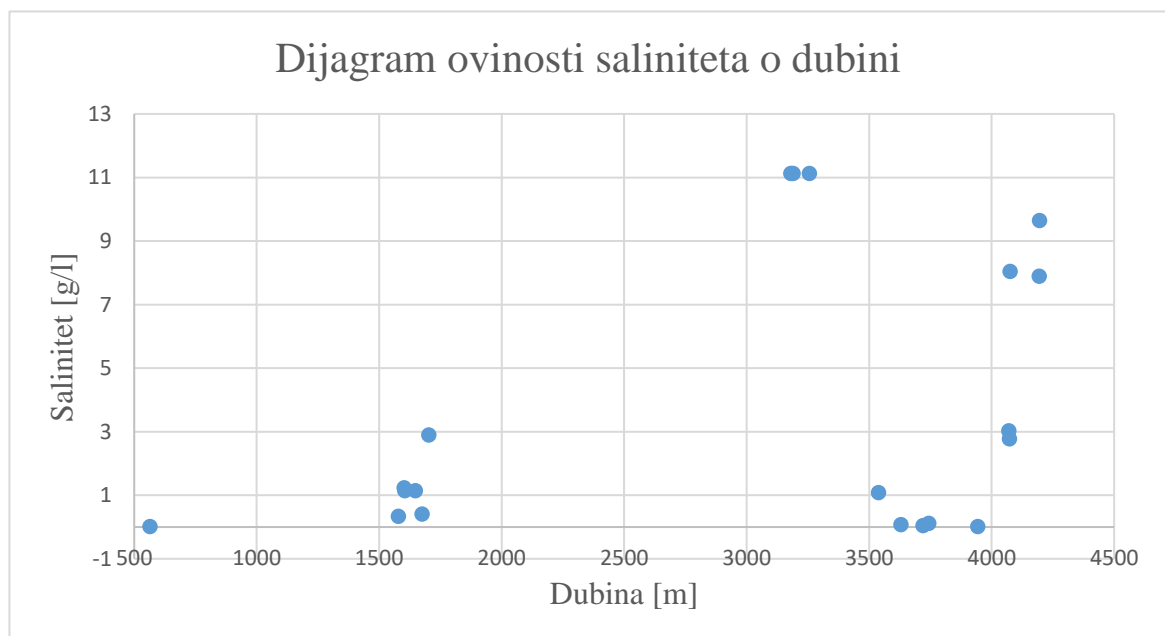
Slika 4-1. Istraživačke bušotine istočnog dijela Dravske depresije

Tablica 4-1. Bušotine i njima pripadajući saliniteti (* – neuspjeli DST testovi)

BUŠOTINA	DUBINA [m]	SALINITET [g/l]	FORMACIJA/STAROST
DRAVA A-1	3538,5	1,081	Moslavačka gora
DRAVA A-2	3743,5	0,117	Vukovarska formacija
DRAVA A-3	3629,5	0,08	Moslavačka gora
	3720	0,041	Podloga tercijara
DRAVA A-4	3384,025	0,0275 *	Ivanić Grad
	4075,82	8,045	Podloga tercijara
DRAVA A-5	1602	1,229	Vinkovačka formacija
	1604,4	1,14	
	1647,5	1,14	
	1703	2,9	
DRAVA A-6	565	0,0146	Vuka formacija
DRAVA A-7	1578,5	0,3335	Vinkovačka formacija
	1674,5	0,4085	
DRAVA A-8	2985	0,0789 *	miocen
DRAVA A-9	3180	11,13	miopliocen-gornji dio
	3190	11,13	
	3256	11,13	miopliocen-donji dio
DRAVA A-10	3397,5	0,06425 *	Moslavačka gora
	3413,75	0,087 *	
	3613,75	0,649 *	
	3943,5	0,0117	
	4070	3,027	
	4072	2,776	
	4194,715	7,89	Podloga tercijara
	4194,965	9,642	

Na temelju prikupljenih podataka područja istočnog dijela Dravske depresije, izrađen je dijagram (slika 4-2.) ovisnosti saliniteta o dubini. Točkicama označene vrijednosti nam govore da odnos saliniteta i dubine nije jednoznačan. U rasponu dubine od otprilike 500 do 1600 m, saliniteti su vrlo niski, ispod 1 g/l što ukazuje na slatku vodu. U rasponu od cca 1674 m zabilježen je porast saliniteta (od slatke preko brakične do slane vode) sve do otprilike 3256 m, gdje salinitet poprima najvišu vrijednosti, a nakon toga opada, pri čemu je na dubinskom intervalu od oko 3630 m do 3943,5 m ponovno zabilježena pojava slatke vode. Na dubini od oko 4000 m zabilježen je ponovni porast saliniteta.

Najviši salinitet od 11,13 mg/l ukazuje na brakičnu slojnu vodu. Stoga su svi zabilježeni saliniteti zapravo niski, što je i očekivano budući da saliniteti pripadaju formacijama iz, okvirno, razdoblja gornjeg dijela starijeg panona. Naime, samo tijekom badena i sarmata su vladali marinski uvjeti, dok su u ostalim periodima dominirali brakični i slatkovodni uvjeti. Zato zabilježeni saliniteti odgovaraju naslagama brakičnog sedimentnog okoliša velikog Panonskog jezera. To je i jedan od mogućih razloga koji objašnjava (slika 4-2.) pojavu ovako niskih vrijednosti saliniteta u istočnom dijelu Dravske depresije.



Slika 4-2. Dijagram ovisnosti saliniteta o dubini

Tablica (4-2.) prikazuje vrijednosti izmjerenih temperatura na različitim dubinama istočnog dijela Dravske depresije. Na dubini od 3700 m zabilježena je najviša temperatura iznosa 183,3°C, a najniža od 123°C na dubini od 2982,5 m. Iako se vrijednosti temperature s povećanjem dubine skokovito mijenjaju s viših na niže i obratno, aproksimacijom tih vrijednosti uočljivo je da temperatura načelno raste s dubinom zalijeganja (slika 4-3.). O samoj preciznosti ovoga regresijskoga modela govori r^2 (koeficijent determinacije) . On iznosi 0,5697 odnosno 56,97% što znači da model nije u potpunosti precizan. Ako se izračuna r (koeficijent korelacije) dobije se vrijednost 0,7548 što za Pearsonovu podjelu r :

$r = 0$ do $\pm 0,25$: nema povezanosti,

$r = \pm 0,26$ do $\pm 0,50$: slaba povezanost,

$r = \pm 0,51$ do $\pm 0,75$: umjerena do dobra povezanost,

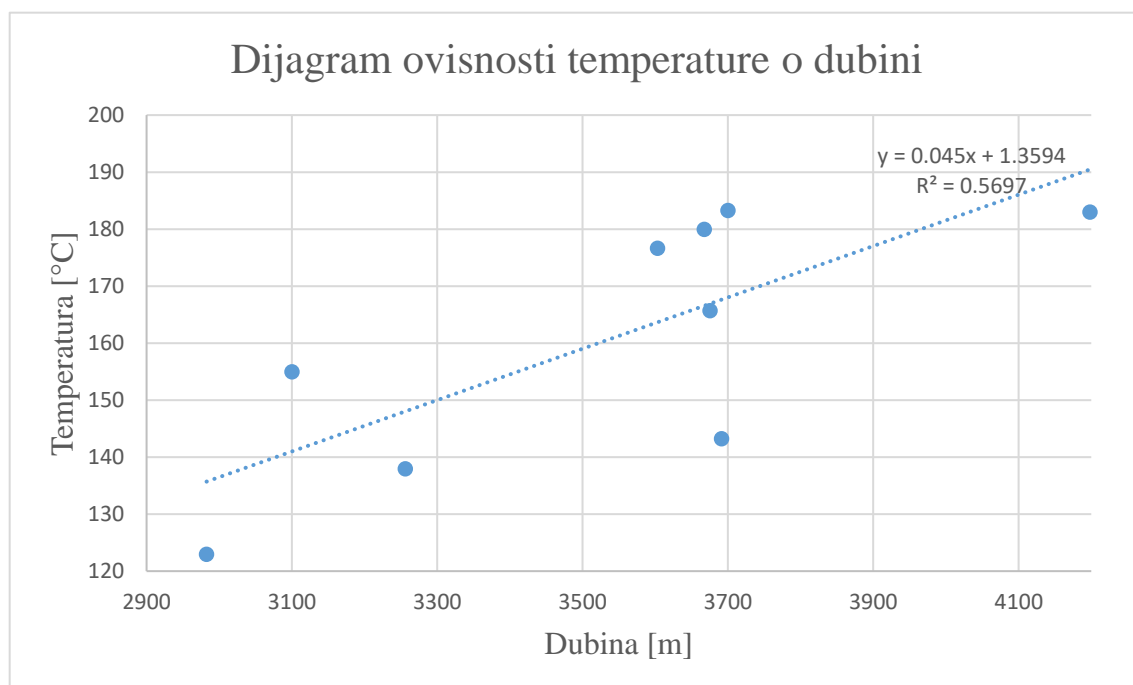
$r = \pm 0,76$ do ± 1 : vrlo dobra do izvrsna povezanost,

$r = \pm 1$: matematička povezanost

ispada da je funkcionalna povezanost između temperature i dubine dobra (<http://www.znanostblog.com/korelacije/>). Pomoću ovih visokih vrijednosti temperatura izračunati su geotermalni gradijenti.

Tablica 4-2. Bušotine i njima pripadajuće temperature

BUŠOTINA	DUBINA [m]	TEMPERATURA [°C]
DRAVA A-1	3700	183,3
DRAVA A-2	3667,5	180
DRAVA A-3	3675	165,73
DRAVA A-4	3691	143,23
DRAVA A-5	3100	155
DRAVA A-8	2982,5	123
DRAVA A-9	3256	138
DRAVA A-10	3603	176,67
	4198	183



Slika 4-3. Dijagram ovisnosti temperature o dubini

Tablica (4-3.) prikazuje izračunate geotermalne gradijente pojedinih bušotina pomoću formule (3.1). Prosječna godišnja temperatura je izračunata kao srednja vrijednosti zbrojenih mjesečnih temperatura zabilježenih na području Osijeka u periodu od 1899.-2019. prema podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda (http://meteo.hr/klima.php?section=klima_pracenje¶m=srednja_temperatura&Grad=bj_sred&Godina=2019). Izračunavanjem aritmetičke sredine zabilježenih vrijednosti, prosječni geotermalni gradijent za istraživano područje iznosi 4,21 °C.

Tablica 4-3. Bušotine i njima pripadajući geotermalni gradijenti

BUŠOTINA	DUBINA [m]	GEOTERMALNI GRADIJENT [°C/100m]
DRAVA A-1	3700	4,64
DRAVA A-2	3667,5	4,59
DRAVA A-3	3675	4,19
DRAVA A-4	3691	3,56
DRAVA A-5	3100	4,62
DRAVA A-8	2982,5	3,72
DRAVA A-9	3256	3,9
DRAVA A-10	3732	4,49

Prema geološkim izvještajima, dubinski intervali unutar kojih su zabilježeni najniži saliniteti ukazivali su na zatvorene tipove vodonosnika gdje su nepropusne naslage krovine i podine dominantno činili lapori i gline, a propusne slojeve breče i konglomerati i pijesci. Prema INI-NAFTAPLIN (1978-1988), u bušotini Drava A-6, na dubini od 550 m - 580 m, zabilježena je pojava krupnozrnatog pijeska, a ispod i iznad toga sloja se javljaju debeli slojevi gline. Radi se o zatvorenom vodonosnom sloju koji je pod arteškim uvjetima, a zabilježena temperatura vode iznosila je 30 °C. Sloj je perspektivan za vodoopskrbu sela Obradovci te uzgoj riba.

Dobiveni podatci, poput visokih temperatura odnosno povišenog geotermalnog gradijenta, te zabilježeni niski saliniteti ukazuju na široku mogućnost iskorištavanja geotermalne energije.

5. ZAKLJUČAK

Iako je uobičajeno da povećanjem dubine salinitet raste zbog višeg sadržaja otopljenih mineralnih tvari poput soli NaCl zbog same kompleksnosti građe podzemlja i različitih geološko-kemijskih procesa, to nije pravilo. Iz analize vode istočnog dijela Dravske depresije je vidljivo da salinitet ne raste uvijek s dubinom. Iako vrijednosti saliniteta uglavnom odgovaraju brakičnim do slanim vodama, uz njih su zabilježene i vrlo niske vrijednosti saliniteta (ispod 1 g/l). Razlog relativno niskih saliniteta može biti sam sastav naslaga istraživanih dijela Dravskog podzemlja, povezanog s okolišima taloženja. Uz srednjoznaste i krupnoznaste propusne sedimente, javljaju se i sitnozrnasti sedimenti, poput lapora i gline za koje je često vezana singenetska ili konatna slana voda. S druge strane, uvjeti u podzemlju se mijenjaju i time potiču razne kemijske reakcije, uzrokuju alteracije minerala, promjene u tlakovima i temperaturi, stoga je varijabilnost u salinitetu slojnih voda posve očekivana. Vodonosnici istraživanih područja bi potencijalno mogli predstavljati i arteške izvore koji bi bili od velikog značaja za gospodarenje vodom. Zabilježene visoke temperature (iznad 150 °C) te povišeni geotermalni gradijenti (prosječno 4,21 °C) ukazuju na veliku važnost voda toga područja. Upravo su takve vrijednosti temperatura vode poželjne u raznim strateškim djelatnostima poput gospodarstva i medicine, posebno u proizvodnji električne energije, zdravstvenog turizma, ribogojstva što bi moglo osnažiti ekonomiju Republike Hrvatske.

6. LITERATURA

6.1. Objavljeni radovi

Bačani, A. (2006): Hidrogeologija 1, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 36 str.

Burst, J. R., 1969, Diagenesis of Gulf Coast clayey sediments and its possible relation to petroleum migration: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 53, p. 73-93.

Clark, C.E., Harto, C.B., Sullivan, J.L., Wang, M.Q., (2011): Water use in the development and operation of geothermal power plants, U.S. Department of Energy, Chicago, 1, 5, 16, 41 str.

Franks, S.G., Uchytíl, S.J., (2016): Geochemistry of formation waters from the subsalt Tubular Bells Field, offshore Gulf of Mexico. AAPG Bulletin, v. 100, no. 6, 947, 950 str.

Jelić, K., Kevrić, I., Krasić, O. (1995): Temperatura i toplinski tok u tlu Hrvatske. Zbornik radova 1. Hrvatskog geološkog kongresa, Opatija, 18.-21.10.1995., 245-249 str.

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

Morton, R.A., Garrett, C.M., Posey, Jr., J.S., Han, J.H., Jirik L.A., (1981): Salinity variations and chemical compositions of waters in the frio formation, texas gulf coast, Bureau of Economic Geology The University of Texas at Austin, Texas, 5-6 str.

Peters, K.E., Nelson, P.H. (2012): Criteria to Determine Borehole Formation Temperatures for Calibration of Basin and Petroleum System Models. SEPM Special Publication, no. 103, 6 str.

Ragnarsson, A., (2014): Geothermal energy in aquaculture, "Short Course VI on Utilization of Low- and Medium-Enthalpy Geothermal Resources and Financial Aspects of Utilization", UNU-GTP and LaGeo, Santa Tecla, El Salvador, March 23-29, 2014. 5 str.

Stryszewska, T., Dudek, M. (2020): Selection of Method of Chemical Analysis in Measuring the Salinity of Mineral Materials. Faculty of Civil Engineering, Cracow University of Technology, 31-155 Cracow, Poland, materials 2020, 13, 559, 2 str.

Šumanovac, F. (2012): Osnove geofizičkih istraživanja. Zagreb: Rudarskogeološko-naftni fakultet Sveučilište u Zagrebu, 308-310 str.

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

Vorkapić, V. (2010): Geotermalna energija, Energetski institut Hrvoje Požar, Čakovec, 12, 20 str.

Xie, X., Jiao, J.J., Li, S., Cheng, J., (2003): Salinity variation of formation water and diagenesis reaction in abnormal pressure environments. Science in China Series D Earth Sciences, Vol. 46 No. 3, China, 275-277 str.

6.2. Neobjavljeni izvori

BALIĆ, D. (1993): Odabrana poglavlja iz interpretacije karotažnih dijagrama : (kratki tečaj za geologe na bušotini). Skripta za internu upotrebu umnožena fotokopiranjem. INA – Industrija nafte NAFTAPLIN.

INA-NAFTAPLIN, (1978-1988): Bušotinski izvještaji ustupljeni iz Agencije za ugljikovodike

6.3. Web izvor

Agencija za ugljikovodike, 2020. URL:

<https://www.azu.hr/istra%C5%BEivanje-i-eksploatacija/> (28.8.2020.)

Državni hidrometeorološki zavod, 2020. URL:

http://meteo.hr/klima.php?section=klima_pracenje¶m=srednja_temperatura&Grad=os_sred&Godina=2019 (5.9.2020.)

Groundwater quality, 2020. URL:

<https://www.bioregionalassessments.gov.au/assessments/11-context-statement-galilee-subregion/1142-groundwater-quality#Figure24> (3.5.2020.)

Rigzone, 2020. URL:

https://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=318&c_id (1.5.2020.)

Znanost blog.com, 2020. URL:

<http://www.znanostblog.com/korelacije/> (13.9.2020.)



KLASA: 602-04/20-01/110
URBROJ: 251-70-03-20-2
U Zagrebu, 10.09.2020.

Ida Pavlin, studentica

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju Vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM: 602-04/20-01/110, UR. BROJ: 251-70-13-20-1 od 28.04.2020. godine priopćujemo temu završnog rada koja glasi:

SALINITETI SLOJNE VODE U DUBOKIM PROPUSNIM SLOJEVIMA NA PODRUČJU ISTOČNOG DIJELA DRAVSKE DEPRESIJE

Za voditelja ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o završnom ispitu dr. sc. Marko Cvetković, docent Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Voditelj

(potpis)

Doc. dr. sc. Marko Cvetković

(titula, ime i prezime)

**Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite**

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Stanko Ružičić

(titula, ime i prezime)

**Prodekan za nastavu i
studente**

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor Kuhinek

(titula, ime i prezime)