

Uporaba elektrokarotaže u razlikovanju vrsta i podvrsta klastičnih litofacijesa na primjeru miocenskih stijena u podzemlju Sjeverne Hrvatske

Lemić, Josip

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:169:273707>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Preddiplomski studij naftnog rudarstva

**Uporaba elektrokarotaže u razlikovanju vrsta i podvrsta klastičnih litofacijesa na
primjeru miocenskih stijena u podzemlju Sjeverne Hrvatske**

Završni rad

Josip Lemić
N4100

Zagreb 2020.

Sveučilište u Zagrebu

Završni rad

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

UPORABA ELEKTROKAROTAŽE U RAZLIKOVANJU VRSTA I PODVRSTA
KLASTIČNIH LITOFACIJESA NA PRIMJERU MIOCENSKIH STIJENA U
PODZEMLJU SJEVERNE HRVATSKE

JOSIP LEMIĆ

Završni rad izrađen:

Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Panonski bazenski sustav obiluje brojnim ležištima ugljikovodika te predstavlja jedan od važnijih prostora što se tiče dokazanih rezervi ugljikovodika u Europi. Prostor HPBS smješten je u sjevernom dijelu Hrvatske, a obuhvaća od sjeverozapada prema jugoistoku četiri depresije; Mursku, Dravsku, Savsku te Slavonsko-srijemsku. Polje Šandrovac, Cremušina i Gakovo su bušotine HPBS sa kojih su prikupljeni podaci koji su dalje elektrokarotažnim metodama obrađeni. Iz rezultata, elektorkarotažnih krivulja, isčitani su podaci poroznosti, propusnosti te dubine na kojoj se promatrana cjelina nalazi.

Ključne riječi:

elektrokarotaža, klastični litofacijes, Sjeverna Hrvatska, otpornost pješčenjaka, šupljikavost, propusnost

Završni rad sadrži:

37 stranica, 4 tablice, 18 slika

Jezik izvornika:

Hrvatski

Završni rad pohranjen:

Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Mentor:

dr.sc. Tomislav Malvić, redoviti profesor RGNF-a

Ocjenjivači:

dr.sc. Tomislav Malvić, redoviti profesor RGNF-a

dr.sc. Josipa Velić, profesorica emerita RGNF-a

dr.sc. Jasna Orešković, izvanredna profesorica RGNF-a

Datum obrane:

12.6.2020

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. ZEMLJOPISNI SMJEŠTAJ ISTRAŽIVANOGA PODRUČJA	3
3. OPĆE GEOLOŠKE ZNAČAJKE TALOŽINA HPBS-a	5
4. TEORIJA ELEKTRIČNE KAROTAŽE.....	11
4.1 Uređaji za mjerenje električne otpornosti stijena i fluida	12
4.2 Jednadžbe za izračun zasićenja i šupljikavosti iz vrijednosti električnih otpornosti	16
5. PRIMJERI ELEKTROKAROTAŽNIH KRIVULJA KLASTIČNIH LITOFACIJESA TRIJU LEŽIŠTA U SJEVERNOJ HRVATSKOJ.....	21
5.1 Polje Šandrovac	22
5.2 Struktura Cremušina	24
5.3 Struktura Gakovo	29
6. DISKUSIJA O OBLICIMA KRIVULJA, IZRAČUNATIM VRIJEDNOSTIMA	32
7. ZAKLJUČAK.....	34
8. LITERATURA.....	35

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Depresije smještene unutar Panonskoga bazenskog sustava.....	3
Slika 2-2. Položaji polja i istraživačkih bušotina iz kojih su dobiveni podatci.....	4
Slika 3-1. Geološke makrojedinice Panonskoga bazenskog sustava.....	6
Slika 3-2. Položaj polja Beničanci i Cremušina strukture unutar Dravske depresije	7
Slika 3-3. Shematski geološki stup Dravske depresije	8
Slika 3-4. Shematski geološki stup Savske depresije	10
Slika 4-1. Izgled krivulje SP-a s pripadajućim osnovnim linijama pješčenjaka i lapora (šejla) te određena litologija.....	12
Slika 4-2. Shematski prikaz normalne sonde.....	13
Slika 4-3. Shematski prikaz inverzne sonde.....	13
Slika 4-4. Laterolog-3.....	14
Slika 4-5. Laterolog-7.....	15
Slika 4-6. Mikrolog s prikazom rasporeda elektroda.....	16
Slika 5-1. Dijagram konvencionalne elektrokarotaže pepelanskih pješčenjaka u bušotini Ša-167α	22
Slika 5-2. Elektrokarotažna krivulja iz bušotine Ša-167 s označenim intervalima izračunate šupljikavosti (intervali 10-15 % označeni su narančastom bojom, a intervali veći od 15 % zelenom bojom).....	24
Slika 5-3. Dijagram konvencionalne elektrokarotaže iz bušotine Cre-2	25
Slika 5-4. Elektrokarotažna krivulja iz bušotine Cre-2 s označenim intervalima izračunate šupljikavosti (žutom bojom označeni su intervali 0-10 %, narančastom bojom intervali 10- 15 %, a zelenom bojom intervali veći od 15%	28
Slika 5-5. Dijagram konvencionalne elektrokarotaže poljanskih pješčenjaka u bušotini Gak-1	29
Slika 5-6. Elektrokarotažna krivulja iz bušotine Gak-1 s označenim intervalima izračunate šupljikavosti (žutom bojom označeni su intervali 0-10 %, narančastom bojom intervali 10- 15 %, a zelenom bojom intervali veći od 15 %)......	31

POPIS TABLICA

Tablica 5-1. Vrijednosti otpornosti i šupljikavosti po dubinama u bušotini Ša-167 α	23
Tablica 5-2. Vrijednosti otpornosti i šupljikavosti po dubinama u bušotini Cre-2	26
Tablica 5-3. Vrijednosti otpornosti i šupljikavosti po dubinama u bušotini Cre-2 očitane uz pomoć <i>PlotDigitizer</i> programa	27
Tablica 5-4. Vrijednosti otpornosti i šupljikavosti po dubinama u bušotini Gak-1	30

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I ODGOVARAJUĆIH SI JEDINICA

HPBS- hrvatski dio Panonskoga bazenskog sustava

EK- elektrokarotaža

SP- spontani potencijal (mV)

R- električna otpornost (Ωm)

PBS- Panonski bazenski sustav

km- kilometar

m- metar

S_w- zasićenje slojnom vodom (dio cijelog ili %)

cm- centimetar

DLL- dvojni laterolog

LL- laterolog

MLL- mikrolaterolog

SFL- sferično fokusirani laterolog

ML- mikrolog

MSFL- mikrosferični fokusirani laterolog

R_o- električna otpornost stijene potpuno zasićene slojnom vodom (Ωm)

R_w- električna otpornost slojne vode (Ωm)

Φ- šupljikavost stijene (dio cijelog ili %)

F- faktor formacije (dio cijelog ili %)

I- indeks otpornosti (dio cijelog ili %)

R_t- električna otpornost netaknute zone (Ωm)

n- eksponent zasićenja

'm'- cementacijski faktor

1. UVOD

Ovim radom opisana je uporaba elektrokarotažnih mjerenja i interpretacija u razlikovanju vrsta i podvrsta klastičnih litofacijesa na primjeru miocenskih stijena u podzemlju Sjeverne Hrvatske, odnosno u području hrvatskoga dijela Panonskoga bazenskog sustava (skr. HPBS).

Karotaža obuhvaća niz geofizičkih mjerenja u bušotinama kojima se utvrđuju svojstva i stanje probušenih stijena i rješavaju geološka i geotehnička pitanja. Karotažne metode prvenstveno su razvijene kako bi zamijenilo skupo vađenje jezgre. Rezultati karotažnih mjerenja pretežito ovise o varijacijama fizičkih i kemijskih osobina stijena i svojstvima isplake što treba uzeti u obzir prilikom interpretacije istih. Karotažna mjerenja se dijele prema pojavi koju induciraju odnosno mjere na: električnu, zvučnu, radioaktivnu i karotažu temperature. U ovom radu u razmatranje je uzeta elektrokarotažna metoda (skr. EK). Zadatak elektrokarotaže je mjerenje vrijednosti spontanog električnog potencijala koji se javlja u bušotini te specifični električni otpor stijena na promatranoj dubini te fluida u njima. Velika šupljikavost, dobra propusnost i visoki salinitet slojne vode pogoduju interpretaciji karotažnih dijagrama što znači da će mjerenja dati dobre rezultate, odnosno prihvatljivu interpretaciju. Rezultati karotažnih metoda uvriježili su se kao jedan od standardnih načina određivanja šupljikavosti i drugih svojstava litofacijesa te prilikom utvrđivanja granica između formacija. Primjena elektrokarotažnih markera iznimno je važna za prepoznavanje, praćenje i kartiranje litostratigrafskih jedinica.

Daljnjim istraživanjima karotažnih metoda pokazano je da elektrokarotažne metode daju najtočnije rezultate u ispitivanju pojedinih svojstava probušenih naslaga (*engl. formation*) duž bušotine kao što su spontani potencijal, vrijednosti otpornosti naslaga te izračun šupljikavosti i zasićenja.

Važnost kartiranja gornjomiocenskih litofacijesa u hrvatskom dijelu Panonskoga bazenskoga sustava je značajna te predstavlja jedan od najvažnijih smjerova istraživanja u hrvatskoj geologiji ugljikovodika. Tim postupkom se dobiva uvid u taložne okoliše te određujemo oblike i granice ležišta ugljikovodika. Nekoliko metoda razvijeno je za kartiranje varijacija facijesa, a najpoznatija temelji se na uspoređivanju oblika krivulja spontanog potencijala (SP) i krivulja električne otpornosti (R), unutar klastičnih taložina, najuspješnije kod izmjene pješčenjaka i lapora.

Također, postoji i drugi način prepoznavanja litofacijesa na temelju dubinskih podataka. Ukoliko su dostupni kvantitativni podaci, kao rezultat interpretacije šupljikavosti,

preko karotažnih dijagrama mogu se povezati određeni intervali šupljikavosti s jednim litofacijesom, što bi značilo da se kartiranjem tih intervala može opaziti bočno prostiranje određenog litofacijesa.

Za karotažu od primarne je važnosti uporaba isplake zadovoljavajućih svojstava. Ona je najčešće mješavina glinovitog materijala i vode čije postojanje u kanalu bušotine uzrokuje povećanje hidrostatskog tlaka, nakon čega slijedi infiltriranje tekuće faze isplake (filtrat) u sloj, dok se na stjenkama bušotine talože čvrste čestice stvarajući isplačni oblog. U stacionarnim uvjetima, uslijed postojanja isplake u bušotini, duž kanala bušotine se formiraju i slijedeće zone; u neposrednoj blizini stijenki bušotine nalazi se isprana zona u kojoj je filtrat isplake gotovo potpuno potisnuo tekućinu iz sloja. Zatim slijedi infiltrirana zona gdje se količina filtrata postupno smanjuje, a povećava se udio tekućina iz sloja. Nakon infiltrirane zone je netaknuta (neporemećena) zona. Stvaranje ovakvih zona uokolo kanala bušotine omogućuje uočavanje specifičnih raspodjela otpornosti u slučaju stijena zasićenih vodom i stijena zasićenih naftom. Otpornost slane slojne vode višestruko je niža od otpornosti filtrata isplake, ali otpornost nafte je relativno visoka.

2. ZEMLJOPISNI SMJEŠTAJ ISTRAŽIVANOGA PODRUČJA

Sa stajališta geologije nafte, područje Hrvatske obuhvaća tri velike cjeline: Panonski bazen, Dinaride i Jadransko podmorje. Prostor hrvatskog dijela Panonskoga bazenskoga sustava (skr. HPBS), smješten je u sjevernoj Hrvatskoj, a obuhvaća od sjeverozapada prema jugoistoku četiri depresije: Mursku, Dravsku, Savsku te Slavonsko-srijemsku (**slika 2-1**).



Slika 2-1. Depresije smještene unutar Panonskoga bazenskoga sustava (prema **Malvić, 2013**)

Hrvatski dio panonskog bazenskog sustava danas pokriva cijeli jugozapadni i južni dio Panonskog bazenskog sustava (skr. PBS). Taj prostor je omeđen Europskom pločom na sjeveru, Alpama na zapadu, Jadranskom karbonatnom platformom na jugu te Mezijskom pločom na istoku. Sjeverna Hrvatska u geološkom je smislu južni rub nekadašnjeg Paratetisa, koje Žumberak i Petrova gora zatvaraju s juga.



Slika 2-2. Položaji polja, struktura i istraživačkih bušotina s kojih su dobiveni podatci

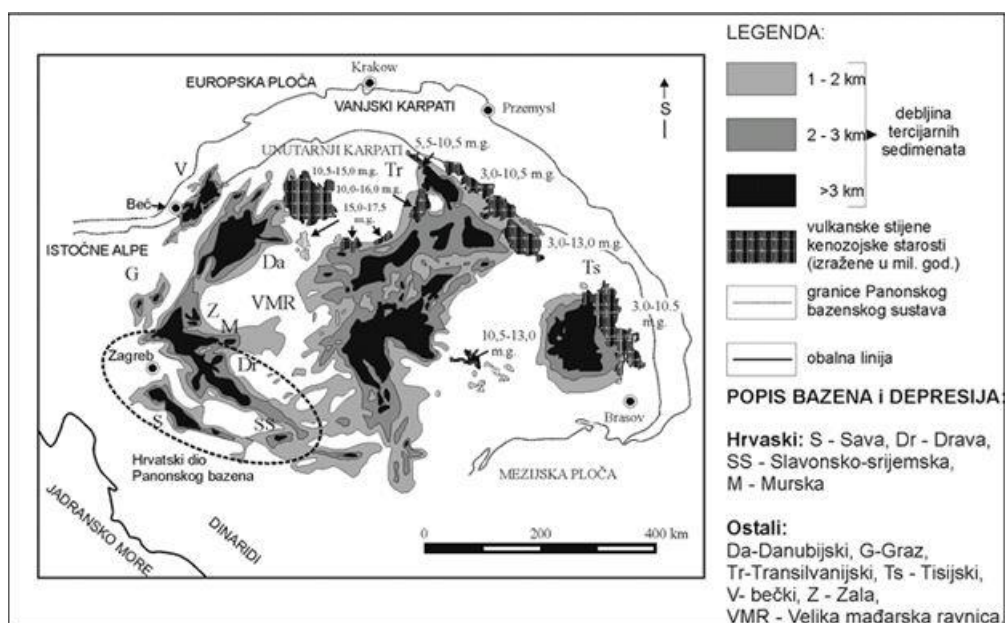
Polje Šandrovac je smješteno na južnim obroncima središnjeg dijela Bilogore. Geografski i geološki gledano, polje je smješteno u Bjelovarskoj subdepresiji koja je dio Dravske depresije, a Moslavačka gora odvaja Bjelovarsku subdepresiju od Savske depresije (Malvić, 2013). Polje Šandrovac je po veličini četvrto najveće naftno polje u Republici Hrvatskoj. Cremušina i Gakovo relativno su mali lokaliteti smješteni u izdvojenom jugozapadnom ogranku Dravske depresije (slika 2-2) koji pripadaju Bjelovarsko-bilogorskoj županiji.

Prema popisu stanovništva iz 2011. godine, u svojih pet gradova i 18 općina županija broji 119743 stanovnika, odnosno 2,8% ukupnoga stanovništva Republike Hrvatske. Bjelovarsko-bilogorska županija geografski gledano, pripada prostoru Panonske makroregije. Na zapadu graniči sa Zagrebačkom županijom, na sjeveru s Koprivničko-križevačkom, na jugu sa Sisačko-moslavačkom, na jugoistoku s Požeško-slavonskom i na sjeveroistoku s Virovitičko-podravskom županijom. Obuhvaća prostor četiri karakteristične zemljopisne cjeline: Bilogoru, Moslavačku goru, rubne masive Papuka i Ravne Gore te pleistocenske ravnjake i doline rijeka Česme i Ilove. Središte županije je grad Bjelovar s 40276 stanovnika, smješten između rijeka Drave i Save. Bjelovar je političko, gospodarsko i kulturno središte županije, a ostali gradovi su: Daruvar, Čazma, Garešnica i Grubišno Polje, uz to u sastavu županije nalazi se i 18 općina te 323 naselja. Područje Bjelovarsko-bilogorske županije obiluje značajnim izvorima prirodnih resursa poput ležišta nafte i plina, zatim

kvarcnog pijeska, građevnog kamena, gline te termalnih voda. Moslavačka gora predstavlja veliki potencijal za razvoj kamene industrije, na području Daruvara postoje znatna količina sedimentnih, magmatskih i metamorfnih stijena te značajniji izvori termalnih vrela. Naftno-geološka istraživanja istaknula su i potencijalne izvore geotermalne energije. Županije ima uglavnom padinski tip reljefa, a opća obilježja klime odraz su zemljopisnog položaja županije i njene otvorenosti prema sjeveroistoku. Posljedica toga je veći utjecaj kontinentalne klime koja se odlikuje nižim zimskim temperaturama, manjom količinom padalina te znatnijom učestalosti vjetrova. Kvalitetne cestovne i željezničke veze uvjetovale su ekonomski i društveni razvoj grada Bjelovara i Bjelovarsko-bilogorske županije. Među brojnim prometnim pravcima kroz grad Bjelovar, posebno se ističu prometne veze od Graza i Maribora, te one od Mađarske preko Bjelovara do Zagreba i Siska. Izuzetna važnost Bjelovarsko-bilogorske županije je u tome što predstavlja poveznicu sjeveroistočnih i istočnih područja Hrvatske sa gospodarski najrazvijenijim dijelom- Zagrebom i Zagrebačkom županijom. Glavni državni prometni pravci teku paralelno sa županijskim prostorom, ali i sjeverno i južno od njega. Cestovna mreža županije dovoljno je razgranata sa natprosječnom gustoćom u odnosu na republički prosjek, ali to su uglavnom ceste niže kategorije. Iako je u prošlosti dominantni način prijevoza bila željeznica, postojeća pruga i željeznička infrastruktura na području županije je dotrajala i zastarjela, te je primat preuzeo cestovni promet.

3. OPĆA GEOLOŠKE ZNAČAJKE NEOGENSKO-KVARTARNIH TALOŽINA HPBS-a

PBS obiluje brojnim ležištima ugljikovodika, te predstavlja jedan od važnijih prostora što se tiče dokazanih rezervi ugljikovodika u Europi. HPBS pokriva jugozapadni rub PBS-a i obilježen je sličnim značajkama prepoznatljivim u ostalim područjima bazenskog sustava, ali zbog njegovog rubnog položaja sadrži i pojedine jedinstvene karakteristike. U Hrvatskoj, brojna ležišta ugljikovodika nalaze se u stijenama od paleozojske do kenozojske starosti (Velić 2007; Malvić 2003). Utvrđeno je da su glavne matične stijene lapori i laporoviti vapnenci donje miocenske starosti.



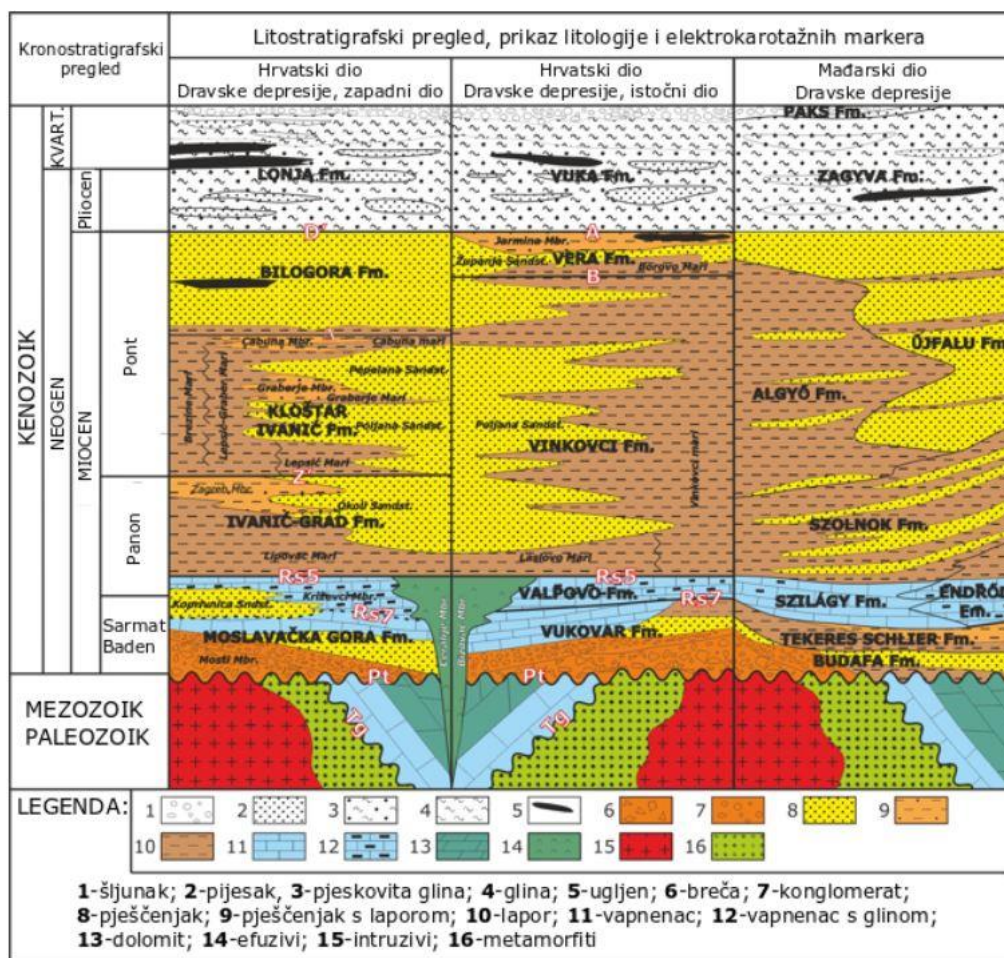
Slika 3-1. Geološke makrojedinice Panonskog bazenskog sustava (Malvić, 2006)

Taj prostor uključuje nekoliko miocenskih litoloških jedinica koje su karakterizirane klastičnim sedimentima. Malvić et al. (2014) opisali su litofacijese male propusnosti na dvije tipične lokacije Dravske depresije. Prvi primjer je polje Beničanci, velike površine s jednim velikim konvencionalnim ležištem, dok su nisko propusni litofacijesi pronađeni na graničnim dijelovima strukture. Ležišne stijene su neogenski sedimenti predstavljeni badenskim brečama i konglomeratima. Drugi primjer je struktura Cremušina gdje se slabopropusni sedimenti mogu pronaći diljem cijele strukture. Smještena blizu jugozapadne granice Dravske depresije u Bilogorskoj zoni koja predstavlja geografsku granicu koja se formirala tijekom pliocena. Bilogora, danas, dijeli središnji dio Dravske depresije od jugozapadnog dijela tj. od Bjelovarske subdepresije.



Slika 3-2. Položaj polja Beničanci i strukture Cremušina unutar Dravske depresije (**Malvić, 2014**)

Razvojem lokalnih fluvijalnih i jezerskih okoliša, za vrijeme otnanga i karpata započeta su prva taloženja u HPBS. Regionalno su prekrivene naslage srednjeg miocena, koje predstavljaju odraz razdoblja u kojem je vladala marinska transgresija na cijelom području PBS-a (**Malvić & Cvetković, 2013**).



Slika 3-3. Shematski geološki stup Dravske depresije (Malvić et al., 2014)

Dravska depresija sastoji se od neogenskih i kvartarnih stijena i naslaga, dok se podina Dravske depresije sastoji od karbonata (vapnenci i dolomiti), metamorfita (amfiboliti, škriljavci i gnajsevi) i magmatita (graniti) mezozojske i paleozojske starosti. Stijene podine nisu litostratigrafski raščlanjene u hrvatskom dijelu. Elektrokarotažni markerni slojevi (EK-markeri) odjeljuju pojedine litostratigrafske formacije unutar depresija, a ponekad i članove unutar Sjeverne Hrvatske (Jurić, 2018). Uz markere rabe se i dvije EK- granice. To su „Tg“ koji označava granicu kada su u podlozi kenozoika magmatske i metamorfne stijene, a za slučaj da su u podini taložine paleozoika i mezozoika onda koristimo oznaku „Pt“ (Malvić, 2015). Granica između formacija Vukovar i Valpovo određena je elektrokarotažnim markerom Rs7. Formacija Valpovo sastoji se većinom od glinovitih vapnenaca, a formacija Vukovar sastoji se od krupnoklastičnih sedimenata (konglomerati i breče) u svom središnjem dijelu te pješčenjaka i vapnenaca u svom gornjem dijelu.

Elektrokarotažni marker Rs5 odjeljuje mlađu formaciju Ivanić-grad u krovini od formacije Moslavačka gora. U istočnom dijelu Dravske depresije naslage miocena mogu se podijeliti na dvije formacije; formacija Vukovar i formacija Valpovo. Granice sa stijenama podloge također su definirane elektrokarotažnom granicom, a EK marker Rs5 odvaja formaciju Valpovo od mlađe gornjopanonske.

Savska depresija počinje se oblikovati u donjem miocenu, a prema **Čorić et al (2009)** marinski razvoj počinje u srednjem miocenu. Srednji i donji miocen karakterizira krupnoklastična litologija. Najzastupljeniji su krupnozrnati i srednjozrnati klastiti (konglomerati i breče) te sitnozrnati i pelitni klastiti (gline, lapori). Gornji miocen uključuje taloženje grupe Sava u Savskoj depresiji te nastaju formacije Ivanić-Grad i Kloštar Ivanić. EK marker Rs7 dijeli formacije Prečec i Prkos odnosno naslage od početka miocena do taložina donjeg panona. Nadalje, EK marker Rs5 razdvaja formacije gornjeg i donjeg panona. EK marker Z' dijeli formacije Ivanić-grad i Kloštar-Ivanić (gornji panon i donji pont), a marker R ϕ dijeli formacije Kloštar-Ivanić i Široko Polje (donji i gornji pont), te naposljetku, EK marker α' odjeljuje formacije Široko Polje i Lonja (gornji pont od dacija, romanija i kvartara) (**Jurić, 2018**).

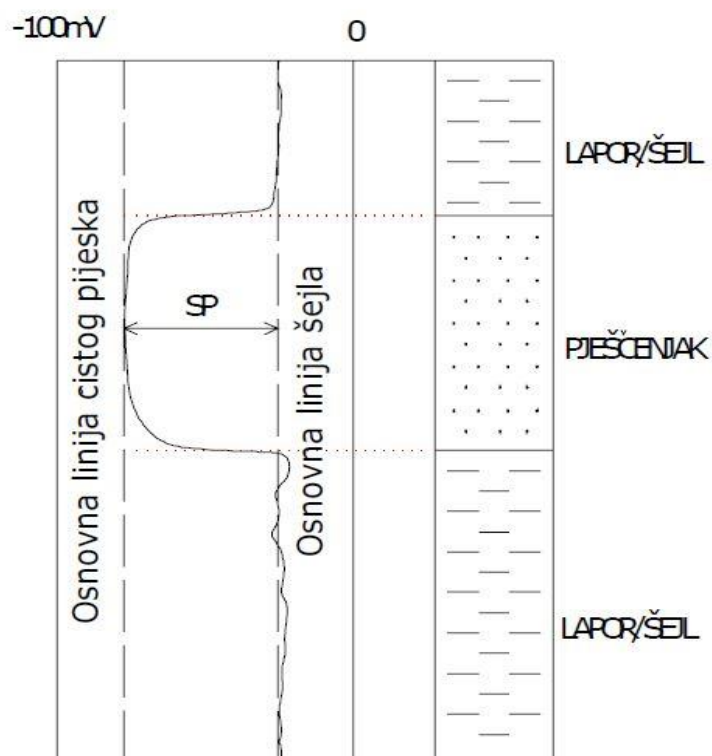
GODINE (u milijunima)	STAROST	LITO-STRATIGRAFIJA	REPERNI SLOJEVI	MEGACIKLUS (Velić et al., 2002)	TEKTONIK A (Malvić i Velić, 2011)	TALOŽNI OKOLIŠI	SHEMATSKI PRIKAZ LITOLOGIJE I LEGENDA
5.6-0.0	KVARTAR			TREĆI MEGACIKLUS	DRUGA KONVERGENTNA FAZA	ALUVIJALNO-KOPNENI	 glina  pjeskovita glina  pjesčenjak  laporoviti pjesčenjak  siltni pjesčenjak  lapor i pjesčenjak
	PLIOCEN						
6.3-5.6	MIOCEN	GORNJI PONT		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	 lapor  glinoviti lapor  breče i konglomerati  kalcitni lapor
		DONJI PONT					
7.1-6.3	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	 lapor  glinoviti lapor  breče i konglomerati  kalcitni lapor
DONJI PANON							
9.3-7.1	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	 lapor  glinoviti lapor  breče i konglomerati  kalcitni lapor
DONJI PANON							
11.5-9.3	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	 lapor  glinoviti lapor  breče i konglomerati  kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	 lapor  glinoviti lapor  breče i konglomerati  kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	 lapor  glinoviti lapor  breče i konglomerati  kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	 lapor  glinoviti lapor  breče i konglomerati  kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	lapor glinoviti lapor breče i konglomerati kalcitni lapor
DONJI PANON							
16.4-11.5	MIOCEN	GORNJI PANON		DRUGI MEGACIKLUS	DRUGA DIVERGENTNA FAZA	BOČATA-SLATAKA VODA	

Slika 3-4. Shematski geološki stup Savske depresije (prema Novak Zelenika et al., 2013)

4. TEORIJA ELEKTRIČNE KAROTAŽE

Braća Conrad i Marcel Schlumberger svojim su inovacijama znatno pridonijeli elektrokarotaži. 1926. godine osnovali su tvrtku Schlumberger te su već sljedeće godine, projektom spuštanja jednostavne električne sonde u bušotinu (Pechelbronn, Njemačka), snimili prve karotažne dijagrame. U početku, mjerenja nisu vršena kontinuirano, nego je sonda mjerila u određenim intervalima, a rezultati mjerenja su prikazani jednostavnom krivuljom. Otkriće spontanog potencijala dovelo je do brojnih novih mogućnosti. Spontani potencijal je registrirana razlika u potencijalima između neke površinske elektrode i u bušotinu spuštene elektrode. Vrijednost spontanog potencijala ovisi o vrsti nabušene ili probušene stijene, tekućini što zasićuje tu stijenu i o isplaci koja se nalazi u bušotini. Spontani potencijal je posljedica elektromotornih sila elektrokemijskog podrijetla i elektrofiltracije. Podjela elektrokarotaže bazira se na vrsti izvora električnog polja; prirodna električna polja (npr. metoda prirodnog potencijala), izazvana odnosno inducirana električna polja (npr. metode otpornosti, metoda inducirane polarizacije) (**Orešković, 2012**).

Konvencionalna elektrokarotažna metoda ima svoje nedostatke. U slučaju tankih slojeva na mjerenu otpornost veliki utjecaj imaju okolni slojevi, tako da mjerena otpornost odstupa od stvarne vrijednosti otpornosti. Nadalje, prilikom korištenja različitih vrsta isplake u raznim bušotinama oblik SP krivulje bit će različit te će pješčenjaci s naftom ili plinom pokazivat pomak krivulje SP prema „osnovnoj liniji lapora" (**Resanović, 2013**).



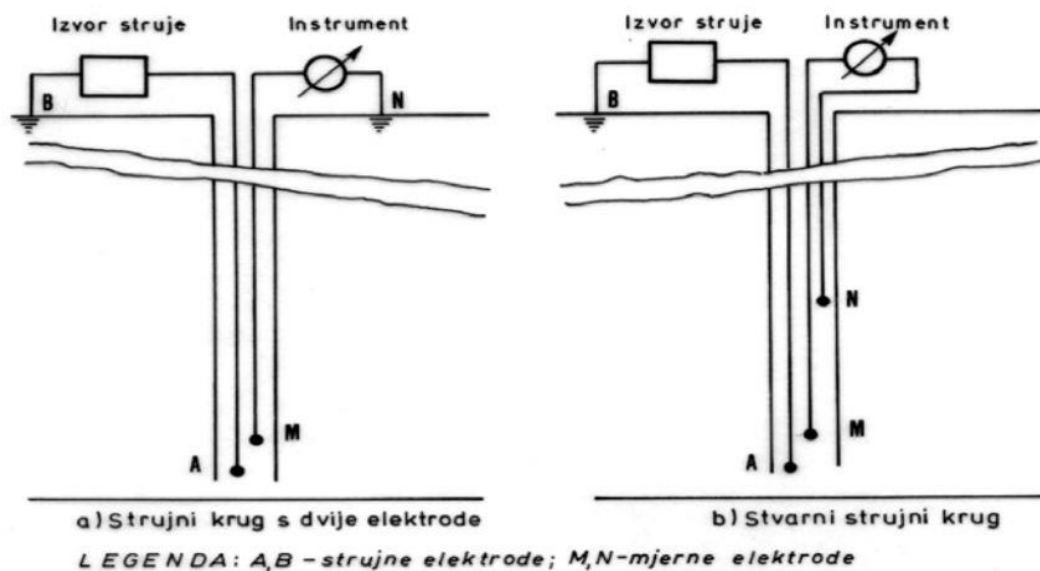
Slika 4-1. Izgled krivulje SP-a s pripadajućim osnovnim linijama pješčenjaka i lapora(šejla) te određena litologija (prema **Velić, 2007**)

Dijagram spontanog potencijala koristi se za određivanje granica propusnih i nepropusnih naslaga, posebno kod homogenih izmjena propusnih pješčenjaka i nepropusnih lapora. U nepropusnim, klastičnim litologijama (lapor, šejl) krivulja ima približno stalnu vrijednost, dok u propusnim intervalima dolazi do odklona od osnovne linije nepropusnih stijena.

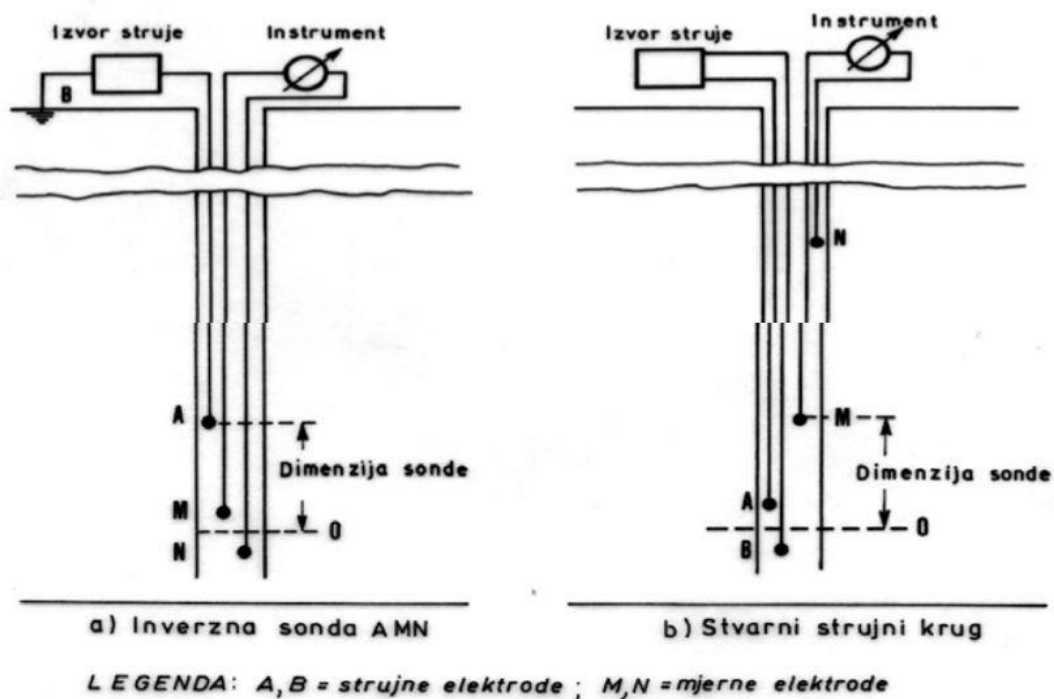
4.1 Uređaji za mjerenje električne otpornosti stijena i fluida

Klasični elektrokarotazni uređaji sastoje se od četiri elektrode (dvije strujne elektrode i dvije potencijalne elektrode). Teoretski, dvije elektrode se spuštaju u bušotinu, a dvije se nalaze na površini. U praksi se i druga potencijalna elektroda spušta u bušotinu, ali na određenoj udaljenosti od prve mjerne elektrode (**Orešković, 2012**). Prema rasporedu elektroda postoje dvije glavne vrste ovog uređaja, to su normalna sonda i inverzna sonda. Normalna sonda mjeri električnu otpornost na nekoj udaljenosti od strujne elektrode, dok inverzna sonda mjeri razliku otpornosti na određenoj udaljenosti od strujne elektrode. Dubina prodiranja struje ovisi o razmaku elektroda spuštenih u bušotinu. Najčešće su

korištene sonde dviju dimenzija, i to su mala normala, duljine oko 40 cm koja se koristi za određivanje granica slojeva. Druga je velika normala, duljine oko 160 cm, a radijus mjerenja je veći od 3 m pa omogućuje procjenu otpornosti netaknute zone kod debljih slojeva, no nedostatak bi bio manja vertikalna razlučivost.

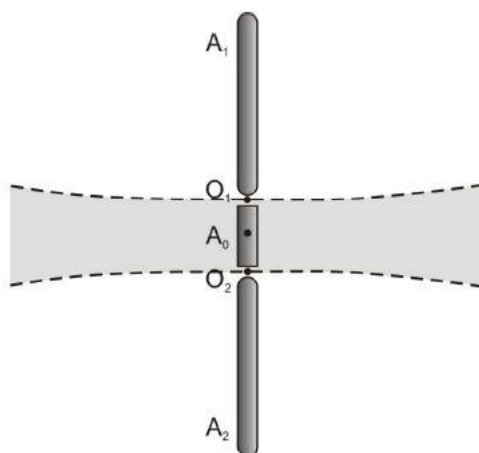


Slika 4-2. Shematski prikaz normalne sonde (Malvić & Velić, 2008)



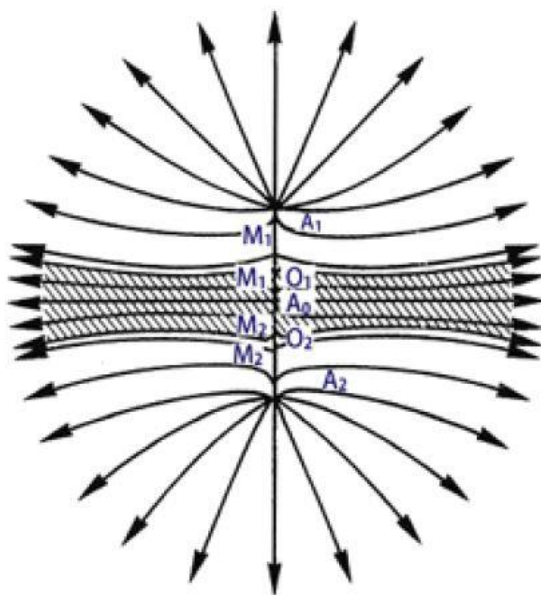
Slika 4-3. Shematski prikaz inverzne sonde (Malvić & Velić, 2008)

Nakon normalnih i inverznih sondi, dolazi do razvoja fokusiranih mjerenja, tj. uređaja laterologa. U stijenu se emitira struja usmjerena okomito na stijenu bušotine, time se povećava dubinski zahvat i razlučivost mjerenja. Vrlo točno se može procijeniti prava otpornost sloja ili otpornost netaknute zone. Upotrebljavaju se uređaji s 3, 7 ili 8 elektroda (LL3, LL7, LL8). Također, u upotrebi su dvojni laterolog (DLL), sferično fokusirani laterolog (SFL) te mikrolaterolog (MLL). Laterolog-3 (LL3) sastoji se od dugačke cilindrične elektrode podijeljene na 3 dijela; na sve tri elektrode se ostvaruje jednaki potencijal (**Slika 4-4**). Središnja elektroda je mjerna elektroda i duljina joj je oko 30 cm, a druge dvije elektrode su kontrolne (duljine oko 1,5 m) za održavanje konstantnog potencijala. Na sve tri strujne elektrode pušta se struja istog polariteta, održava se jednaki potencijal na sve tri elektrode pa nema toka struje između elektroda. Potencijal na elektrodama je proporcionalan otpornosti sloja koji se nalazi u ravnini, suprotno od središnje elektrode.



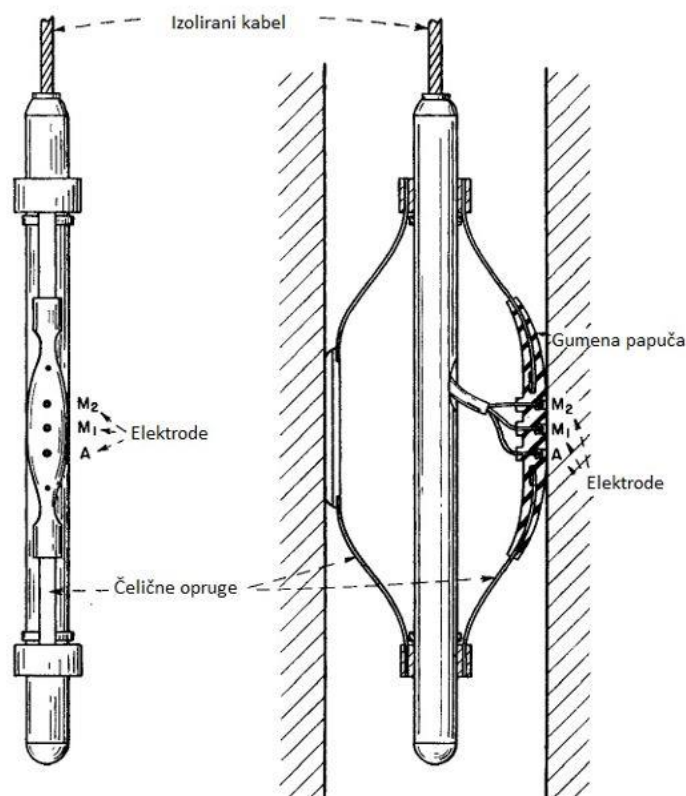
Slika 4-4. Laterolog-3 (prema Doll, 1951)

Laterolog-7 (LL7) se sastoji od središnje strujne elektrode i 3 para kratko spojenih elektroda simetrično razmještenih oko središnje elektrode (**slika 4-5**). Struja istog polariteta pušta se na mjernu i kontrolne strujne elektrode. Na potencijalnim elektrodama održava se jednaki potencijal mijenjanjem intenziteta struje na kontrolnim elektrodama. U smjeru potencijalnih elektroda nema toka struje jer nema razlike potencijala. Iz središnje elektrode struja je konstantne jakosti, što znači da razlika potencijala između jedne od potencijalnih elektroda i beskonačno udaljene elektrode je proporcionalna otpornosti slojeva (**Orešković, 2012**).



Slika 4-5. Laterolog-7 (Schlumberger, 1997)

Nakon laterologa razvijene su mikrosonde, odnosno sonde s malim razmakom elektroda. Njihova glavna primjena je za mjerenje malih volumena u blizini stijenke bušotine te za određivanje otpornosti isprane zone i precizne debljine sloja (**Orešković, 2012**). Upotrebljavaju se mikrolog (skr. ML), mikrolaterolog (skr. MLL) te mikrosferični fokusirani laterolog (skr. MSFL). Kod mikrologa elektrode su smještene na papučici koja je pritisnuta uz stijenku bušotine (**slika 4-6**), kako bi se umanjio utjecaj uvjeta u bušotini (isplake i isplačnog kolača) (**Orešković, 2012**). Elektrode su međusobno vertikalno udaljene 0,25 cm, a spojene su tako da mogu mjeriti na dva načina; kao mikronormala (dublji zahvat) i kao mikroinverzna (plići zahvat). Kvalitetno mjerenje mikrologom uvjetuje da debljina isplačnog obloga bude manja od 0,12 cm te dubina prodiranja isplake veća od 10 cm. Mikrolaterolog se ne koristi za određivanje granica propusnih i nepropusnih intervala, nego za procjenu električne otpornosti isprane zone.



Slika 4-6. Mikrolog s prikazom raspodjela elektroda (Doll, 1950)

4.2 Jednadžbe za izračun šupljikavosti i zasićenja iz vrijednosti električnih otpornosti

Mjerenje otpornosti u bušotini daje ukupnu vrijednost otpornosti minerala i fluida. Pješčenjaci, vapnenci, dolomiti odlikuju se visokom otpornošću (više od $10^6 \Omega\text{m}$), kao i vrijednosti otpornosti plinskih i tekućih ugljikovodika. Otpornost slojne vode opada s porastom dubine zbog povećanja koncentracije iona i temperature. Kvantitativni odnos između otpornosti i šupljikavosti izražen je **jednadžbom 4-1**:

$$\frac{R_o}{R_w} = \frac{1}{\Phi} \quad (4-1)$$

gdje su:

R_o - električna otpornost stijene potpuno zasićene slojnom vodom, Ωm ,

R_w - električna otpornost slojne vode, Ωm ,

Φ - šupljikavost stijene, dio jedinice.

Otpornost pješčenjaka i slojne vode konstantna je i kontrolirana šupljikavošću preko **jednadžbe 4-2:**

$$F = \frac{R_o}{R_w} \quad (4-2)$$

Ovaj odnos nazvan je faktor formacije (F), nadalje **Archie (1942.)** daje prilagođenu **jednadžbu 4-3:**

$$F = \frac{1}{\Phi^m} \quad (4-3)$$

Gdje su:

Φ - šupljikavost stijene, dio jedinice,

m - eksponent cementacije, a njegovi iznosi za pojedine stijene su sljedeći:

1,3 - nekonsolidirani pijesci,

1,4-1,5- vrlo slabo cementirani pješčenjaci,

1,6-1,7- slabo cementirani pješčenjaci,

1,8-1,9 - srednje cementirani pješčenjaci,

2,0-2,2 - jako cementirani pješčenjaci.

Uporaba Archieve jednadžbe u praksi je ograničena radi potrebe za definiranjem iznosa cementacijskog faktora m , što zahtjeva poznavanje strukture pješčenjaka. **Winsauer (1952)** je iznio sljedeću **jednadžbu 4-4**:

$$F = \frac{a}{\Phi^m} \quad (4-4)$$

gdje su:

- a - korigirajući izraz,
- m - konstanta cementacije
- Φ - šupljikavost stijene, dio jedinice,

Nadalje, dobivena je Humbleova jednadžba:

$$F = \frac{0,62}{\Phi^{2,15}} \quad (4-5)$$

- Φ - šupljikavost stijene, dio jedinice,

Archie je 1952. godine ustvrdio kako su vrijednost faktora formacije te šupljikavosti u većini vapnenaca u skladu s linearnom funkcijom na logaritamskoj skali. U vapnencima je puno veća promjenjivost pornih struktura te je predložio **jednadžbu 4-6**:

$$F = \frac{1}{\Phi^2} \quad (4-6)$$

- Φ - šupljikavost stijene, dio jedinice.

Ova jednadžba aproksimacija je za uobičajenije karbonate međuzrnaste i međukristalne šupljikavosti. Karbonati u ranoj fazi svog postanka, taloženja, imaju šupljikavost veću od 40 %, a nakon dijageneze šupljikavost pada na samo nekoliko posto (npr. **Malvić, 2008**). **Chambert (1960)** je predložio nekoliko vrijednosti faktora cementacije za različite karbonate:

- 1,8-20 - za kristalinske i zrnate karbonate,
- 1,7-1,9 – za kredne vapnence,
- 2,1-2,6 – za karbonate s naknadnim šupljinama.

U stvarnosti, sve su naftonosne stijene obilježene djelomičnim nepovratnim zasićenjem vodom zbog tankog filma vode preko površine matriksa. Indeks otpornosti (I) određen je jednadžbom:

$$I = \frac{R_t}{R_o} \quad (4-7)$$

gdje su:

R_t - električna otpornost netaknute zone, Ωm ,

R_o - električna otpornost stijene potpuno zasićene slojnom vodom, Ωm .

Archie je 1942. dao odnos između indeksa otpornosti i zasićenja vodom:

$$I = \frac{1}{S_w^n} \quad (4-8)$$

gdje su:

S_w - zasićenje stijene vodom, dio jedinice,

n - eksponent zasićenja, bezdimenzionalna veličina

Eksperimentalnim metodama u laboratoriju, određuje se vrijednost n između 1,8 i 2,5, a prilikom izračuna korištena je vrijednost $n=2$.

5. PRIMJERI ELEKTROKAROTAŽNIH KRIVULJA KLASTIČNIH LITOFACIJESA TRIJU LEŽIŠTA U SJEVERNOJ HRVATSKOJ

Određivanje otpornosti naslaga na željenoj dubini definirano je krivuljom velike normale. Otklon krivulje spontanog potencijala na kontaktu između propusnog i nepropusnog sloja određuje gornje i donje granice intervala u kojima se nalaze pješčenjaci, a otpornost je očitavana svakih 2,5 m dubine, osim na lokaciji Šandrovac gdje je otpornost očitavana svakih 5 m dubine. Za određivanje otpornosti naslaga na određenoj dubini vrlo korisna je primjena dijagrama konvencionalne elektrokarotaže, a posebno krivulja R64, tj. velika normala. Za računanje šupljikavosti korišten je izraz izveden iz Archieve jednadžbe:

$$\Phi = \sqrt{\frac{R_t}{R_w}}, \text{ odnosno } \Phi = \sqrt{\frac{R_o}{R_w}}$$

gdje su:

Φ - šupljikavost, dio jedinice,

R_t - električna otpornost netaknute zone, Ωm ,

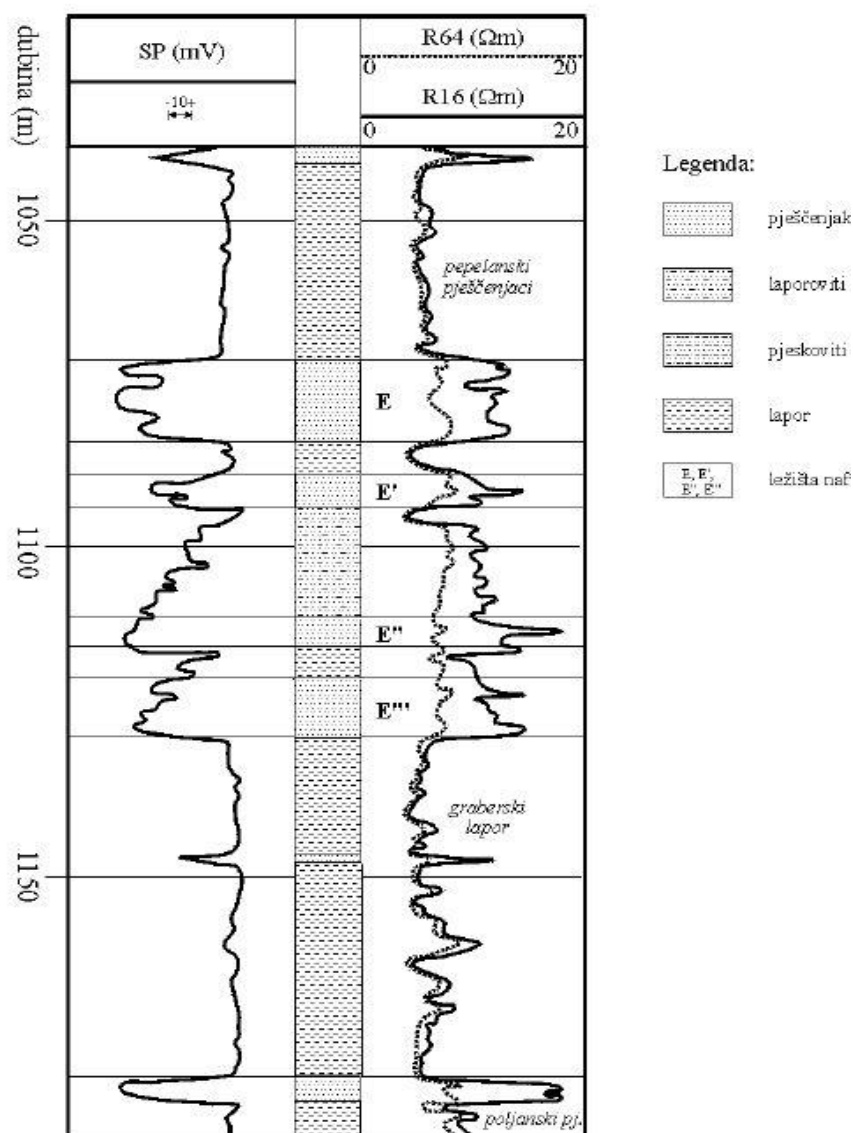
R_w - električna otpornost slojne vode, Ωm .

R_o - električna otpornost stijene potpuno zasićene slojnom vodom, Ωm ,

Za električnu otpornost slojne vode uzeta je vrijednost od 0,127 Ωm .

5.1. Polje Šandrovac

Kako bi bilo moguće računanje šupljikavosti, potrebno je izvršiti elektrokarotažno mjerenje spontanog potencijala te nakon toga odrediti maksimalne i minimalne vrijednosti intervala pješčenjaka. Mjerenja su bila dostupna u disertaciji **Malvić (2003)** i načinjena su normalnom sondom velike normale, tj. R64.

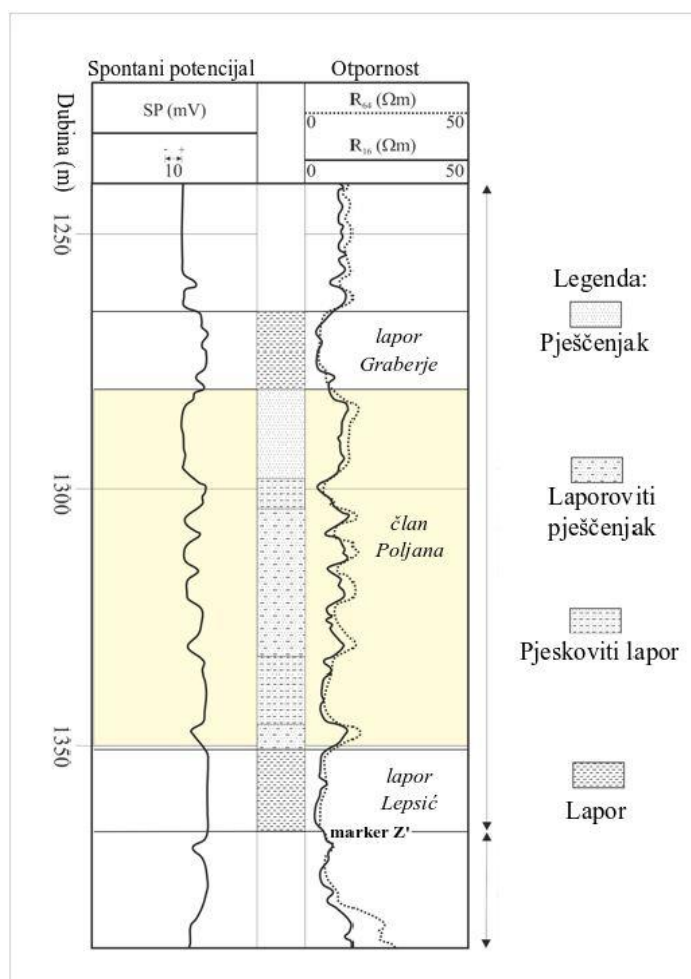


Slika 5-1. Dijagram konvencionalne elektrokarotaže pepelanskih pješčenjaka u bušotini Ša-167α (**Malvić, 2013**)

Tablica 5-1. *Vrijednosti indeksa otpornosti i šupljikavosti po dubinama u bušotini Ša-167a*

Dubina (m)	Rt/Ro ($\Omega \times m$)	Šupljikavost (%)
1050	5	15,94
1055	5	15,94
1060	6	14,55
1065	5	15,94
1070	6	14,55
1075	8	12,6
1080	7	13,47
1085	5	15,94
1090	8	12,6
1095	4	17,82
1100	4	17,82
1105	7	13,47
1110	7	13,47
1115	7	13,47
1120	7	13,47
1125	7	13,47
1130	6	14,55
1135	5	15,94
1140	4	17,82
1145	4	17,82
1150	4	17,82
1155	6	15,94
1160	8	12,6
1165	6	14,55
1170	7	13,47
1175	5	15,94

analizom uzoraka jezgri tj. litotipovi prethodno nisu smatrani ležištima iako se nalazi na migracijskim putovima ugljikovodika (**Malvić, 2003**).



Slika 5-3. Dijagram konvencionalne elektrokarotaže iz bušotine Cre-2 (prilagođeno prema **Malvić, 2013**)

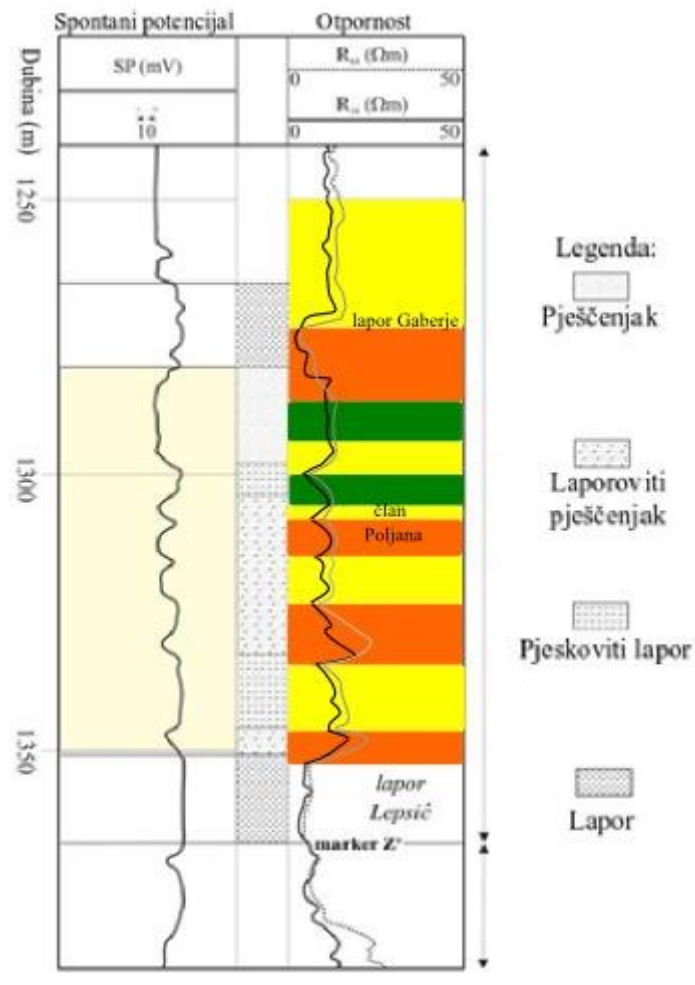
Tablica 5-2. *Vrijednosti otpornosti i šupljikavosti po dubinama iz bušotine Cre-2*

Dubina (m)	Rt/Ro (Ω m)	Šupljikavost (%)	Dubina (m)	Rt/Ro (Ω m)	Šupljikavost (m)
1250	14	9,52	1300	6	14,55
1252,5	12	10,29	1302,5	9	11,88
1255	13	9,88	1305	15	9,2
1257,5	14	9,52	1307,5	10	11,27
1260	11	10,74	1310	10	11,27
1262,5	14	9,52	1312,5	15	9,2
1265	8	12,6	1315	13	9,88
1267,5	5	15,94	1317,5	10	11,27
1270	5	15,94	1320	15	9,2
1272,5	4	17,82	1322,5	14	9,52
1275	4	17,82	1325	9	11,88
1277,5	6	14,55	1327,5	11	10,74
1280	7	13,47	1330	14	9,52
1282,5	15	9,2	1332,5	10	11,27
1285	15	9,2	1335	9	11,88
1287,5	14	9,52	1337,5	8	12,6
1290	14	9,52	1340	6	14,55
1292,5	12	10,29	1342,5	6	14,55
1295	11	10,74	1345	9	11,88
1297,5	8	12,6	1347,5	16	8,91

Za provjeru ručnih očitavanja otpornosti, za strukturu Cremušina korišten je također program *PlotDigitizer* koji dijagrame u slikovnom obliku pretvara u digitalni oblik, kako bi bili što čitljiviji. Ovaj program omogućava digitalizaciju skeniranog dijagrama (bilo u GIF, JPEG ili PNG formatu) korištenjem samo klika miša na birane točke dijagrama. Rezultati, zatim mogu biti spremljeni u tekstualnom obliku te korišteni u daljnje svrhe. *PlotDigitizer* radi i s linearnim i s logaritamskim skalama. Osim za digitalizaciju određenih točaka dijagrama, ovaj program se koristi i za digitalizaciju i ostalih tipova skeniranih podataka. Rezultati programa *PlotDigitizer* dali su približno jednake rezultate kao i ručna očitavanja otpornosti što je i prikazan **Tablici 5-3**.

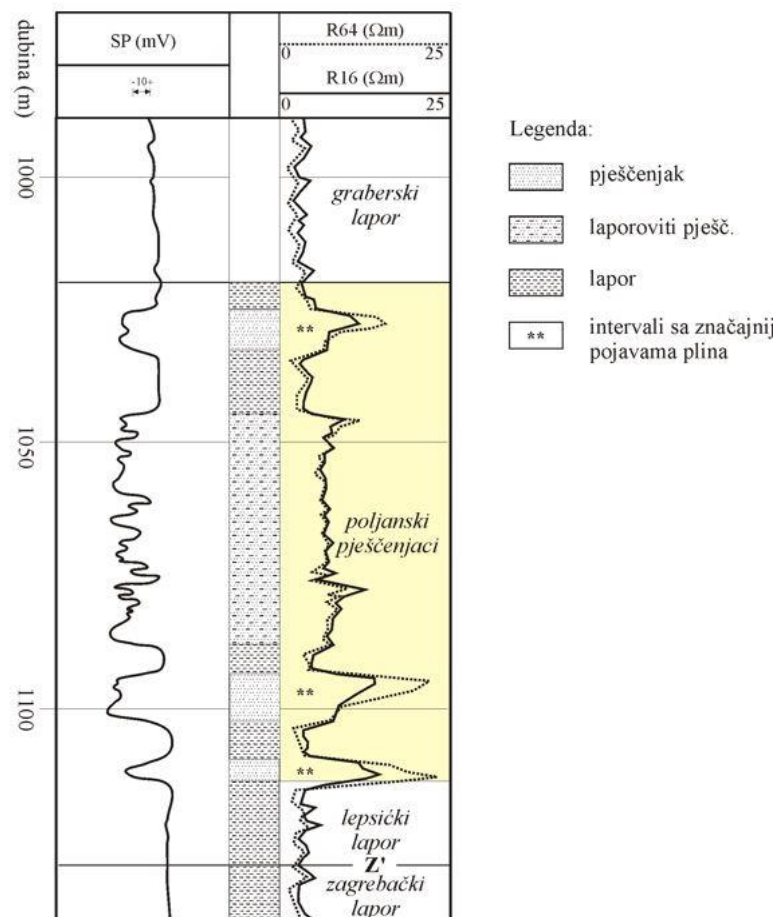
Tablica 5-3. *Vrijednosti otpornosti i šupljikavosti po dubinama u bušotini Cre-2 očitane uz pomoć programa PlotDigitizer*

Dubina (m)	Rt/Ro (Ω m)	Šupljikavost (%)	Dubina (m)	Rt/Ro (Ω m)	Šupljikavost (%)
1250	14	9,52	1300	5	15,94
1252,5	12	10,29	1302,5	10	11,27
1255	13	9,88	1305	15	9,2
1257,5	13	9,88	1307,5	8	12,6
1260	12	10,29	1310	10	11,27
1262,5	14	9,52	1312,5	15	9,2
1265	10	11,27	1315	14	9,52
1267,5	5	15,94	1317,5	11	10,47
1270	3	20,58	1320	14	9,52
1272,5	4	17,82	1322,5	14	9,52
1275	4	17,82	1325	9	11,88
1277,5	6	14,55	1327,5	13	9,88
1280	7	13,47	1330	14	9,52
1282,5	14	9,52	1332,5	9	11,88
1285	15	9,2	1335	7	13,47
1287,5	14	9,52	1337,5	8	12,6
1290	13	9,88	1340	6	14,55
1292,5	12	10,92	1342,5	6	14,55
1295	11	10,74	1345	11	10,47
1297,5	7	13,47	1347,5	16	8,91



Slika 5-4. Elektrokarotažna krivulja iz bušotine Cre-2 s označenim intervalima izračunate šupljikavosti (žutom bojom označeni su intervali 0-10 %, narančastom bojom intervali 10-15 %, a zelenom bojom intervali veći od 15%)

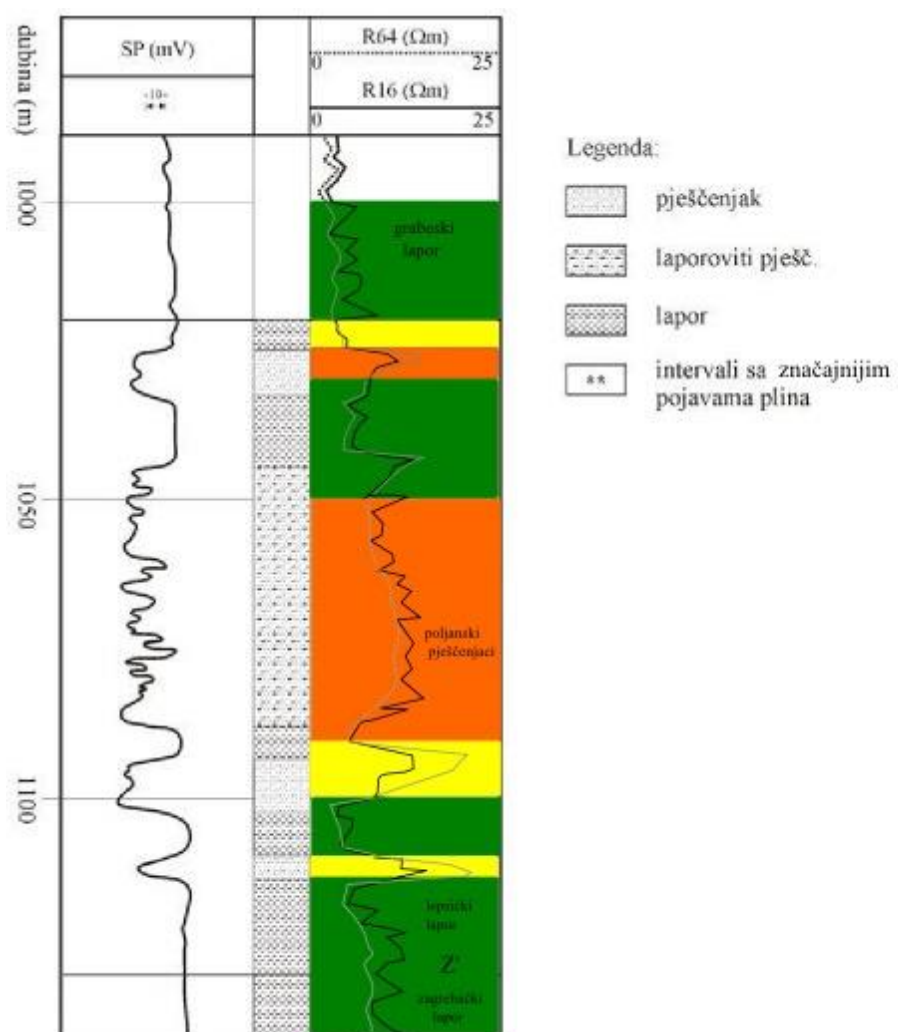
5.3. Struktura Gakovo



Slika 5-5. Dijagram konvencionalne elektrokarotaže poljanskih pješčenjaka u bušotini Gak-1 (Malvić, 2003)

Tablica 5-4. *Vrijednosti otpornosti i šupljikavosti po dubinama u bušotini Gak-1*

Dubina (m)	Rt/Ro (Ω m)	Šupljikavost (%)	Dubina (m)	Rt/Ro (Ω m)	Šupljikavost (%)
1000	2	17,82	1067,5	7	13,47
1002,5	2	17,82	1070	7	13,47
1005	1,5	29,1	1072,5	7	13,47
1007,5	2,5	14,25	1075	7	13,47
1010	1,5	29,1	1077,5	10	11,27
1012,5	3	20,58	1080	7	13,47
1015	2,5	14,25	1082,5	7	13,47
1017,5	3	20,58	1085	7	13,47
1020	3,5	19,05	1087,5	8	12,6
1022,5	3,5	19,05	1090	4	17,82
1025	5	15,94	1092,5	10	11,27
1027,5	13	9,88	1095	20	7,97
1030	10	11,27	1097,5	12	10,29
1032,5	7	13,47	1100	8,5	12,22
1035	3,5	19,05	1102,5	5,5	15,2
1037,5	3,5	19,05	1105	2	25,2
1040	4	17,82	1107,5	3	20,58
1042,5	3	20,58	1110	16,5	8,77
1045	3	20,58	1112,5	20	7,97
1047,5	13	9,88	1115	2	25,2
1050	7	13,47	1117,5	4	17,82
1052,5	6	14,55	1120	4	17,82
1055	6	14,55	1122,5	2	25,2
1057,5	7	13,47	1125	4	17,82
1060	6	14,55	1127,5	2	25,2
1062,5	7	13,47	1130	4	17,82
1065	7	13,47	1132,5	2	25,2



Slika 5-6. Elektrokarotažna krivulja iz bušotine Gak-1 s označenim intervalima izračunate šupljikavosti (žutom bojom označeni su intervali 0-10 %, narančastom bojom intervali 10-15 %, a zelenom bojom intervali veći od 15 %)

6. DISKUSIJA O OBLICIMA KRIVULJA, IZRAČUNATIM VRIJEDNOSTIMA

Na **slici 5-2.** prikazan je oblik krivulje spontanog potencijala serija ležišta koja su se formirala unutar pješčenjaka Pepelana te su međusobno odvojeni izolatorskim laporima. Uočeni su karakteristični zvonasti i cilindrični ocrti krivulje spontanog potencijala pješčenjaka taloženih u različitim taložnim okolišima (**Malvić, 2003**). Ono što razlikuje polje Šandrovac od ostalih polja je vrlo velika količina faze CO₂, pogotovo u ležištima E i E'. Velike su oscilacije u udjelu faze CO₂ u dobivenom plinu kada se promatraju i uspoređuju zapadni i istočni dio, dok na zapadnom dijelu polja udjel faze CO₂ je između 50 % i 80 %, na istočnom dijelu je njegov udjel zanemariv (ispod 0,2 %).

Karotažni dijagram na **slici 5-3.** može se razmatrati kao primjer izrazite okomite litološke promjenjivosti. Na tom geografski malom plinskom polju nije bilo moguće niti u bliskim bušotinama korelirati sve istovrsne ležišne stijene, posebno u mlađem dijelu poljanskih pješčenjaka (**Malvić, 2013**).

Iako se smatra da cijelom Dravskom depresijom dominiraju pješčenjaci (**Velić, 2007**), to zapravo odgovara samo središnjem dijelu depresije gdje prevladavaju pješčenjaci čija šupljikavost prelazi i 15 %. U strukturi Cremušina vidljivo je odstupanje jer se udio pješčenjaka smanjuje, a od prisutnih pješčenjaka radi se o laporovitim i sitnozrnatim pješčenjacima. Upravo takvi slabopropusni, prijelazni litofacijesi svojstveni su za cijeli jugozapadni dio Dravske depresije, točnije Bjelovarsku subdepresiju.

U bušotini Ša-167α otpornost je očitavana na 26 različitih dubina. Srednja šupljikavost iznosila je 15,04 %, a medijanska vrijednost 14,55 %. Najveća vrijednost šupljikavosti bilježila je 17,82% dok je najmanja vrijednost šupljikavosti zabilježena 12,6 %, a varijanca je iznosila 3,09 %. Iz bušotine Gak-1 izvršeno je očitavanje na 53 različite dubine, u bušotini Cre-2 na 40 dubina.

Srednja šupljikavost u bušotini Gak-1 iznosila je 16,32 % što je više od srednje šupljikavosti pješčenjaka u bušotini Cre-2 koja je izračunata 11,59 %. Najveća vrijednost u bušotini Gak-1 doseže čak 29,1 % šupljikavosti, dok je minimalna vrijednost bila 7,97%. U bušotini Cre-2 najveća izmjerena vrijednost šupljikavosti iznosila je 17,82 %, a najmanja 8,91 %. Medijanska vrijednost u bušotini Gak-1 bilježi 14,55%, a u bušotini Cre-2 11 %.

Šupljikavost manja od 10% prisutna je u dijelovima pješčenjaka gdje je veliki udio laporovite komponente. Slabo propusne zone karakteristične su za starije dijelove poljanskih pješčenjaka, a u bušotini Gak-1 to je interval između 1080 i 1095 metara dubine, dok u

bušotini Cre-2 to je najbolje vidljivo između dubina 1335 i 1342 metra. Razlog ovako malih vrijednosti šupljikavosti u bušotinama Cre-2 i Gak-1 je ponajviše taj što se radi o laporovitim pješčenjacima koji u sebi sadrže pelitne čestice. Veći udjel pelitnih čestica unutar pješčenjaka znači veći udjel čestica koje mogu predstavljati matriks, a otapanjem i cement te tako ispunjavaju šupljine. Također, iz krivulja električne otpornosti računa se približna efektivna, a ne ukupna šupljikavost.

7. ZAKLJUČAK

Krivulje otpornosti korištene su za izračun šupljikavosti, no poprilično su ovisne o vrsti zasićenja u tim šupljinama. Vrijednosti šupljikavosti iz krivulja otpornosti ne mogu izravno ukazivati na vrstu stijene kod izmjene lapor i pješčenjak, jer pješčenjaci zasićeni plinom će imati veću otpornost od onih zasićenih naftom, a pješčenjaci zasićeni naftom će imati veću otpornost od pješčenjaka zasićenih vodom. Zato se u elektrokarotažnim dijagramima javljaju zone lapora iako SP pokazuje da se radi o čistom pješčenjaku. Zbog tih razloga se krivulje spontanog potencijala i otpornosti uvijek gledaju zajedno kod interpretacije litologije. Uz to za očitavanje otpornosti i šupljikavosti u bušotini Cre-2 korišten je računalni program PlotDigitizer koji uvelike olakšava očitavanje te je vrlo jednostavan za korištenje. jer radi samo s mišem, nakon učitavanja slike karotažnog dijagrama dovoljno je samo kalibrirati ga tako da se označi početak apscisne i ordinatne osi te klikom miša pratiti krivulju velike normale. Program sadrži nekoliko vrlo korisnih svojstava, tako na primjer moguće je rekalibrirati ordinatnu os bez rekalibriranja apscisne osi, također moguće je naknadno dodavati točke na dijagramu između već dvije odabrane točke te naknadno brisati točke i pomicati ih jednostavno povlačenjem miša. Zbog vrlo jednostavnog korištenja i ubrzavanja očitavanja dijagrama svakako bih preporučio ovaj program ostalim studentima.

8. POPIS LITERATURE

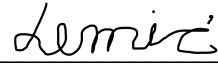
1. ARCHIE, G. E. (1942): The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. *Trans. Am. Inst. Min. Metall. Eng.*, 146, 54-62.
2. ARCHIE, G. E. (1952): Classification of Carbonate Reservoir Rocks and Petrophysical Considerations. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 36, 278-298.
3. ĆORIĆ, S., PAVELIĆ, D., ROGL, F., MANDIĆ, O., VRABAC, S., AVANIĆ, R., JERKOVIĆ, L., VRANJKOVIĆ, A. (2009): Revised Middle Miocene datum for initial marine flooding of North Croatian Basins (Pannonian Basin System, Central Paratethys). *Geologia Croatica*, 62, 1, 31-34.
4. DOLL, H. G. (1950): The microlog – a new electrical logging method for detailed determination of permeable beds. *Journal of petroleum technology*, 3, str. 305-316.
5. DOLL, H. G. (1951): The laterolog: a new resistivity logging method with electrodes using an automatic focusing system. *Journal of petroleum technology*, 3, str. 305-316.
6. JURIĆ, I. (2018): Geološka građa i evolucija konvencionalnih klastičnih ležišta ugljikovodika gornjega miocena Savske depresije, Završni rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
7. MALVIĆ, T. (1998): Strukturni i tektonski odnosi te značajke ugljikovodika širega područja naftnoga polja Galovac – Pavljani (sa proširenim engleskim sažetkom), Magistarski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 111 str., Zagreb.
8. MALVIĆ, T. (2003): Naftnogeološki odnosi i vjerojatnost pronalaska novih zaliha ugljikovodika u bjelovarskoj uleknini. Disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 123 str., Zagreb.
9. MALVIĆ, T. (2003): One-dimensional variogram and statistical analysis in reservoir units of the Bjelovar sag, Croatia. *Nafta*, 54, 7-8, 267-274.
10. MALVIĆ, T. (2006): Middle Miocene depositional model in the Drava Depression described by geostratigraphical porosity and thickness maps (case study: Stari Gradac-Barcs Nyugat Field). *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 18, 63-70, Zagreb.
11. MALVIĆ, T. (2011): Geological maps of Neogene sediments in the Bjelovar Subdepression (Northern Croatia). *Journal of Maps*, 7, 304-317.

12. MALVIĆ, T. (2012): Review of Miocene shallow marine and lacustrine depositional environments in Northern Croatia. *Geological quarterly*, 56, 3, 493-504.
13. MALVIĆ, T. (2015): Bjelovarska subdepresija kao prostor s konvencionalnim i nekonvencionalnim ležištima ugljikovodika te geotermalnom energijom. *Radovi Zavoda za znanstvenoistraživački i umjetnički rad u Bjelovaru*, sv. 9, 161-186.
14. MALVIĆ, T. & CVETKOVIĆ, M. (2013): Korelacija litostratigrafskih jedinica u Dravskoj depresiji (hrvatski i mađarski dio). *Nafta*, 64, 1, 34-38.
15. MALVIĆ, T. (2016): Regional turbidites and turbiditic environments developed during Neogene and Quaternary in Croatia. *De Gruyter Open*, 63, 39-54.
16. MALVIĆ, T., SUČIĆ, A., CVETKOVIĆ, M., RESANOVIĆ, F., VELIĆ, J. (2014): Low permeability Neogene lithofacies in Northern Croatia as potential unconventional hydrocarbon reservoirs. *Central European Journal of Geosciences*.
17. NOVAK ZELENKA, K, MALVIĆ, T. (2011): Stochastic simulations of dependent geological variables in sandstone reservoir of Neogene age: a case study of Kloštar Field, Sava Depression, *Geologia Croatica*, 64, 2, 225-233.
18. NOVAK ZELENKA, K, MALVIĆ, T. (2013): Utvrđivanje sekvencijskim indikatorskim metodama slabopropusnih litofacijesa kao vrste nekonvencionalnih ležišta ugljikovodika na primjeru polja Kloštar, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, vol. 28, 23-38.
19. NOVAK ZELENKA, K., MALVIĆ, T., GEIGER, J. (2010): Mapping of the Late Miocene sandstone facies using indicator kriging. *Nafta*, 61, 5, 225-233.
20. OREŠKOVIĆ, J. (2012): Električna mjerenja (Elektrokarotaža), *Rudarsko-geološko-naftni fakultet*, Zagreb.
21. RESANOVIĆ, F. (2013): Teorija i primjena kvalitativne i kvantitativne interpretacije karotažnih krivulja otpornosti, *Završni rad*, *Rudarsko-geološko-naftni fakultet*, *Sveučilište u Zagrebu*, Zagreb.
22. ROYDEN, L. H. (1988): Late Cenozoic tectonics of the Pannonian Basin System. U: ROYDEN, L. H., HORVATH, F. (ur.) *The Pannonian Basin*. Tulsa & Budapest: AAPG and Hungarian Geol. Soc., 27-49.
23. SCHLUMBERGER (1997): *Log interpretation Charts*, Houston, TX.
24. VELIĆ, J. (2007): *Geologija ležišta nafte i plina*. Zagreb: *Rudarsko-geološko-naftni fakultet*, 342 str., Zagreb.

25. VELIĆ, J., MALVIĆ, T., CVETKOVIĆ, M. (2015): Geologija i istraživanje ležišta ugljikovodika. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 144 str., Zagreb.
26. VIDIĆ, M. (2018): Nekonvencionalna ležišta u hrvatskom dijelu Panonskoga bazenskog sustava- podrijetlo, sastav i petrofizikalna svojstva, Završni rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
27. VRBANAC, B. (2002): Facies and facies architecture of the Ivanić Grad Formation (Late Pannonian)- Sava Depression, NW Croatia. *Geologica Croatica*, 55, 1, 57-77.
28. VRBANAC, B., VELIĆ, J., MALVIĆ, T. (2010): Sedimentation od deep-water turbidites in main and marginal basins in the SW part of the Pannonian Basin, *Geologica Carpathica*, 61, 1, 55-69.
29. WINSAUER, W. O. (1952): Resistivity of Brine Saturated Sands in Relation to Pore Geometry. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 36, 253-277.

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno na temelju znanja stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu služeći se navedenom literaturom.



JOSIP LEMIĆ



KLASA: 402-04/20-01/40
URBROJ: 251-70-03-20-3
U Zagrebu, 23.04.2020.

Josip Lemić, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju Vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM: 602-04/20-01/40, UR.BR. 251-70-12-20-1 od 03.03.2020. godine priopćujemo temu završnog rada koja glasi:

UPORABA ELEKTROKAROTAŽE U RAZLIKOVANJU VRSTA I PODVRSTA KLASTIČNIH LITOFACIJESA NA PRIMJERU MIOCENSKIH STIJENA U PODZEMLJU SJEVERNE HRVATSKE

Za voditelja ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o završnom ispitu dr. sc. Tomislav Malvić, redoviti profesor Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Voditelj

(potpis)

Prof. dr. sc. Tomislav Malvić

(titula, ime i prezime)

**Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite**

(potpis)

Doc. dr. sc. Vladislav Brkić

(titula, ime i prezime)

**Prodekan za nastavu i
studente**

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor Kuhinek

(titula, ime i prezime)