

Procjena utjecaja integriteta proizvodne kolone zaštitnih cijevi na rad bušotina kod primjene EOR metode povećanja iscrpka nafte

Gašperov, Sarah

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:619942>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-13**



Repository / Repozitorij:

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



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

**PROCJENA UTJECAJA INTEGRITETA PROIZVODNE KOLONE ZAŠTITNIH
CIJEVI NA RAD BUŠOTINA KOD PRIMJENE EOR METODE POVEĆANJA
ISCRPKA NAFTE**

Završni rad

Sarah Gašperov

N4524

Zagreb, 2024

Sveučilište u Zagrebu

Završni rad

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

PROCJENA UTJECAJA INTEGRITETA PROIZVODNE KOLONE ZAŠTITNIH CIJEVI NA RAD BUŠOTINA

KOD PRIMJENE EOR METODE POVEĆANJA ISCRPKA NAFTE

Sarah Gašperov

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

Sažetak

Jedna od metoda za povećanje iscrpka nafte je EOR metoda koja se temelji na utiskivanju fluida, u ovom slučaju utiskivanju CO₂, budući da bušotina ne proizvodi cijelo vrijeme eruptivno. Pravilnom ugradnjom zaštitnih cijevi te pravilnom cementacijom, mogu se izbjeći (ili barem smanjiti) gubitci proizvodnje. Stanje bušotine, tj. njen integritet prilikom utiskivanja CO₂ i proizvodnje nafte može se pratiti uporabom i interpretacijom karotažnih mjerenja kako bi se točno odredilo mjesto oštećenja te da bi se isto uklonilo, odnosno saniralo.

Ključne riječi: Integritet bušotine, EOR, karotažna mjerenja

Završni rad sadrži: 27 stranica, 22 slike i 18 referenci.

Jezik izvornika: Hrvatski

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

Mentor: izv. prof. dr. sc. Vladislav Brkić, RGNF

Komentor: dr. sc. Zoran Čogelja, INA d.d.

Ocjenjivači: izv. prof. dr. sc. Vladislav Brkić, RGNF
izv. prof. dr. sc. Borivoje Pašić, RGNF
prof. dr. sc. Jasna Orešković, RGNF

Datum obrane: 23.09.2024., Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	II
POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I PRIPADAJUĆIH SI JEDINICA.....	III
1. UVOD	1
2. EOR METODA	3
2.1. EOR metoda utiskivanja CO ₂	3
3. KAROTAŽNA MJERENJA	5
3.1. Akustična metoda za procjenu kvalitete veze cementa iza kolone	5
3.2. Elektromagnetsko mjerenje debljine stijenke	9
3.3. Kaliper	9
4. INTEGRITET BUŠOTINE I KOLONE ZAŠTITNIH CIJEVI	13
5. PROCJENA STANJA INTEGRITETA KOLONE ZAŠTITNIH CIJEVI KAROTAŽNIM MJERENJIMA.....	16
6. ZAKLJUČAK.....	25
7. LITERATURA	26

POPIS SLIKA

Slika 1-1. Karotažni dijagram.....	1
Slika 2-1. EOR: utiskivanje CO ₂	3
Slika 3-1. Sonda za mjerenje kvalitete cementacije	5
Slika 3-2. Putovanje zvučnog vala kod uporabe sonde za radijalno mjerenje	6
Slika 3-3. Usporedba podataka dobivenih CBL-om i VDL-om.....	7
Slika 3-4. Forme zvučnih valova ovisno o kvaliteti veze cementnog kamena prema zaštitnim cijevima i stijenama	8
Slika 3-5. Sonda CIT	9
Slika 3-6. Konvencionalni kaliper	10
Slika 3-7. Promjer bušotine mjeren konvencionalnim kaliperom	11
Slika 3-8. Sonda MFC	12
Slika 4-1. Prikaz konstrukcije kanala bušotine s ugrađenim zaštitnim cijevima.....	13
Slika 4-2. Mogući neželjeni pravci kretanja fluida kod narušavanja integriteta bušotine...	15
Slika 5-1. Dubinska korelacija i lociranje spojnica	16
Slika 5-2. Krivulje unutarnjeg i vanjskog promjera te stvarna mjerenja.....	17
Slika 5-3. Oštećenja nastala otvaranjem sidra	18
Slika 5-4. Perforatori sa zrnima	19
Slika 5-5. Mlazni perforatori	20
Slika 5-6. Erozioni perforatori.....	21
Slika 5-7. Mehanički sjekač	22
Slika 5-8. Oštećenja od perforacija.....	23
Slika 5-9. Uvećani prikaz oštećenja od perforacija	23
Slika 5-10. Podaci dobiveni mjerenjem i obradom	24

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I PRIPADAJUĆIH SI JEDINICA

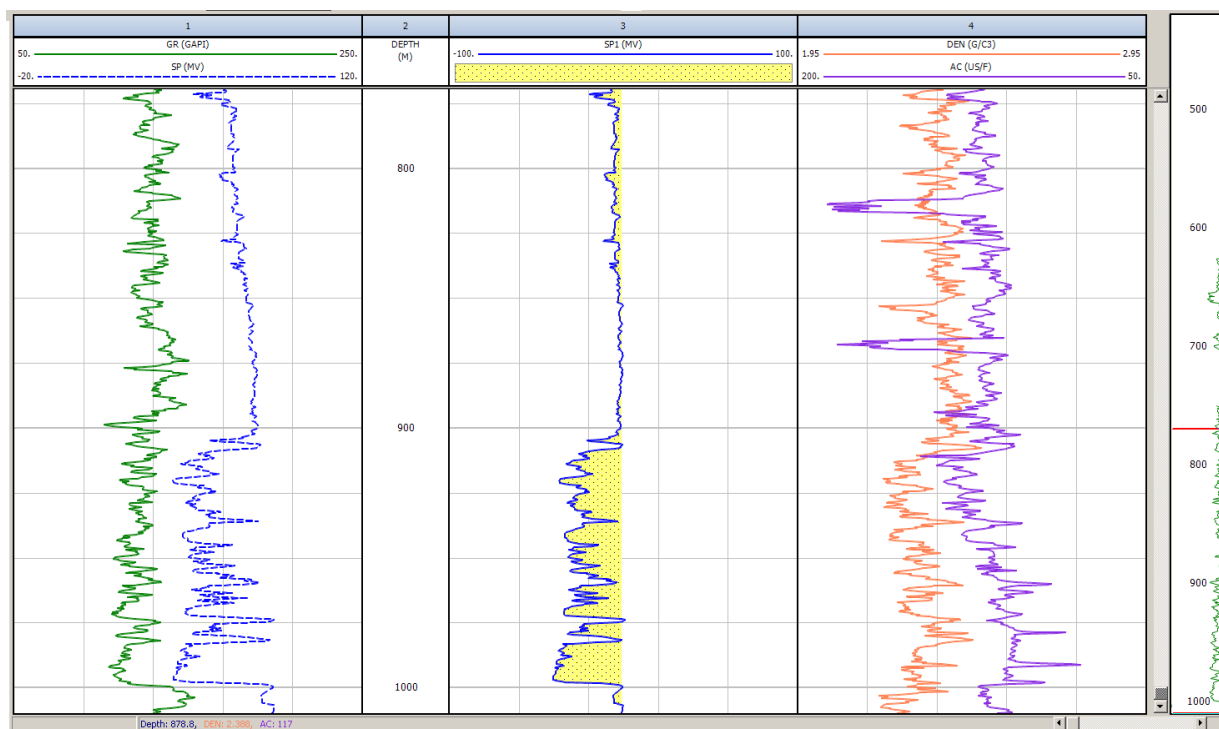
Oznaka	Jedinica	Opis
<i>EOR</i>		engl. <i>Enhanced Oil Recovery</i>
<i>MMP</i>		minimalni tlak mješljivosti
<i>CBL</i>		engl. <i>Cement Bond Log</i>
<i>RIB</i>		engl. <i>Radial Increment Bond Tool</i>
<i>VDL</i>		engl. <i>Variable Density Log</i>
<i>BI</i>	-	indeks čvrstoće
A_{max}	mV	maksimalna amplituda
A_{min}	mV	minimalna amplituda
A_{mjer}	mV	izmjerena amplituda
<i>CIT</i>		engl. <i>Casing Inspection Tool</i>
<i>MFC</i>		engl. <i>Multi-Finger Caliper</i>
<i>RADAVG</i>	mm	engl. <i>Radius Average</i>

1. UVOD

Kod primjene metode povećanja iscrpka nafte (engl. *Enhanced Oil Recovery*, EOR), potrebno je pratiti integritet proizvodne kolone zaštitnih cijevi. Integritet proizvodne kolone zaštitnih cijevi prati se karotažnim mjerenjima kako bi se maksimizirao iscrpak nafte kao i produžio proizvodni vijek rada bušotine.

Integritet bušotine je iznimno važan tijekom cijelog proizvodnog vijeka bušotine. Karotažnim mjerenjima smanjuje se i rizik od nekontroliranog oslobađanja i ispuštanja formacijskih fluida u okoliš. Integritet kanala bušotine uključuje integritet svih ugrađenih kolona zaštitnih cijevi, cementnog kamena iza kolona, stanje proizvodne opreme, površinskih ventila te ostale površinske opreme (Jančiković, 2023).

Karotažno mjerenje je evaluacijska metoda prilikom koje se u bušotinu spušta poseban alat, sonda, te se tijekom mjerenja zadiže prema površini. Prilikom podizanja, sonda prolazi formacije te osjeti i bilježi električne, radioaktivne i akustične značajke stijene. Značajke stijene se od sonde prenose na računalo pomoću kabela, isčitavaju se podaci i interpretira se karotažni dijagram koji sadrži krivulje (Slika 1-1). Upravo te krivulje otkrivaju postojanje ugljikovodika u slojevima te u kojoj količini su zastupljeni (Baker, 2004).



Slika 1-1. Karotažni dijagram (Orešković, 2021a)

U završnom radu bit će obrađena karotažna mjerenja koja su od velike pomoći u procjeni stanja integriteta kolone zaštitnih cijevi. Pomoću karotažnih mjerenja, EOR metoda može biti uspješnija jer otkriva potencijalna propuštanja, a time se povećava i iscrpak nafte. Bit će prikazana i djelovanja spomenutih karotažnih mjerenja te na koji način otkrivaju postojanje ugljikovodika.

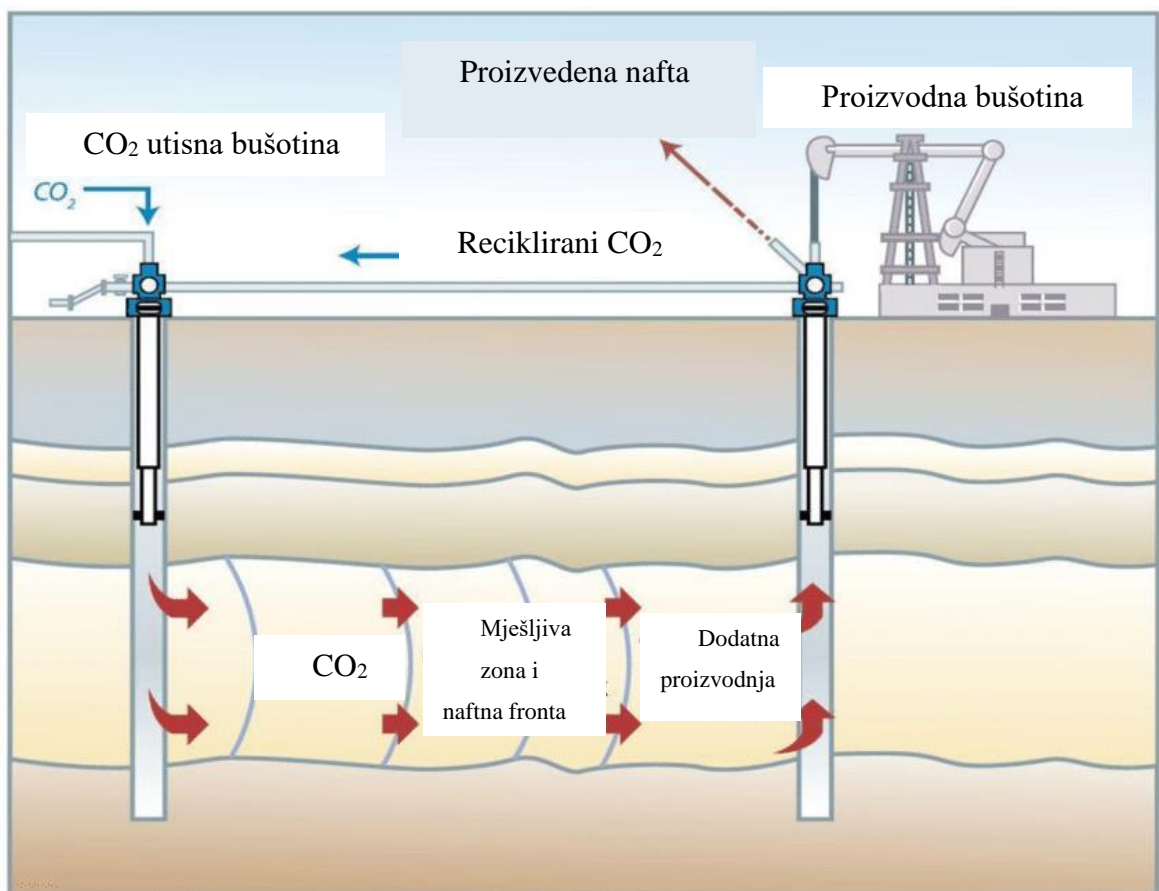
Cilj završnog rada je prikaz karotažnih mjerenja u svrhu očuvanja integriteta bušotine kako bi se omogućilo utiskivanje CO₂ u bušotinu.

2. EOR METODA

EOR (engl. *Enhanced Oil Recovery*) je metoda povećanja iscrpka nafte. Proces proizvodnje nafte može se podijeliti na tri faze: primarnu, sekundarnu i tercijarnu. Primarna proizvodnja koristi samo energiju ležišta, sekundarna se koristi nakon pada proizvodnje i temelji se na klasičnom zavodnjavanju i održavanju ležišnog tlaka, a tercijarna nakon sekundarne s injektiranjem posebnih fluida (CO₂, polimerne otopine i dr.) (Dai et al., 2023).

2.1. EOR metoda utiskivanja CO₂

Nakon što sekundarnom metodom više nije moguće ili više nije ekonomski isplativo proizvoditi naftu, počinje tercijarna metoda proizvodnje. EOR metoda (Slika 2-1) temelji se na utiskivanju fluida koji originalno ne postoje u ležištu, a neke od EOR metoda su injektiranje plina (CO₂), kemijski EOR i termalni (Lee et al., 2020).



Slika 2-1. EOR: utiskivanje CO₂ (Petros et al., 2021)

Injektiranjem CO₂ smanjuje se viskoznost nafte i njena gustoća, a sami CO₂ postaje mješljiv s lakim i srednje teškim ugljikovodicima. Efekt mješljivosti između CO₂ i nafte

ovisi o tlaku, a tlak ležišta bi se trebao održavati iznad minimalnog tlaka mješljivosti (engl. *Minimum Miscibility Pressure*, MMP). Ugljikov dioksid ne smije biti utisnut neograničeno velikim tlakom jer može doći do frakturiranja stijene ukoliko je veći od tlaka frakturiranja ležišne stijene. Idealno bi bilo da se održava između minimalnog tlaka mješljivosti i tlaka frakturiranja stijene kako bi CO₂ i nafta bile pomiješane kao jedna faza. Ukoliko tlak u ležištu ne može dostići MMP, podvrgava se nemiscibilnom istiskivanju (istiskivanje fluidom koji je nemješljiv i koegzistira s postojećim fluidom u dvije faze). Mehanizam nemiscibilnog utiskivanja je sličan već opisanom utiskivanju mješljivog fluida, ali je učinak slabiji. Temelji se na tome da nemješljivi CO₂ potiskuje naftu kao takvu (Lee et al., 2020).

Utiskivanje CO₂ je drugačije od ostalih utiskivanja fluida iz razloga što je ugljični dioksid manje gustoće, a samim time i pokretljiviji te ima tendenciju migrirati na vrh injektirane zone. Ugljikov dioksid ima potencijalno korozivno djelovanje ukoliko se pomiješa s vodom te je zbog toga važno održavanje integriteta kanala bušotine (Gaurina-Međimurec i Pašić, 2011).

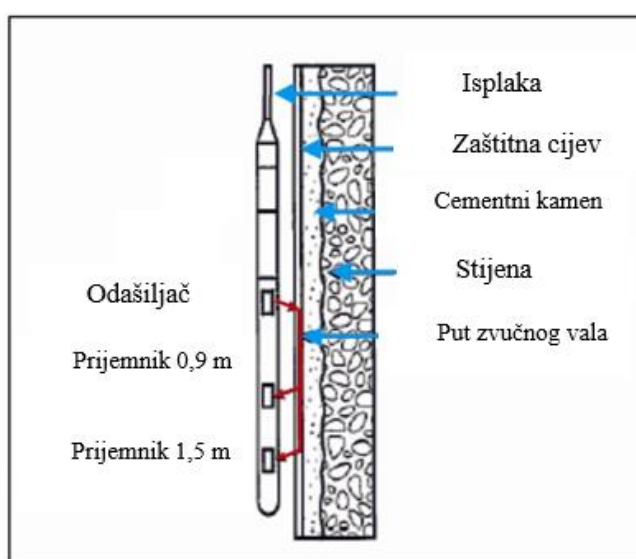
3. KAROTAŽNA MJERENJA

Prilikom procjene integriteta kolone zaštitnih cijevi, koristi se nekoliko karotažnih mjerenja: akustična metoda za procjenu kvalitete veze cementa iza kolone (CBL), elektromagnetsko mjerenje debljine stijenke te kaliper, odnosno mjerenje promjera kanala bušotine.

3.1. Akustična metoda za procjenu kvalitete veze cementa iza kolone

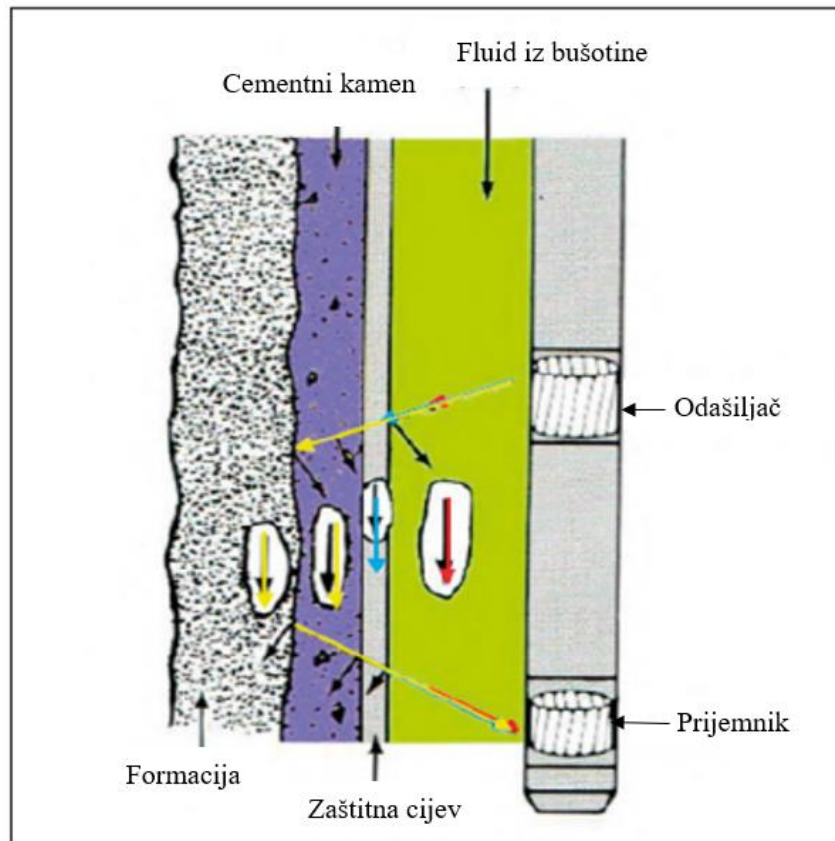
Pomoću ove metode mjeri se integritet veze cementnog kamena između zaštitne cijevi i stijenke kanala bušotine. Cementiranje se općenito provodi kako bi se smanjio korozivan učinak fluida na alatke, da bi se spriječio dotok slojnih fluida i gubitak isplake u okolne slojeve te kako bi se odvojila proizvodna zona od zavodnjenih slojeva.

Mjerenje veze cementnog kamena iza kolone provodi se akustičnom, tj. zvučnom karotažom pomoću klasične sonde i pomoću sonde za radijalno mjerenje (engl. *Radial Increment Bond Tool*, RIB). Klasična sonda za mjerenje kvalitete cementacije sastoji se od odašiljača zvučnih valova i dva prijemnika položena na udaljenosti 0,9 i 1,5 m (3 i 5 stopa) od odašiljača (Slika 3-1) (Orešković, 2021c), dok RIB osim odašiljača ima i 8 zona prijemnika (prema čemu se i zove radial). Prijemnici daju sliku podijeljenu u 8 radijalnih zona kako bi se mogla procijeniti radijalna raspodjela kvalitete cementa (360 stupnjeva) (Jančiković, 2023).



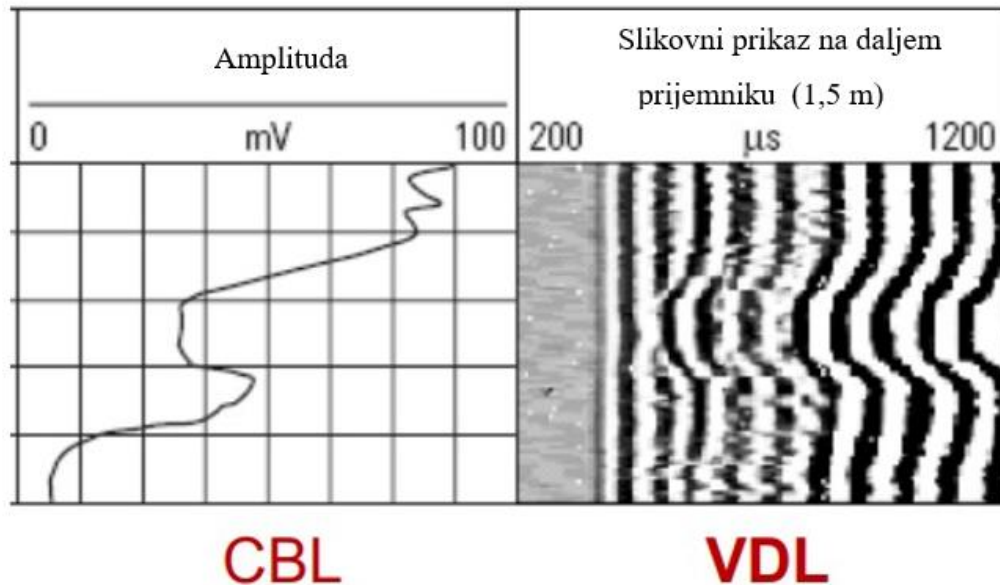
Slika 3-1. Sonda za mjerenje kvalitete cementacije (Drilling Manual, 2022)

Uporabom RIB-a, odašilje se zvučni val kroz fluid koji putuje do stijene te se odbija i vraća zvučni val nazad na prijemnik gdje se pretvara u električan signal (Slika 3-2).



Slika 3-2. Putovanje zvučnog vala kod uporabe sonde za radijalno mjerenje (Jančiković, 2023)

„Na prvom prijemniku registrira se amplituda vala koja služi za procjenu veze između zaštitnih cijevi i cementnog kamena (engl. *Cement Bond Log, CBL*), a na daljem prijemniku cijeli valni oblik čiji se prikaz naziva *VDL* (engl. *Variable Density Log*).“ Ukoliko je amplituda vala mala, tada se radi o dobroj cementaciji (bez kanala i pukotina), u suprotnom se radi o lošoj cementaciji, odnosno o slaboj vezi, a to je prikazano na Slici 3-3 (Fertl et al., 1974).



Slika 3-3. Usporedba podataka dobivenih CBL-om i VDL-om (Orešković, 2021c)

Amplituda vala, ukoliko je pažljivo promatrana, može ukazati na to radi li se o dobroj cementaciji i to ne samo o vezi cementnog kamena s jedne strane sa zaštitnim cijevima nego i s druge strane sa stijenkom kanala bušotine. Ukoliko se radi o slobodnoj cijevi, tada je amplituda velika jer akustični val malo slabi prilikom prolaska te cijev „zvoni“ (Slika 3-4a). Kada postoji mala brzina zvuka (engl. *low-sonic-velocity*), amplituda vala u početku je mala, a s vremenom pokazuje sve veću amplitudu što označava dobru cementaciju cijevi i cementaciju stijene (Slika 3-4b). Slika 3-4c pokazuje dobru cementaciju cijevi i stijene kada se radi o velikoj brzini i tvrdoj stijeni. Slika 3-4d prikazuje male amplitude vala kod dolaska do zaštitnih cijevi, odnosno dobru cementaciju zaštitnih cijevi, ali slabu cementaciju prema stijenci kanala bušotine (Hill, 1990).

Kvaliteta cementacije može se izračunati i pomoću izmjerene amplitude (Frisch et al., 2000), a najčešće se izračunava indeks cementacije ili indeks čvrstoće (engl. *Bond Index*, BI) preko formule:

$$BI = \frac{\log(A_{max}) - \log(A_{mjer})}{\log(A_{max}) - \log(A_{min})} \quad (2-1)$$

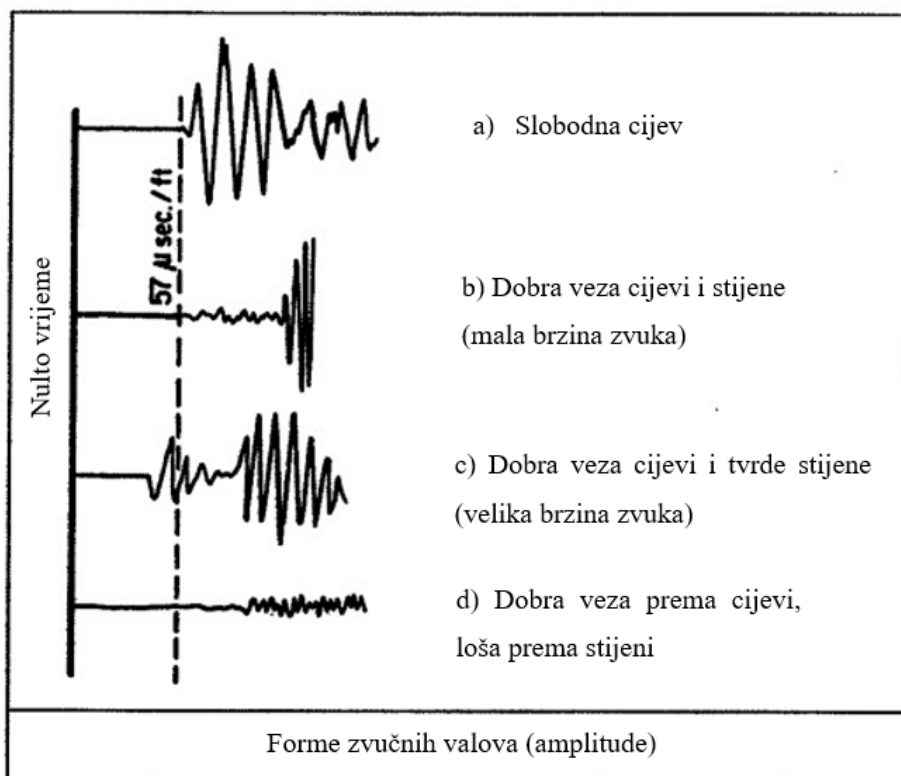
gdje su: BI – indeks čvrstoće

A_{max} – maksimalna amplituda

A_{mjer} – izmjerena amplituda

A_{min} – minimalna amplituda

Indeks čvrstoće ovisi o relativnom odnosu amplitude, tj. potrebno je maksimalnu i minimalnu amplitudu očitati s dijagrama. Maksimalna amplituda označava necementiranu kolonu zaštitnih cijevi, a minimalna označava dobru cementaciju. Ukoliko je indeks čvrstoće između 1,0 i 0,8 to ukazuje na dobru cementaciju, ako je između 0,6 i 0,8 znači da je djelomična, a manje od 0,6 označava lošu cementaciju (Frisch et al., 2000).



Slika 3-4. Forme zvučnih valova ovisno o kvaliteti veze cementnog kamena prema zaštitnim cijevima i stijenama (Hill, 1990)

3.2. Elektromagnetsko mjerenje debljine stijenke

Prilikom elektromagnetskog mjerenja debljine stijenke cijevi, koristi se sonda CIT (engl. *Casing Inspection Tool*). CIT je uređaj koji sadrži 2 trajna magneta koja stvaraju jako magnetno polje (Slika 3-5). Senzorom se mjeri magnetski tok, a izmjerena promjena magnetskog polja, odnosno gubitak magnetnog polja daje promjenu debljine stijenke. Tehnologijom, koja sadrži CIT alat, može se nadzirati većina cijevi u kanalu bušotine, kao i procijeniti korozija, utvrditi položaj perforacija te unutarnja i vanjska oštećenja (Jančiković, 2023).



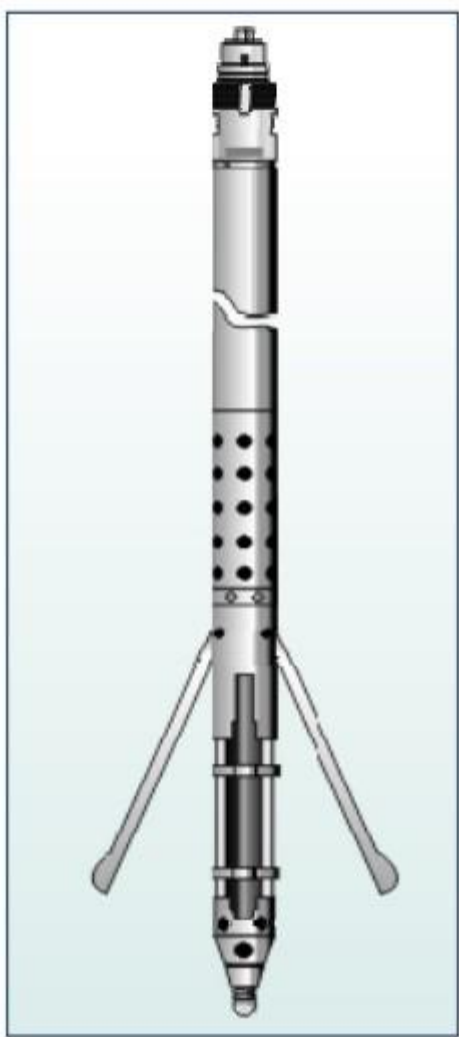
Slika 3-5. Sonda CIT (Jančiković, 2023)

3.3. Kaliper

Promjer kanala bušotine uglavnom se razlikuje od promjera dlijeta jer promjer, pa i oblik, bušotine ovisi o stijinama i o stanju istih. Za određivanje volumena cementne kaše kod

cementacije i za određivanje količine isplake, potrebno je poznavati dimenzije bušotine. Promjer bušotine mjeri se uređajem koji se naziva kaliper.

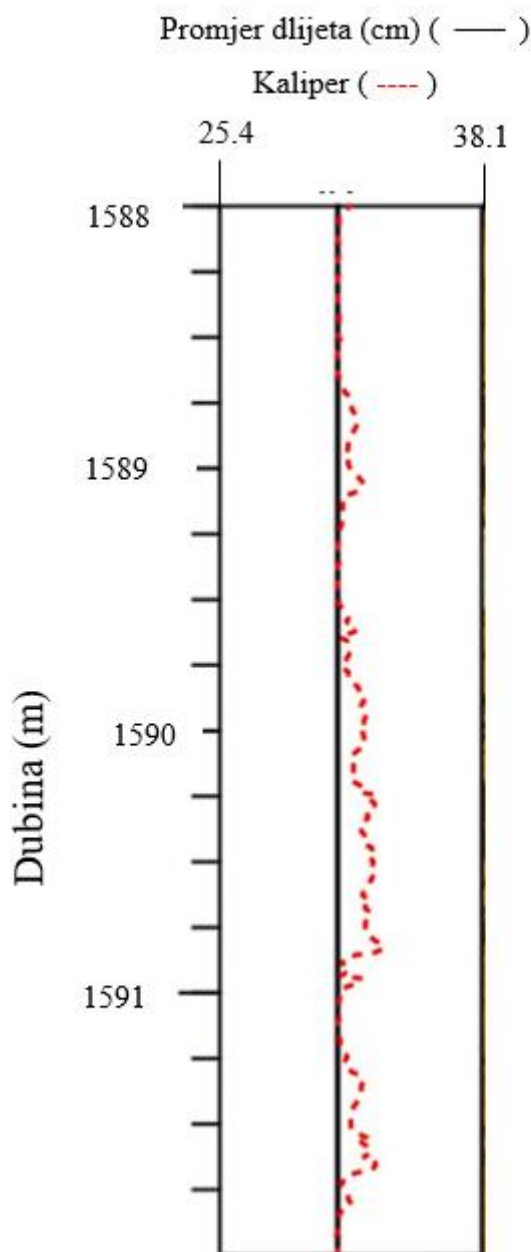
Konvencionalni kaliper (Slika 3-6) sastoji se od 3 ili 4 poluge koje su u kontaktu sa stijenkom kanala bušotine, a uvlače se ili izvlače ovisno o promjeru. Pomoću dvije zavojnice odvija se mjerenje: kroz jednu postoji tok izmjenične struje i stalne je jakosti, a inducirani napon u induktivnoj zavojnici se mijenja sukladno s promjerom bušotine. Ukoliko uređaj naiđe na oštećenje, dolazi do nagle promjene na dijagramu kalipera zbog naglog otklona poluge (Rider, 2002).



Slika 3-6. Konvencionalni kaliper (Orešković, 2021b)

Često je promjer bušotine približno jednak promjeru dlijeta, no nije uvijek takav slučaj, odnosno može doći ili do povećanja promjera ili do njegovog smanjenja. Povećanje promjera bušotine dešava se u mekim i nekonsolidiranim slojevima, kao i u stijenama slabijih

mehaničkih svojstava (npr. u prirodno raspucalim stijenama). Do smanjenja promjera bušotine dolazi u propusnim slojevima, kao i u šejlovima i glinama koji su nabubrili uslijed apsorpcije vode (Orešković, 2021b), a Slika 3-7 prikazuje rezultat mjerenja kaliperom.



Slika 3-7. Promjer bušotine mjeren konvencionalnim kaliperom (Williams et al., 2016)

Osim konvencionalnog kalipera, postoji i kaliper sastavljen od 40 “prstiju“ (engl. *Multi-Finger Caliper*, MFC) koji mjeri promjene na unutarnjoj stijenci kolone (Slika 3-8). Međusobno neovisni mehanički prsti, konkretno njih četrdeset, preko opruge djeluju na

senzor koji podatke šalje na površinu. Pomoću poslanih podataka, iščitavaju se podaci o prisutnim deformacijama na unutarnjoj stijenci kolone zaštitnih cijevi. Tijekom mjerenja alat je centriran, kako bi se smanjio utjecaj otklona bušotine na rezultate i samo mjerenje (Jančiković, 2023).

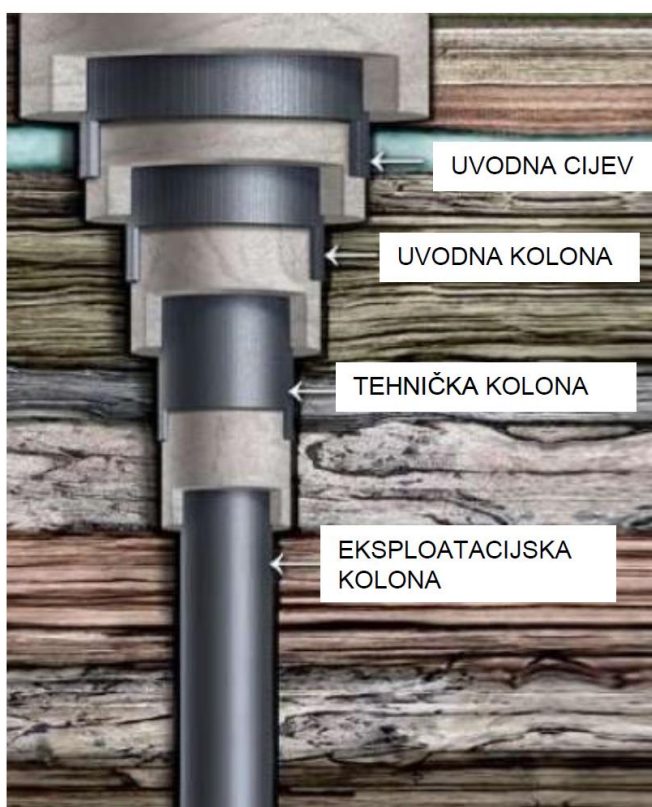


Slika 3-8. Sonda MFC (Jančiković, 2023)

4. INTEGRITET BUŠOTINE I KOLONE ZAŠTITNIH CIJEVI

Mehanički i hidraulički integritet kolone bušotine je ključan prilikom injektiranja fluida i prilikom sprječavanja kretanja injektiranog fluida. Ostvaruje se tako da su komponente bušotine izvedene na pravilan način i s pravilnim izborom materijala koji su otporni na koroziju, a po potrebi su ti materijali i ojačani (Gaurina-Međimurec i Pašić, 2011).

Kako bi se na siguran način povezale površina i geološke rezerve, u bušotinu se postavljaju zaštitne cijevi (Slika 4-1), odnosno čelične cijevi koje se cementiraju nakon ugradnje (Reinicke et al., 2013). Zaštitne cijevi su te koje sprječavaju urušavanje stijenki kanala bušotine, omogućavaju kontrolu tlakova u kanalu bušotine te ugradnju proizvodne opreme i dr. (Pašić, 2024).



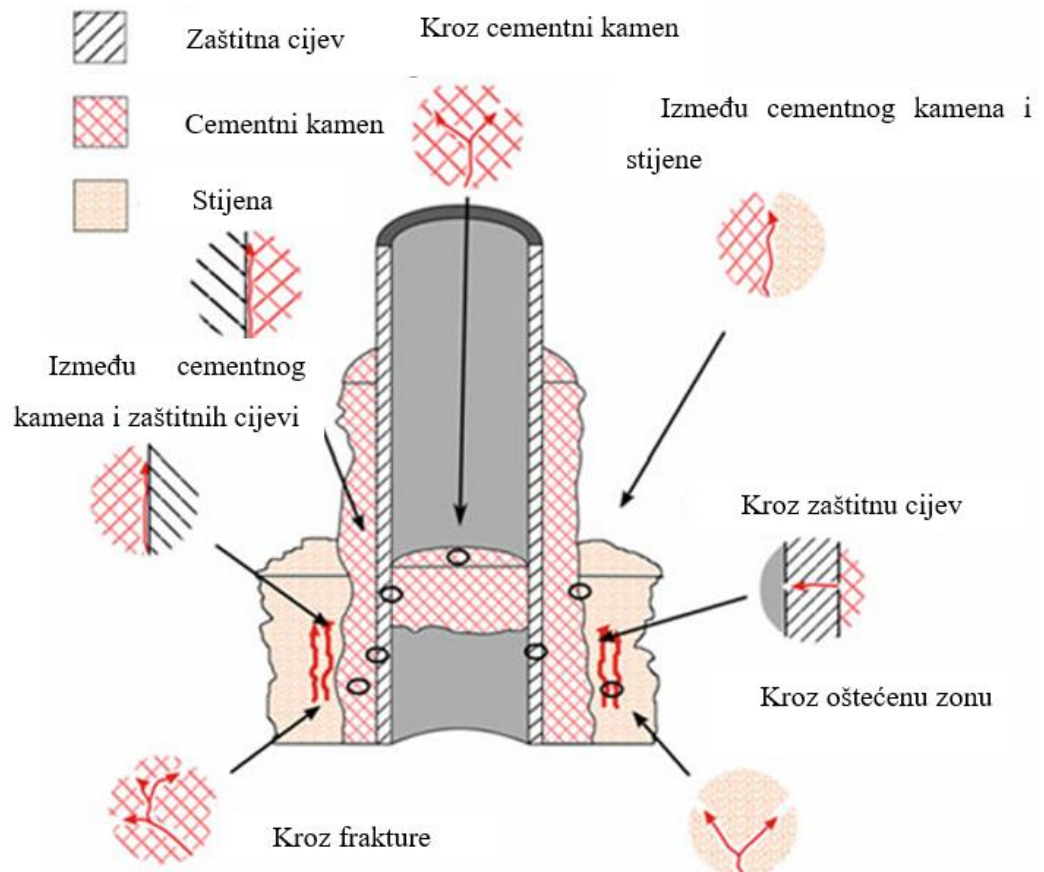
Slika 4-1. Prikaz konstrukcije kanala bušotine s ugrađenim zaštitnim cijevima (Pašić, 2024)

Propuštanje zaštitnih cijevi omogućava fluidu da „pobjegne“ u neželjene zone ili omogućava njegovo kretanje kroz zone. Izbor materijala za zaštitne cijevi je od velike važnosti budući da ugljikov dioksid u kombinaciji s vodom može stvoriti karbonatnu (ugljičnu) kiselinu koja djeluje korozivno na zaštitne cijevi, a samim time može doći i do

njihovog propuštanja. Izborom odgovarajuće kvalitete materijala zaštitnih cijevi i cementacije, smanjuje se ta mogućnost (Gaurina-Međimurec i Pašić, 2011).

Cementacija zaštitnih cijevi nakon njihove ugradnje u bušotinu sprječava kretanje fluida prema površini, ima ulogu potpore zaštitnim cijevima te sprječava vanjsku koroziju zaštitnih cijevi (Pašić, 2021). Cementacija je jedan od ključnih faktora u izoliranju zona jer se pravilno izvedenom cementnom vezom smanjuje pogreška koja se kasnije teško sanira. Nedovoljno cementiranje uzduž kolona zaštitnih cijevi, nevezani cementni kamen sa zaštitnim cijevima ili stijenom, kao i pukotine mogu dovesti do migracije fluida uzduž cijele bušotine. Na taj način CO₂ može migrirati u neželjenom smjeru zbog kojeg se cijela operacija utiskivanja zaustavlja te se primjenjuju skupe operacije saniranja, a u najgorem slučaju može dovesti i do potpune obustave utiskivanja. Prilikom injektiranja, cementni kamen je u kontaktu s CO₂, ali nakon injektiranja slojna voda može se pomiješati s ugljičnim dioksidom te stvoriti karbonatnu kiselinu koja nagrizava zaštitne cijevi i time ih oštećuje (Gaurina-Međimurec i Pašić, 2011).

Kvaliteta cementacije se procjenjuje tlačnim ispitivanjima i/ili akustičnom karotažnom metodom (engl. *Bond Logs*) nakon završetka cementacije i stvrdnjavanja cementnog kamena. U mnogo slučajeva, loš integritet kanala bušotine je ishod konstrukcijskih nedostataka: loš izbor materijala, a to dalje dovodi do loše cementacije zaštitnih cijevi, odnosno stvaranja neadekvatne cementne veze između zaštitnih cijevi i stijene. Mogući neželjeni pravci migracije fluida prikazani su na Slici 4-2, a nastaju zbog gore spomenutog nedostatka (Reinicke et al., 2013).

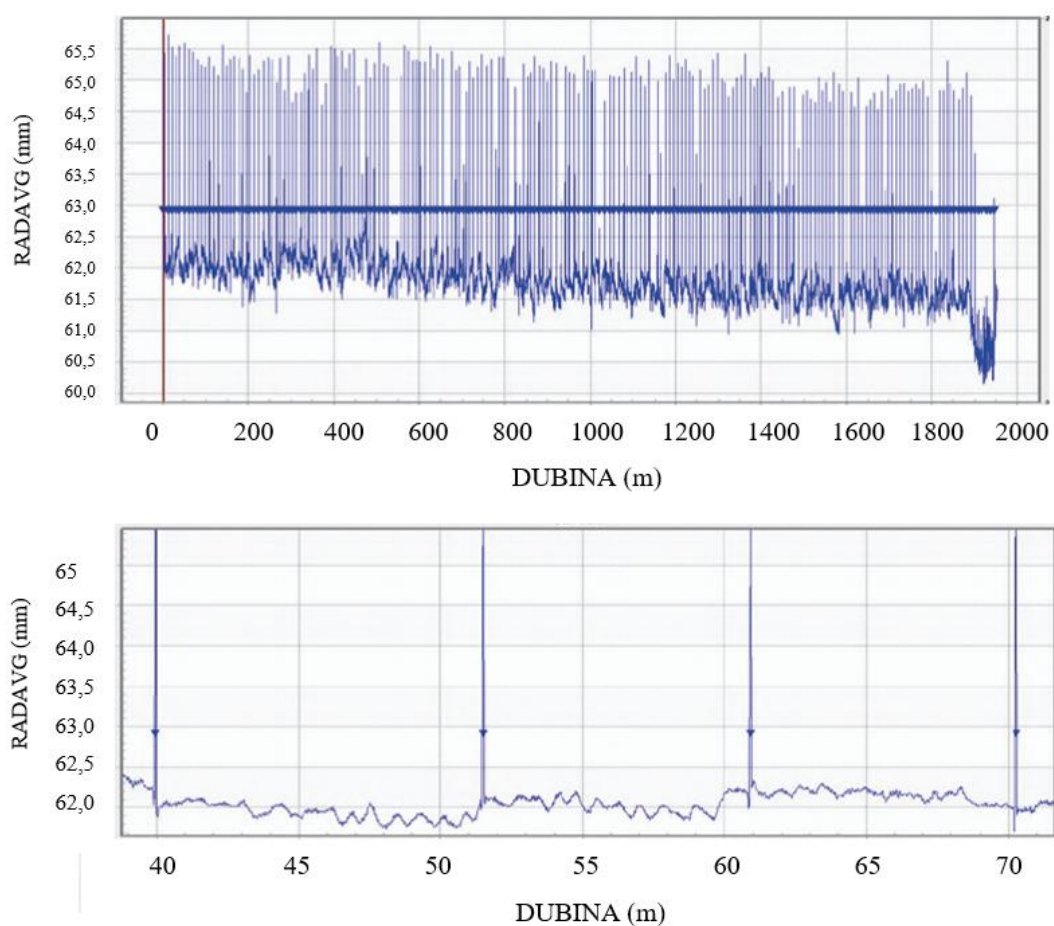


Slika 4-2. Mogući neželjeni pravci kretanja fluida kod narušavanja integriteta bušotine (Reinicke et al., 2013)

5. PROCJENA STANJA INTEGRITETA KOLONE ZAŠTITNIH CIJEVI KAROTAŽNIM MJERENJIMA

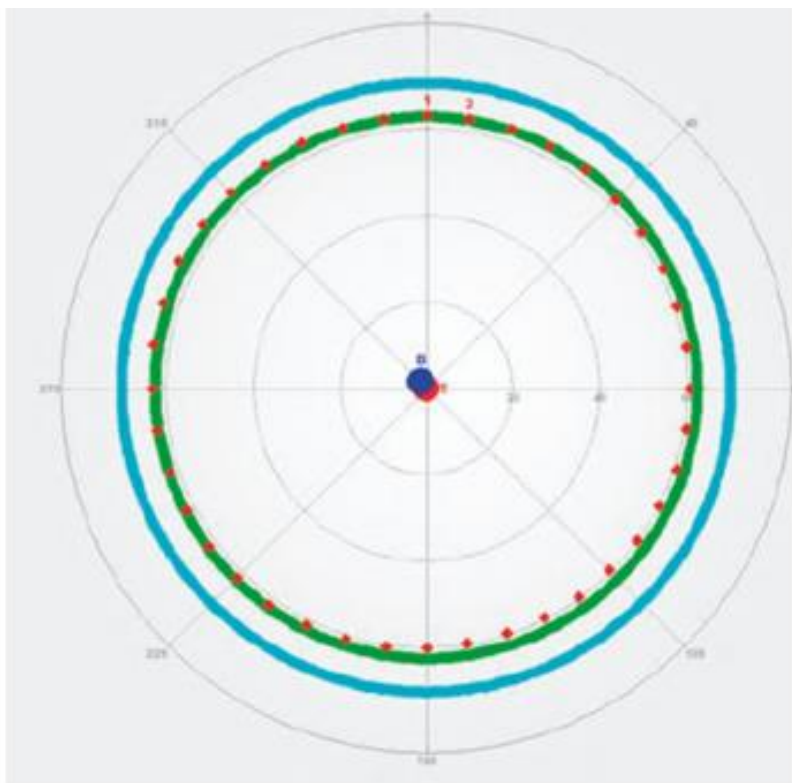
Za dobivanje kvalitetnijih podataka, potrebno je pročistiti bušotinu jer nečistoće u bušotini mogu interferirati s uređajima i dati netočne podatke s obzirom da su uređaji CIT i MFC kontaktni uređaji na koje te nečistoće utječu.

Podaci dobiveni CIT-om i MFC-om mogu se obraditi u jednom od programa *Spartek* (tvrtka Spartek Systems). Dvije različite metode obrađuju se na jednaki način. Prilikom obrade podataka, primarna je dubinska korelacija te se lociraju spojnice, a to je prikazano na Slici 5-1 (Jančiković, 2023). Na x osi nalazi se dubina, a na y osi nalazi se srednja vrijednost unutarnjeg promjera kolone zaštitnih cijevi (engl. *Radius average*, RADAVG).



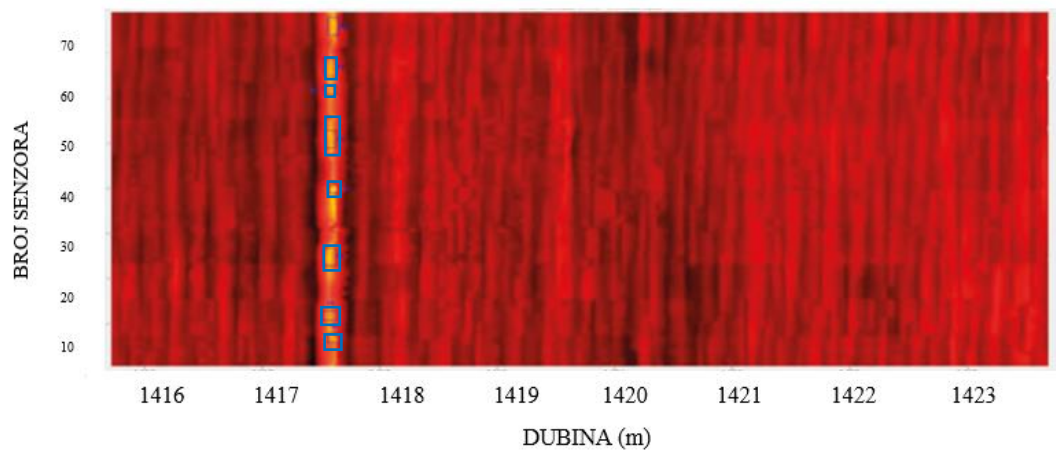
Slika 5-1. Dubinska korelacija i lociranje spojnica (Jančiković, 2023)

Krivulje je potrebno centrirati jer, iako je alat centriran, to nikada nije savršeno i apsolutno centrirano. Program određuje, odnosno optimizira središne krivulje za zadane podatke na svakoj dubini. Stvaraju se nove vrijednosti i određuje se točno središte. Na Slici 5-2 prikazane su krivulje: plava kružnica je vanjski promjer kolone, zelena unutarnji, a crvenim točkama na kružnici prikazuje se stvarno mjerenje. U središtu, plava točka prikazuje stvarni položaj alata, a crvena programski izračunati centar (Jančiković, 2023).



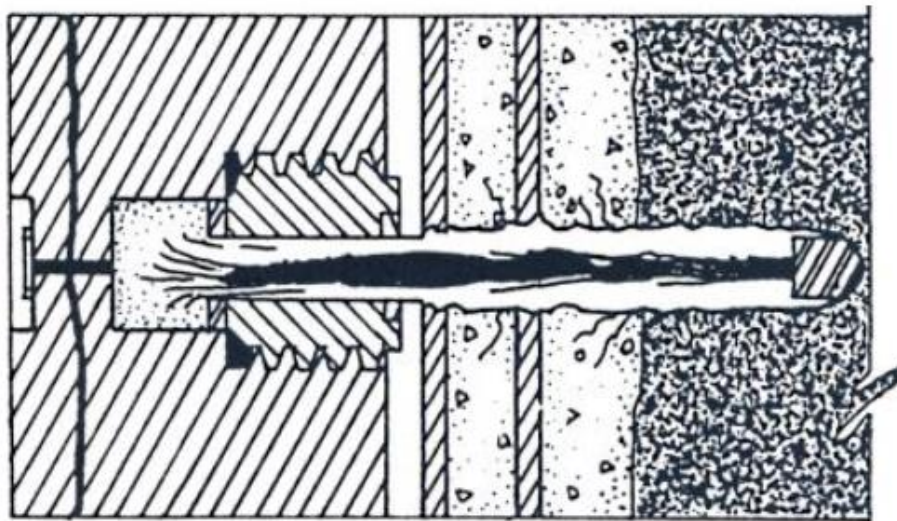
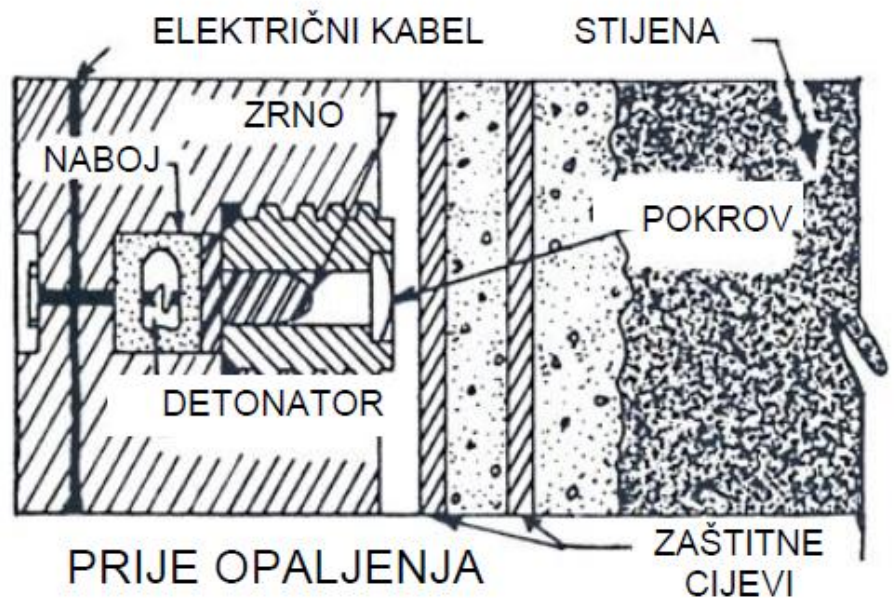
Slika 5-2. Krivulje unutarnjeg i vanjskog promjera te stvarna mjerenja (Jančiković, 2023)

Oštećenje nastalo otvaranjem sidra vidljivo je na Slici 5-3, prilikom čega os x sadržava dubinu, a os y broj senzora na alatu. Oštećenje kolone vidljivo je iz promjene intenziteta boje, a te informacije su važne proizvodnim inženjerima koji, na temelju tih podataka, optimiziraju dizajn opreme prema stanju u koloni (Jančiković, 2023).



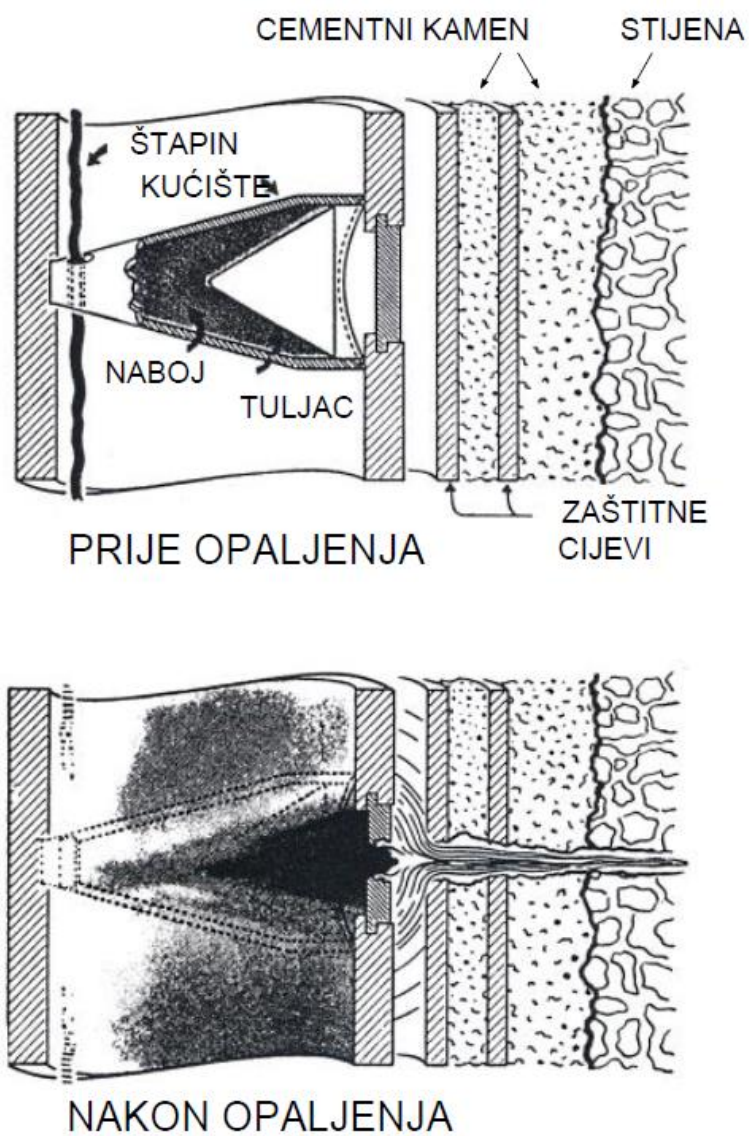
Slika 5-3. Oštećenja nastala otvaranjem sidra (Jančiković, 2023)

Perforiranje osigurava komunikaciju i protok fluida između bušotine i ležišta, a podrazumijeva probijanje otvora kroz zaštitne cijevi i cementni kamen uz prodiranje u ležište. Otvori se mogu izraditi perforatorima sa zrnima, mlaznim perforatorima s oblikovanim eksplozivnim nabojem, erozionim perforatorima i mehaničkim sjekačima (Pašić, 2024) , a prikazani su na Slikama 5-4, 5-5, 5-6 i 5-7.

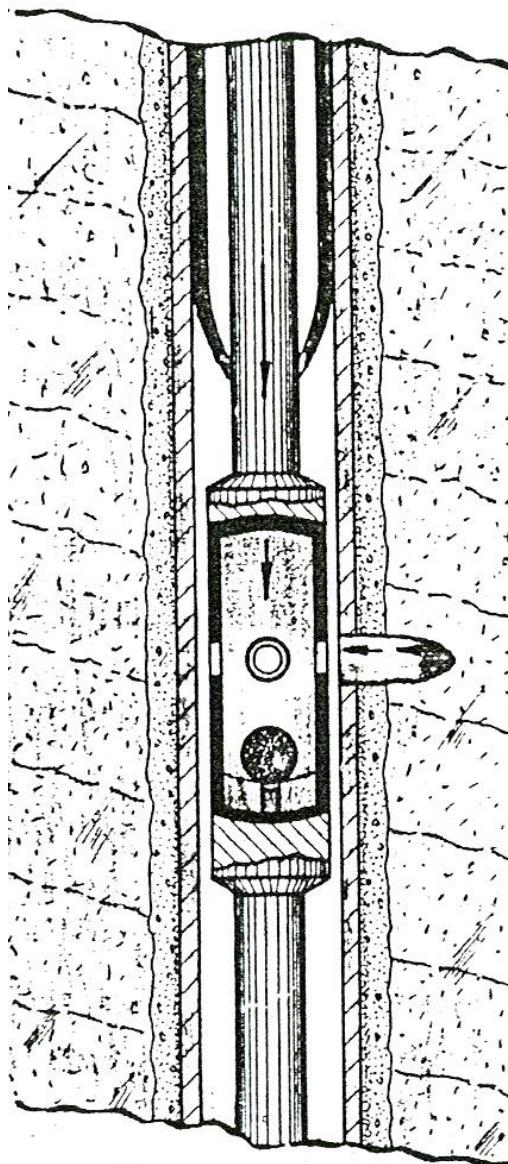


NAKON OPALJENJA

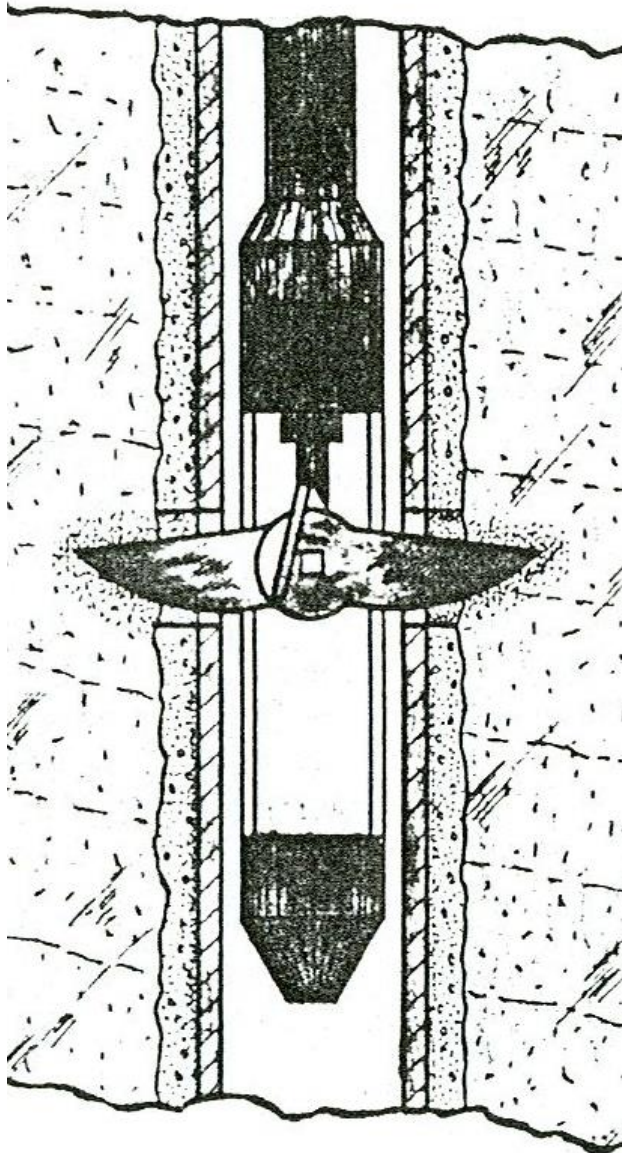
Slika 5-4. Perforatori sa zrnima (Pašić, 2024)



Slika 5-5. Mlazni perforatori (Pašić, 2024)

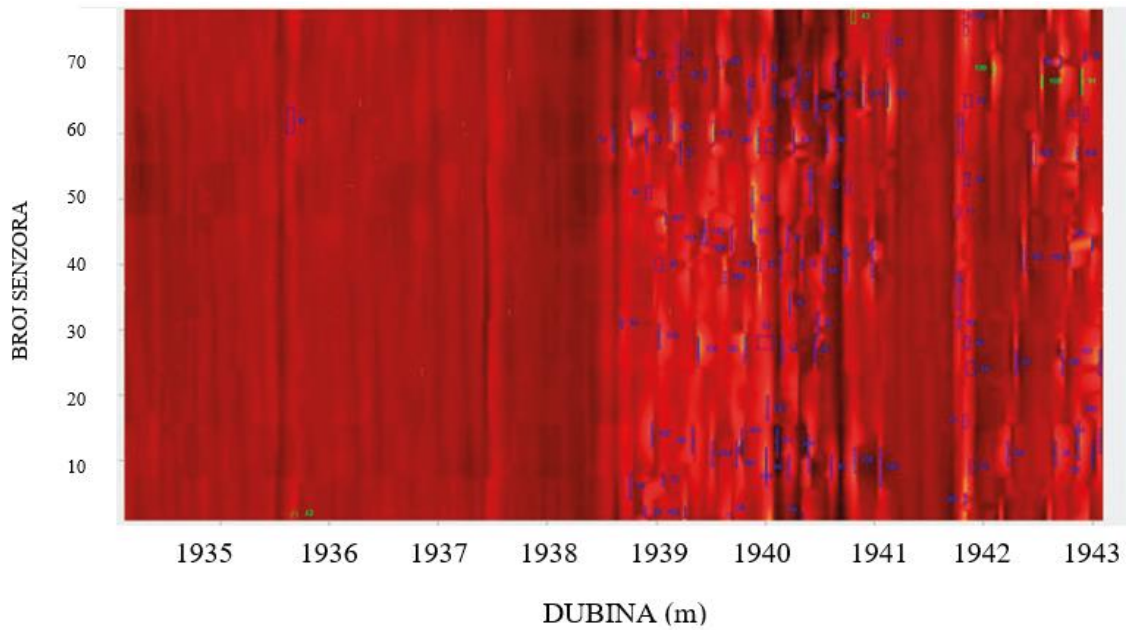


Slika 5-6. Erozioni perforatori (Pašić, 2024)

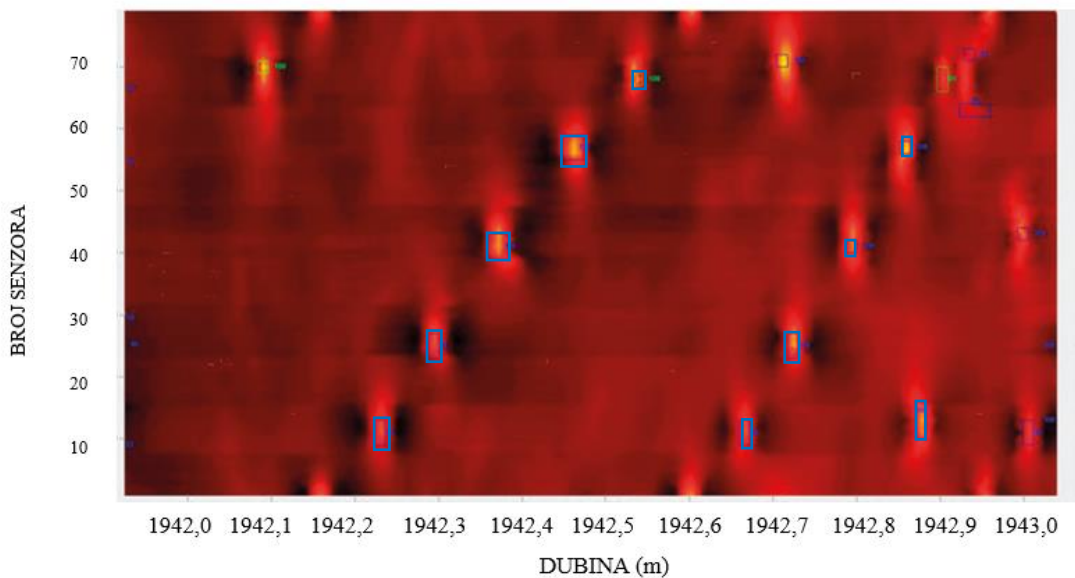


Slika 5-7. Mehanički sjekač (Pašić, 2024)

Oštećenja mogu nastati i zbog perforacija, a programski izgled oštećenja je prikazan na Slikama 5-8 i 5-9.



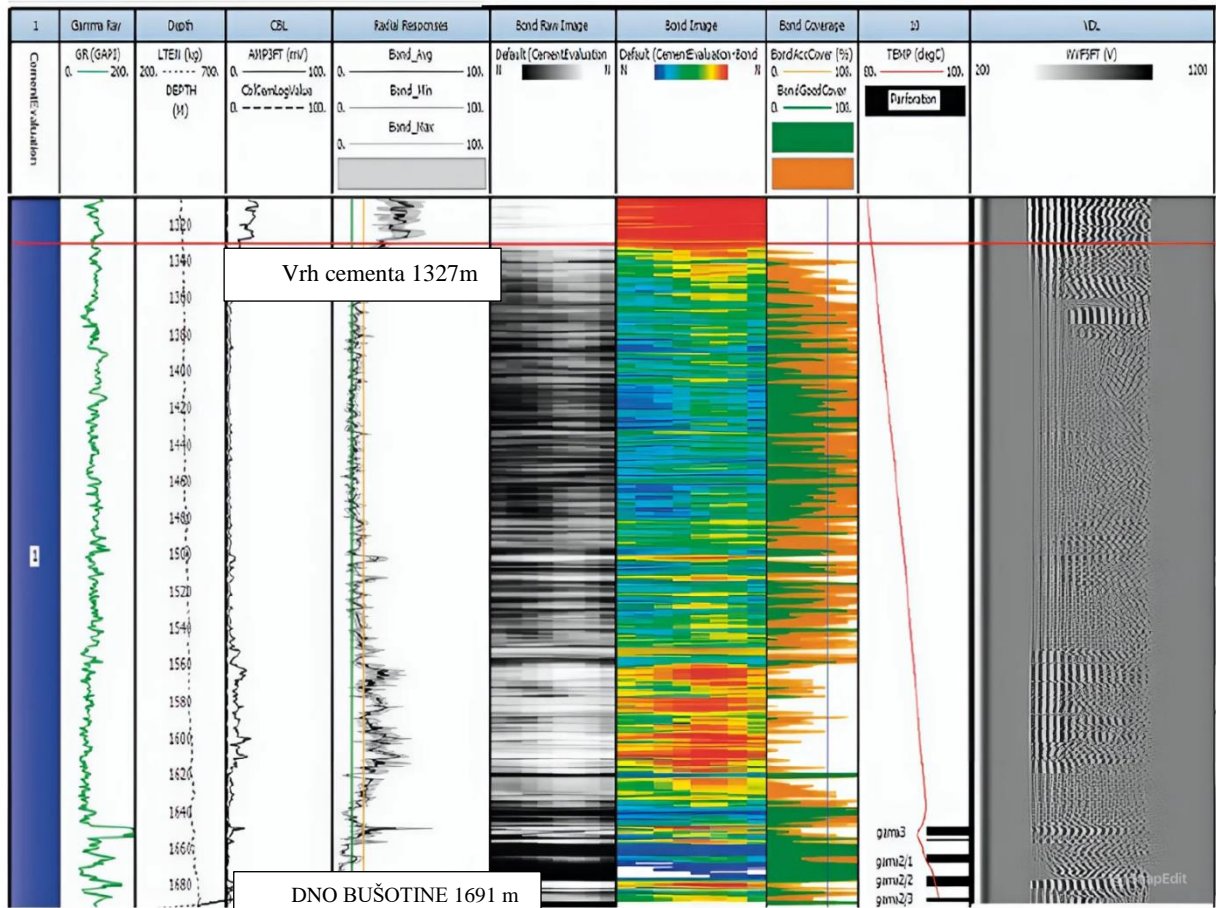
Slika 5-8. Oštećenja od perforacija (Jančiković, 2023)



Slika 5-9. Uvećani prikaz oštećenja od perforacija (Jančiković, 2023)

Rezultati se prikazuju tablično, tako da se svakoj koloni dodijeli jedna od 5 klasa oštećenja: klasa 1 je za oštećenja od 0 do 20%, a klasa 5 veće od 80% nominalne debljine stijenke. Mjerenjem sondom CIT i kaliperom MFC, dobiva se jednaki prikaz, tj. oštećenja su potvrđena s oba mjerenja (Jančiković, 2023).

Mjerenjem RIB-a, dobiveni podaci prikazuju se uporabom Interactive Petrophysics programa (proizvođač Lloyd's register), a ulazni podaci uključuju jediničnu težinu kolone, vanjski promjer i tlačnu čvrstoću cementnog kamena. Mjerenjem i programskom obradom, iz dobivenih podataka (Slika 5-10) može se iščitati zona dobre cementacije, djelomične cementacije te vrh cementa (Jančiković, 2023).



Slika 5-10. Podaci dobiveni mjerenjem i obradom (Jančiković, 2023)

6. ZAKLJUČAK

Održavanje integriteta kolone zaštitnih cijevi ima jednu od najvažnijih uloga prilikom utiskivanja CO₂ radi povećanja iscrpka nafte. Zbog mogućeg korozivnog djelovanja ugljikovog dioksida u kombinaciji s vodom, treba pripaziti kod cementacije, odnosno da ne dođe do propuštanja treba se dovoljno dobro izvesti cementacija. Stanje kolone, pa tako i uspješnost cementacije i perforacije, mogu se isčitati iz karotažnih mjerenja. Budući da se proizvodnja nastoji povećati i optimizirati, uporaba karotažnih mjerenja je od velikog značaja u procjeni stanja kolone i integriteta bušotine. Mjerenja daju uvid u već postojeća oštećenja, a time se mogu spriječiti i potencijalna buduća oštećenja. Bitna su jer, ukoliko se uspije utjecati na buduća potencijalna oštećenja, time se smanjuju troškovi koji su od velikog značaja prilikom proizvodnje nafte te se nastoje svesti na minimum.

Spomenuta karotažna mjerenja, kao i obrada podataka istih, važni su proizvodnom inženjeru koji, ukoliko postoje oštećenja ili propuštanja, dalje pokušava proizvodnju nafte optimizirati te na što efikasniji način povećati iscrpak nafte, a smanjiti troškove.

7. LITERATURA

1. BAKER, R., 2004., *Oil and Natural Gas: Offshore Operations*. Encyclopedia of Energy. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B012176480X002588> (17.08.2024.)
2. DAI, C., YOU, Q., ZHAO, M., ZHAO, G., ZHAO, F. 2023. *Principles of Enhanced Oil Recovery*. Kina: Springer, China University of Petroleum Press
3. Drilling Manual, 2022. URL: <https://www.drillingmanual.com/vdl-log-variable-density-tools-interpretation/#more-9507> (13.09.2024.)
4. FERTL, W. H., PILKINGTON, P. E., SCOTT, J.B., 1974. *A Look at Cement Bond Logs*. Journal of Petroleum Technology, 26 (6), str. 607-617.
5. FRISCH, G., GRAHAM, GRIFFITH, J. 2000. *A Novel and Economic Processing Technique Using Conventional Bond Logs and Ultrasonic Tools for Enhanced Cement Evaluation*. SPWLA 41th, Annual Logging Symposium.
6. GAURINA-MEĐIMUREC, N., PAŠIĆ, B. 2011. *Design and mechanical integrity of CO₂ injection wells*. Stručni rad. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Rudarsko-geološko-naftni zbornik, vol.23, str. 1-8.
7. HILL, A.D. 1990. *Production Logging- Theoretical and Interpretive Elements*. SPE Monograph Series, Volume 14, str. 122.-137.
8. JANČIKOVIĆ, B. 2023. *Elektrokarotažna mjerenja za procjenu integriteta kolone*. Nafta i plin, 43(176-177), str. 90.-97.
9. LEE, K.S., CHO, J., LEE, J.H. 2020. *CO₂ Storage Coupled with Enhanced Oil Recovery*. Springer
10. OREŠKOVIĆ, J. 2021.a. Vježbe iz kolegija 26960 Bušotinska karotaža. Osobni materijal. Sveučilište u Zagrebu
11. OREŠKOVIĆ, J. 2021.b. Ostale karotažne metode. Predavanje iz kolegija 26960 Bušotinska karotaža. Sveučilište u Zagrebu
12. OREŠKOVIĆ, J. 2021.c. Zvučna karotaža. Predavanje iz kolegija 26960 Bušotinska karotaža. Sveučilište u Zagrebu
13. PAŠIĆ, B. 2024. Perforiranje. Predavanje iz kolegija 27282 Opremanje i održavanje bušotina 1. Sveučilište u Zagrebu
14. PAŠIĆ, B. 2021. Zaštitne cijevi. Predavanje iz kolegija 27063 Tehnika izrade bušotina. Sveučilište u Zagrebu

15. PETROS, P., HEILWECK, M., MOORE, D. 2021. *Saving the Planet with Appropriate Biotechnology: 5. An action Plan*. Mexican Journal of Biotechnology. 6(2): 1-60. URL: https://www.researchgate.net/figure/Enhanced-Oil-Recovery-EOR-by-CO2-injection-with-some-storage-of-retained-CO2-The-CO2_fig2_350546310 (30.08.2024.)
16. RIDER, M., (2002). *The Geological Interpretation of Well Logs*. 2nd ed., Whittles Publishing.
17. REINICKE, K.M., BAI, M., BOCK, P., FICHTER, C., HOU, Z., KREBS, R., KRETZSCHMAR, H.-J., LUBENAU, U., MEYER, R., RAFIEE, M., ROCKMANN, R., SCHMIDT, M., SCHMITT, G., SCHMITZ, S., TEODORIU, C., WEICHMANN, M.J., WEINLICH, F.H., WERE, P., WUNDRAM, L., ZHANG, Y. 2013. *Well Integrity*. URL: [\(PDF\) Well Integrity \(researchgate.net\)](#) (30.08.2024.)
18. WILLIAMS, J.D.O., FELLGETT, M.W., QUINN, M.F., 2016. *Carbon dioxide storage in the Captain Sandstone aquifer: determination of in situ stresses and fault-stability analysis*. Petroleum Geoscience, Volume 22, str. 211-222.

IZJAVA

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

Gasperov



KLASA: 602-01/24-01/100
URBROJ: 251-70-12-24-2
U Zagrebu, 11. 9. 2024.

Sarah Gašperov, studentica

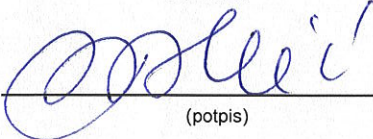
RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/24-01/100, URBROJ: 251-70-12-24-1 od 17.06.2024. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

PROCJENA UTJECAJA INTEGRITETA PROIZVODNE KOLONE ZAŠTITNIH CIJEVI NA RAD BUŠOTINA KOD PRIMJENE EOR METODE POVEĆANJA ISCRPKA NAFTE

Za mentora ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Izv. prof. dr. sc. Vladislav Brkić nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i komentora dr. sc. Zoran Čogelja.

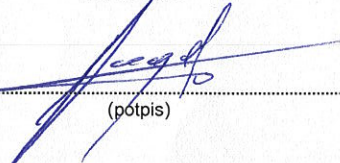
Mentor:


(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Vladislav Brkić

(titula, ime i prezime)

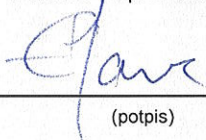
Komentor:


(potpis)

dr. sc. Zoran Čogelja

(titula, ime i prezime)

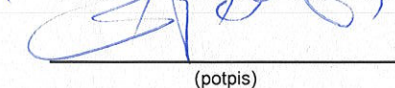
Predsjednica povjerenstva za
završne i diplomske ispite:


(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Karolina
Novak Mavar

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:


(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Borivoje
Pašić

(titula, ime i prezime)