

# Elektrokarotažna mjerenja za procjenu integriteta kolone

## Well integrity evaluation using well logging tools



**Branko Jančiković**  
INA-Industrija nafte, d.d.  
branko.jancikovic@ina.hr

**Ključne riječi:** Integritet bušotine, elektrokarotaža, CIT, gubitak magnetskog toka, MFC, RIB, akustična elektrokarotaža

**Key words:** Well Integrity, well logging, CIT, magnetic flux loss, MFC, RIB, acoustic well logging



### Sažetak

Produženjem proizvodnog vijeka bušotine uz primjenu EOR metode pojavila se povećana potreba za praćenjem integriteta bušotina. Primjenom različitih metoda elektrokarotažnih mjerenja koje se ponavljaju kroz definirani vremenski period postignuto je vrlo uspješno praćenje integriteta bušotine i povećati sigurnost prilikom proizvodnje.



### Abstract

Extending the life of the well and applying the EOR method, there was an increased need to monitor the well integrity. By applying multiple well logging measurements that we repeat over a defined period of time, we have successfully monitored the integrity of the well and increased safety during production.

## 1. Uvod

Od početka životnog vijeka bušotine u svrhu eksploatacije ugljikovodika, integritet bušotine je od najveće važnosti tijekom cijelog životnog ciklusa bušenja. Snimanjem elektrokarotažnim mjerenjima smanjuje

se i rizik od nekontroliranog oslobađanja i ispuštanja formacijskih fluida. Integritet bušotine uključuje integritet svih ugrađenih kolona; cementa, stanja proizvodne opreme, površinskih ventila, te ostale površinske opreme.

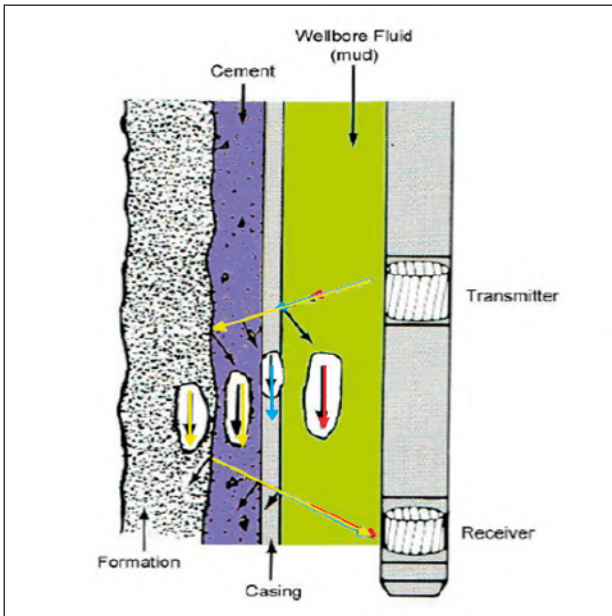
INA koristi EOR metode za dodatno povećanje proizvodnje, utiskivanjem CO<sub>2</sub> u ležište. Prikazat će se kako se kontrolira i prati dio integriteta, procjenom stanja proizvodne kolone i stanja cementa iza kolone. Upotrebom elektrokarotažnih mjerenja želi se spriječiti curenje CO<sub>2</sub> u pliče podzemne slojeve i osigurati visok stupanj očuvanja okoliša. Ukoliko se tijekom mjerenja utvrdi oštećenje kolone moguće je prilagoditi opremu koja se ugrađuje u bušotinu te spriječiti visoke troškove popravaka, povećati sigurnosti bušotine i efikasnost proizvodnje.

Elektrokarotažna mjerenja i metode koje koristimo u procjeni integriteta kolone:

- Akustična metoda za procjenu kvalitete veze cementa iza kolone;
- Elektromagnetsko mjerenje debljine stjenke;
- Mehanička metoda Kaliper – mjerenje oštećenja s unutrašnje strane kolone.

## 2. Akustična metoda za procjenu kvalitete veze cementa iza kolone

EK alat koji se koristi za procjenu kvalitete cementa iza kolone naziva se RIB (Radial Increment Bond Tool). Sastoji se od transmitera i dva prijemnika na

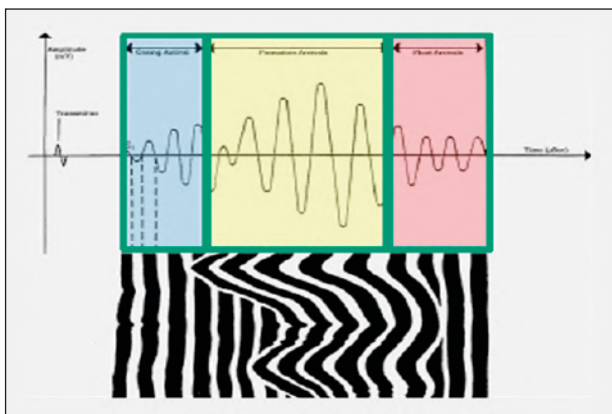


Slika 1.

udaljenosti 3 stope i 5 stope. Funkcionira na način da odašilje akustični val kroz fluid u bušotini, prolazi kroz kolonu, cement i formaciju te se odbija i vraća akustični signal nazad u prijemnik, gdje se pretvara u električni signal (slika 1.).

Poznato je vrijeme prolaza akustičnog signala kroz fluid i kolonu (željezo) bušotine, amplituda signala na vremenu očekivanog dolaska signala predstavlja kvalitetu veze cementa za kolonu. Mala vrijednost amplitude predstavlja dobru cementnu vezu, a velika amplituda predstavlja slabu vezu (slika 2.).

Na prijemniku udaljenosti 3 stope procjenjujemo kvalitetu cementa za kolonu, a na prijemniku udaljenosti 5 stope procjenjujemo vezu iz VDL signala. U slučaju dobre veze cementa za formaciju postoji signal odziva formacije. Alat se sastoji od 8 odjeljaka koji mjere radijalno kvalitetu cementa, te daju potvrdu kvalitete cementne veze po 360 stupnjeva kolone.



Slika 2.

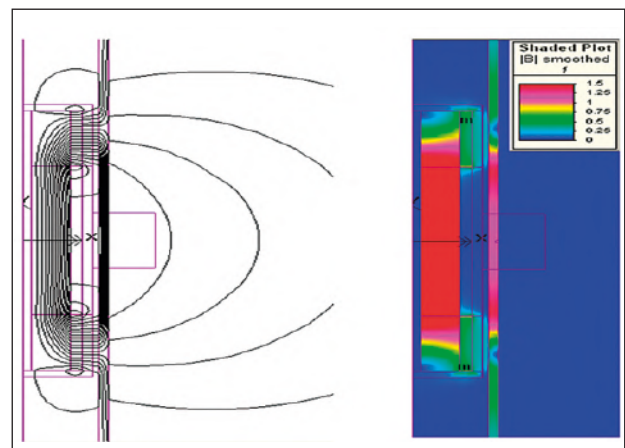
### 3. Elektromagnetsko mjerenje debljine stijenke

CIT – Casing Inspection Tool je alat koji sadrži 2 trajna magneta zaduženi za stvaranje snažnog magnetskog polja, što prikazuje slika 3. Koristi tehnologiju gubitka magnetskog toka kako bi odredio debljinu stjenki. Senzor koji sadrži alat CIT mjeri magnetski tok, a promjena magnetskog toka prikazuje promjenu debljine metala. Iz tih podataka vidimo promjene u debljini stijenke.

Ista tehnologija koristi se pri nadziranju većine cjevovoda, prikazano na slici 4. Osnovne primjene CIT alata su: mjerenje debljine stijenke, procjena korozije, unutrašnja i vanjska oštećenja, identifikacija centralizera kolone i utvrđivanje perforacija.



Slika 3.



Slika 4.

## 4. Mehanička metoda Kaliper

MFC-Multi-Finger Caliper je alat koji se sastoji od 40 „prstiju“ koji mjere vrlo male promjene na unutrašnjoj stjenki kolone – slika 5.

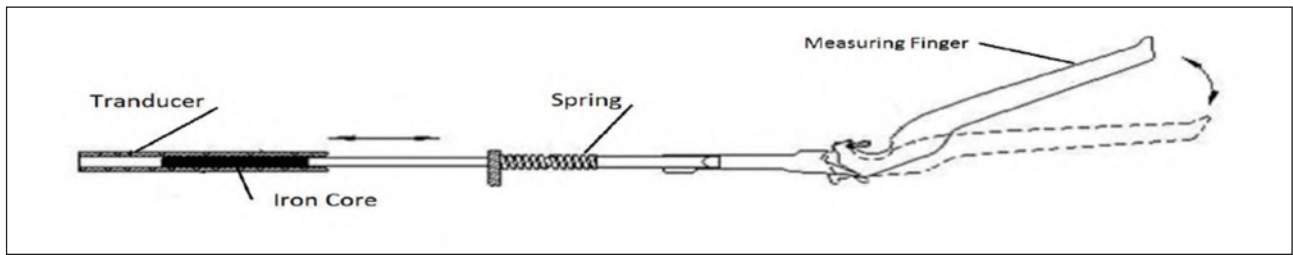
Djeluju na način da 40 neovisnih mehaničkih „prstiju“ preko opruge djeluju na senzor, a taj podatak šalju na površinu. Iz njih se očitavaju podaci o deformacijama unutrašnjeg stanja kolone. Alat je tijekom mjerenja centraliziran, kako bi se minimalizirao utjecaj nagiba bušotine na kvalitetu mjerenja – slika 6.

### Obrada podataka dobivenih elektrokarotažnim mjerenjima

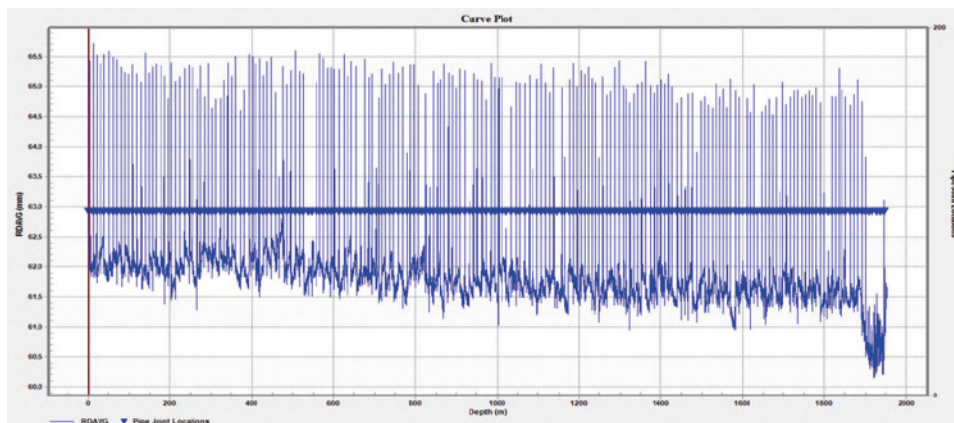
Nečistoće u bušotini mogu uzrokovati netočnost podataka. Kako bi dobili što kvalitetnije podatke, prije svakog mjerenja potrebno je bušotinu pročistiti bu-



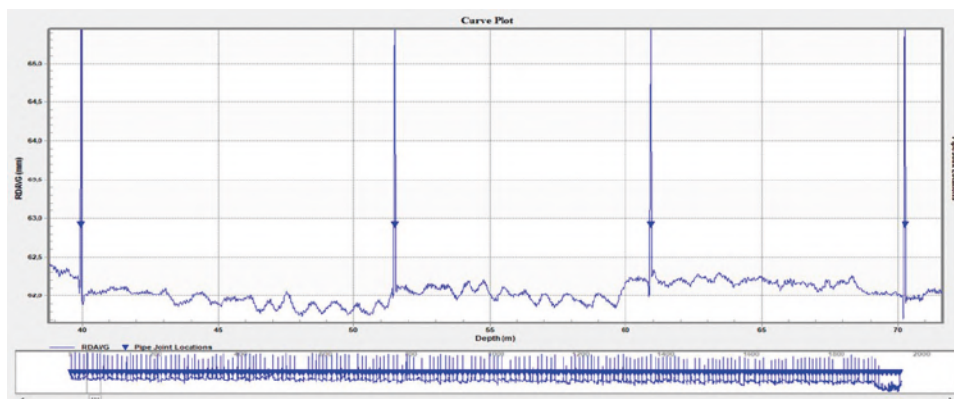
Slika 5.



Slika 6.



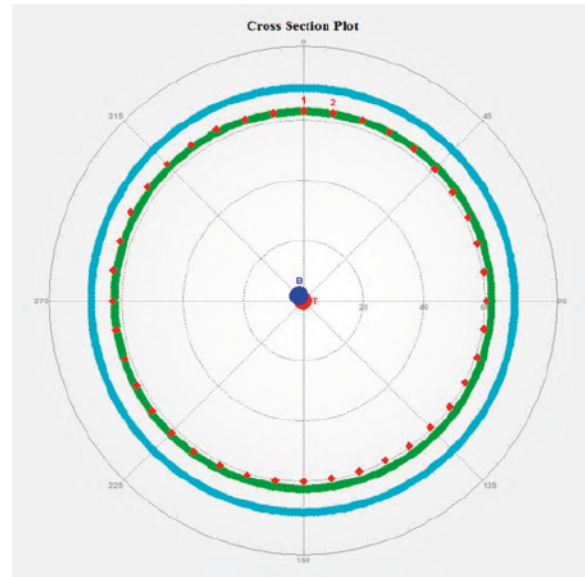
Slika 7.



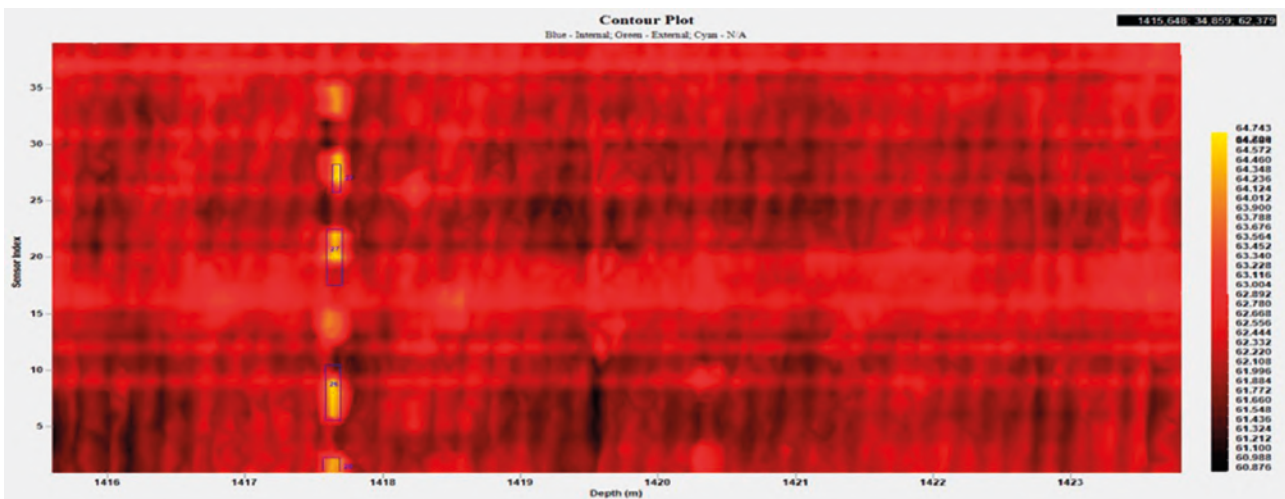
Slika 8.

dući da su metode CIT i MFS kontaktne. Za obradu podataka dobivenih mjerenjem CIT-a i MFC-a koristi se program SPARWORKS, poduzeća SPARTEK SYSTEMS, proizvođači i alata za izvođenje mjerenja. Podaci dobiveni iz ova dva načina mjerenja slično se obrađuju. Kod obrade podataka prvo se dubinski korelira i lociraju se spojnice. Spojnice nisu uključene u interpretaciju, prikazano na slikama 7. i 8.

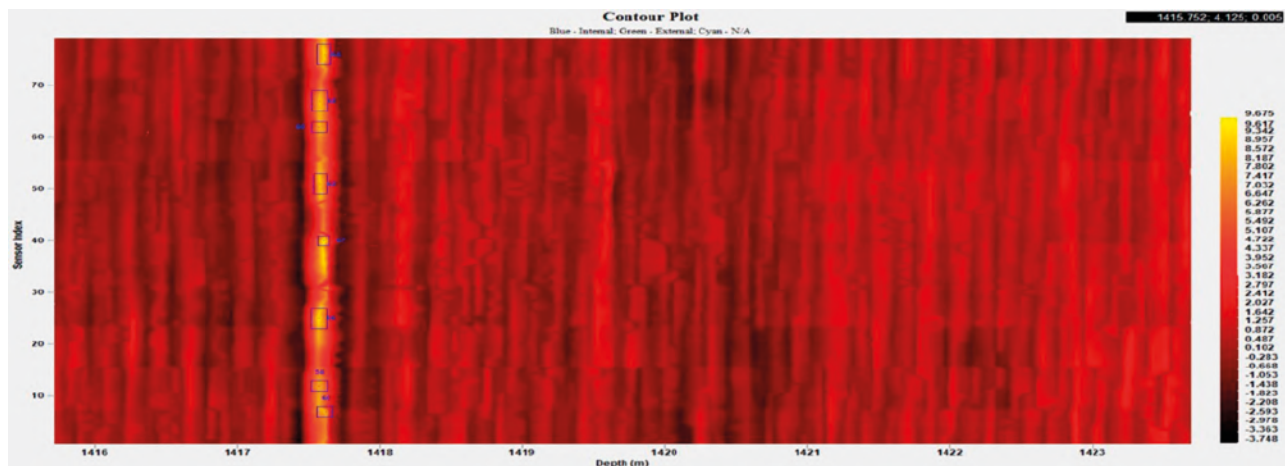
Krivulje se centraliziraju, jer unatoč tome što je alat u bušotini tijekom snimanja centraliziran, on nikad nije apsolutno centraliziran. Program na svakoj dubini optimizira središte krivulje za realne podatke, stvarajući nove vrijednosti, određujući točno središte. Krivulje na slici 9: plava kružnica prikazuje vanjski promjer kolone, zelena kružnica unutrašnji promjer kolone, a crvene točke prikazuju stvarna mjerenja.



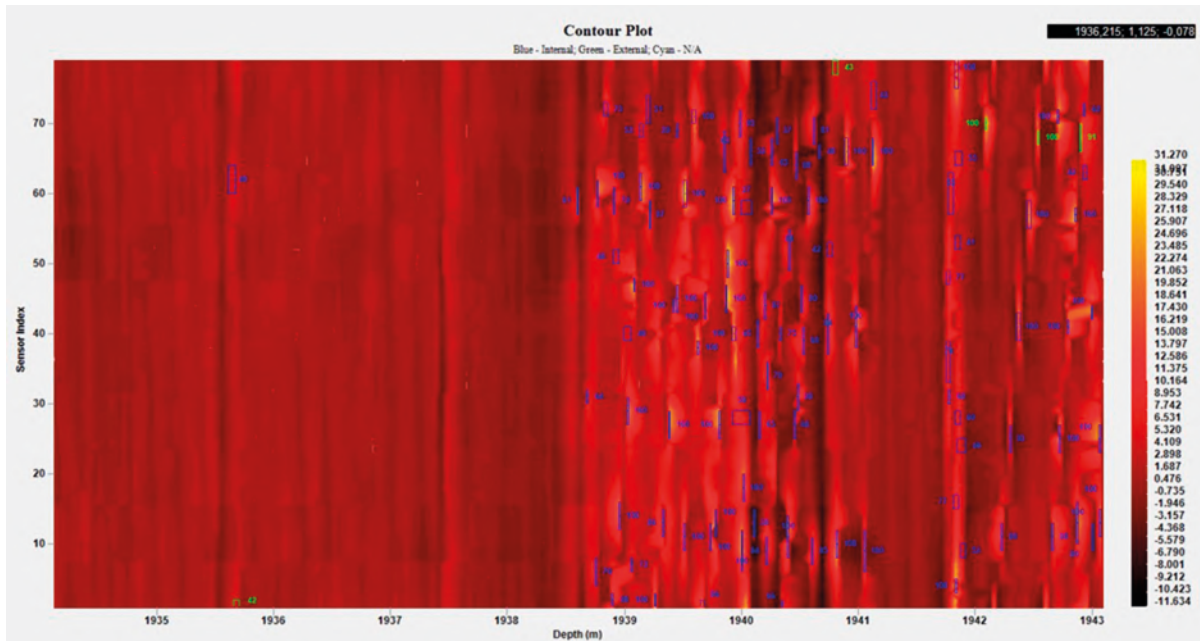
Slika 9.



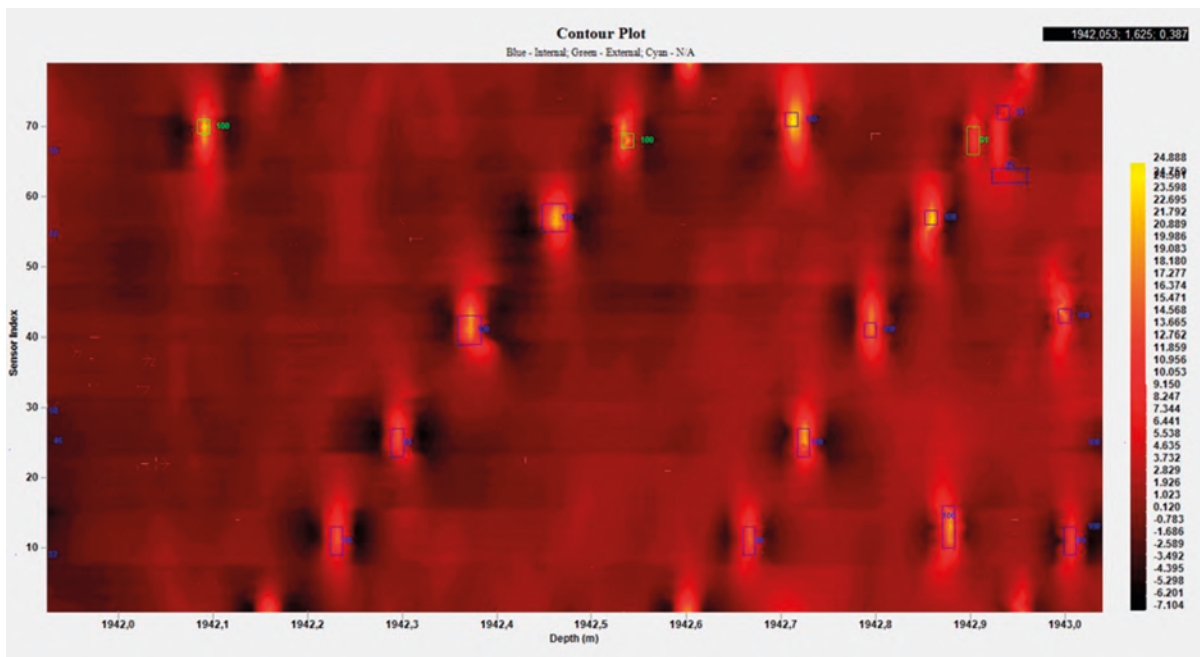
Slika 10.



Slika 11.



Slika 12.



Slika 13.

Plava točka u središtu predstavlja stvarni položaj alata, a crvena prikazuje programski izračunati centar.

Idući korak je stvaranje 2 D prikaza svake kolone između spojnica. Na osi X prikazana je dubina, a na osi Y broj senzora na alatu. Intenzitet boje označava oštećenje kolone. Slike 10. i 11. prikazuju oštećenje nastalo otvaranjem sidra, a potvrđene su s oba mjerenja. Informacije o oštećenjima prosljeđuje se proizvodnim inženjerima koji dizajn opreme prilagođavaju stvarnom stanju u koloni.

Slika 12. prikazuje oštećenja od perforacija, a slika 13 zumirani je prikaz.

Rezultati se eksportiraju u tabličnom prikazu, na način da se svakoj pojedinoj koloni dodjeljuje jedna od 5 klasa, temeljeno na najvećem detektiranom oštećenju. Klasa 1. od 0 do 20% oštećenja, klasa 5. oštećenje veće od 80% nominalne debljine stijenke. Jednaki prikaz se dobiva iz oba mjerenja, i MFC i CIT. Slika 14. prikazuje tablicu podataka, a slika 15. je 3D prikaz perforacije.

### Joint Summary

Company: INA d.d. Well: Žu-265

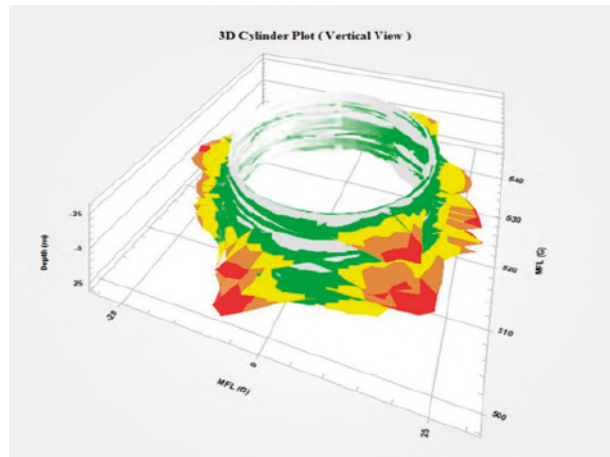
Legend: Nominal Casing Body Wall Penetration (%)

Class 1: < 20%	Class 2: 20% - 40%	Class 3: 40% - 60%	Class 4: 60% - 80%	Class 5: 80% +
----------------	--------------------	--------------------	--------------------	----------------

Remarks

Depth (m)	Top Depth (m)	Bottom Depth (m)	Outer Diameter (mm)	Weight (kg/m)	Inner Diameter (mm)	Thickness (mm)	Penetration (%)	Volume (m³)	Weight (kg)	Strength (psi)	Quality	ISO
195	1.834,99	9,85	139,70	125,73	3	55,0 %	3,14	1.844,42	12,40	5,0 %	EXT	ISO
196	1.844,85	9,46	139,70	125,73	3	50,8 %	3,44	1.845,26	49,60	2,5 %	EXT	ISO
197	1.854,31	9,51	139,70	125,73	1	0,0 %	6,98	1.854,31	0,00	0,0 %	NA	NA
198	1.863,82	9,46	139,70	125,73	1	0,0 %	6,98	1.863,82	0,00	0,0 %	NA	NA
199	1.873,28	10,16	139,70	125,73	1	0,0 %	6,98	1.873,28	0,00	0,0 %	NA	NA
200	1.883,45	8,70	139,70	125,73	1	0,0 %	6,98	1.883,45	0,00	0,0 %	NA	NA
201	1.892,23	9,70	139,70	125,73	1	0,0 %	6,98	1.892,23	0,00	0,0 %	NA	NA
202	1.901,99	8,71	139,70	125,73	1	0,0 %	6,98	1.901,99	0,00	0,0 %	NA	NA
203	1.910,70	9,72	139,70	125,73	3	41,0 %	4,12	1.911,15	37,20	2,5 %	EXT	ISO
204	1.920,42	8,98	139,70	125,73	1	0,0 %	6,98	1.920,42	0,00	0,0 %	NA	NA
205	1.929,40	10,03	139,70	125,73	4	61,2 %	2,71	1.938,61	706,90	5,0 %	INT	ISO
206	1.939,43	10,11	139,70	125,73	2	34,5 %	4,17	1.948,17	161,30	5,0 %	EXT	ISO
207	1.949,54	10,10	139,70	125,73	4	63,2 %	2,57	1.950,05	62,00	2,5 %	EXT	ISO
208	1.959,64	9,66	139,70	125,73	5	100,0 %	0,00	1.960,94	24,90	7,5 %	INT	ISO
209	1.969,30	9,28	139,70	125,73	3	49,5 %	3,53	1.971,29	24,60	7,5 %	EXT	ISO
210	1.978,16	9,19	139,70	125,73	5	100,0 %	0,00	1.980,194	24,90	5,0 %	EXT	ISO
211	1.988,36	8,70	139,70	125,73	5	100,0 %	0,00	1.991,07	24,90	5,0 %	EXT	ISO
212	1.997,12	10,31	139,70	125,73	5	100,0 %	0,00	2.002,00	24,90	7,5 %	EXT	ISO
213	2.007,43	10,19	139,70	125,73	5	100,0 %	0,00	2.008,98	24,90	7,5 %	EXT	ISO

Slika 14.



Slika 15.

Cement Evaluation

Setup Completion Collars Bond Formation Isolation Parameters Report

Completion

Casing

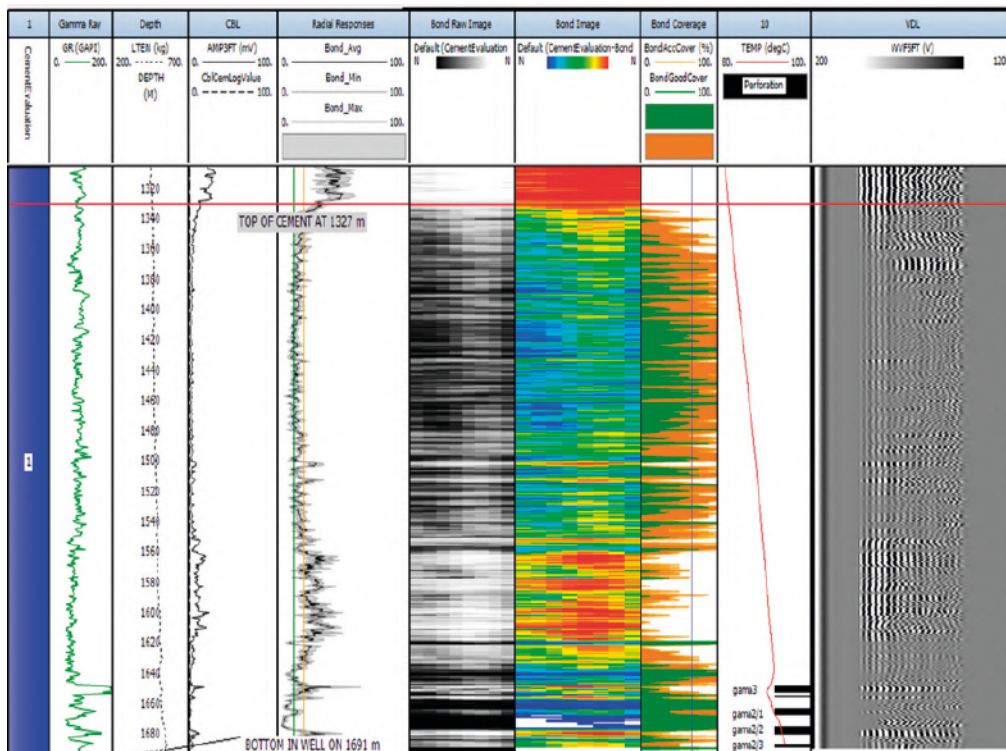
Top Depth	Bottom Depth	Outer Diameter	Weight	Inner Diameter	Thickness
0.00	450.00	9.625	47.000	8.581	0.47
0.00	1725.00	5.500	15.500	4.950	0.28

Cement

Expected Top Depth	Expected Bot Depth	Slurry Name	Expected Strength psi
1300.00	1711.00	CLASS H CEMENT	2500.00

Parameter Set Name: CementEvaluation

Slika 16.



Slika 17.

Podaci dobiveni mjerenjem RIB-a interpretiraju se upotrebom IP programa, proizvođača Lloyd's Register. U program je potrebno unijeti podatke: težinu kolone, vanjski promjer i kompresivnu snagu cementa, što prikazuje slika 16.

Slika 17. prikazuje podatke dobivene mjerenjem i programskom obradom. Na slici se mogu uočiti zone dobre cementacije, djelomične cementacije te vrh cementa.

Upotrebom gore navedenih alata te dobivanjem podataka korištenim programima dobiva se uvid u stanje kolone i mogućnosti daljnje eksploatacije iz bušotine, što je od velike važnosti za sva buduća djelovanja. Na taj način sprječavaju se moguća oštećenja i nastanak troškova, povećava se očuvanje sigurnosti bušotine i optimizira proizvodnja ugljikovodika eksploatacijskih bušotina.