

# Snimanje stijenke bušotine ultrazvučnim valovima

---

**Grašić, Patrik**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:345346>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-04**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Prije diplomski studij naftnog rudarstva

**SNIMANJE STIJENKE BUŠOTINE ULTRAZVUČNIM VALOVIMA**

Završni rad

Patrik Grašić

N4430

Zagreb, 2023.

## SNIMANJE STIJENKE BUŠOTINE ULTRAZVUČNIM VALOVIMA

Patrik Grašić

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za geofizička istraživanja i rudarska mjerenja  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

### Sažetak

Snimanje stijenke kanala bušotine omogućuje kompletnu interpretaciju karakteristika stijenke kanala bušotine na jednoj slici. Takva karotažna mjerenja omogućuje specijalno dizajnirana sonda koja se naziva ultrazvučni bušotinski skener (engl. *Acoustic borehole televiewer - ABHTV*). Takve sonde sadrže pretvornik koji funkcionira kao odašiljač i prijemnik. Odašiljač, koji može raditi na jako visokim frekvencijama od nekoliko stotina kHz do 2MHz, emitira ultrazvučne valove prema stijenci kanala bušotine te zatim mjeri amplitudu i prolazno vrijeme reflektiranih valova. Rezultat takvog mjerenja je slikovni zapis stijenke kanala bušotine izrazito visoke rezolucije u punom opsegu od 360°. Takav zapis može poslužiti za identifikaciju pukotina u slojevima, analizu stabilnosti kanala bušotine, te samim time prikaz različitih anomalija u bušotini. U ovom završnom radu bit će općenito opisan ABHTV, te njegova primjena i prikaz podataka ABHTV-a kompanije Schlumberger.

Ključne riječi: snimanje stijenke kanala bušotine, ABHTV, odašiljač i prijemnik, ultrazvučni val, stabilnost kanala bušotine

Završni rad sadrži: 19 stranica, 14 slika, i 14 referenci.

Jezik izvornika: Hrvatski

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

Mentor: Dr. sc. Jasna Orešković, izvanredna profesorica RGNf-a

Ocjenjivači: Dr. sc. Jasna Orešković, izvanredna profesorica RGNf-a  
Dr. sc. Sonja Koščak Kolin, docentica RGNf-a  
Dr. sc. Borivoje Pašić, izvanredni profesor RGNf-a

Datum obrane: 18.09.2023., Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu

## SADRŽAJ

<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>II</b>
<b>POPIS KORIŠTENIH KRATICA .....</b>	<b>III</b>
<b>POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I MJERNIH JEDINICA.....</b>	<b>IV</b>
<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. SNIMANJE STIJENKE BUŠOTINE ULTRAZVUČNIM SKENEROM (ABHTV) .....</b>	<b>2</b>
2.1 Nastajanje slikovnog zapisa sonde.....	2
<b>3. SONDA ABHTV KOMPANIJE SCHLUMBERGER .....</b>	<b>5</b>
3.1 Dijelovi sonde .....	5
3.1.1 Piezoelektrični pretvornik (odašiljač i prijemnik).....	6
<b>4. PRIMJENA MJERENJA ABHTV-OM.....</b>	<b>9</b>
4.1 Analiza stabilnosti kanala bušotine.....	11
4.1.1. Detekcija žlijeba stijenke bušotine .....	11
4.1.2. Deformacija stijenke kanala bušotine .....	13
4.1.3. Smicanje stijena u bušotini duž pukotina .....	14
<b>5. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>17</b>
<b>6. LITERATURA.....</b>	<b>18</b>

## POPIS SLIKA

Slika 2-1. Spiralna slika kao rezultat snimanja sondom ABHTV .....	3
Slika 2-2. Slojevi koji presijecaju bušotinu pod nekim kutom prikazani u obliku sinusoide .....	4
Slika 3-1. ABHTV kompanije Schlumberger .....	5
Slika 3-2. Piezoelektrični pretvornik (odašiljač i prijemnik).....	6
Slika 3-3. Dva načina mjerenja sondom ovisno o rotaciji pretvornika.....	7
Slika 3-4. Četiri dostupne dimenzije pretvornika .....	8
Slika 4-1. Slikovno prikazana amplituda reflektiranog vala s lijeve strane te radijusa bušotine s desne strane. Podaci prikazuju deformaciju stijenske kanala bušotine, te pukotine u sloju .....	9
Slika 4-2. GPIT sonda za orijentaciju slike .....	10
Slika 4-3. Efekt ključanice na slikovnom zapisu sonde, prikazan tamnom bojom u sredini .....	12
Slika 4-4. Prikazuje dijagram poprečnog presjeka bušotine sa Slike 4-3. koji ukazuje na ključanicu (K).....	12
Slika 4-5. Slikovni zapis sonde koji prikazuje deformacije stijenske kanala bušotine (engl. <i>borehole breakouts</i> ).....	13
Slika 4-6. Ovalna proširenja (B) bušotine na sjeverozapadnoj i jugoistočnoj strani bušotine.....	14
Slika 4-7. Smicanje stijena u bušotini duž pukotina.....	15
Slika 4-8. Poprečni presjek bušotine sa Slike 4-7. koji prikazuje povećanje promjera bušotine na dubini pojave smicanja (S) stijena duž suprotnih strana pukotina.....	16

## **POPIS KORIŠTENIH KRATICA**

ABHTV – sonda za snimanje kanala bušotine zvučnim valovima (engl. *Acoustic borehole televiewer*)

GPIT – inklinometar opće namjene (engl. *General purpose inclinometry tool*)

## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I MJERNIH JEDINICA

OZNAKA	MJERNA JEDINICA	OPIS
-	Hz	Herc, mjerna jedinica za frekvenciju
-	kHz	Kiloherc, 1kHz = 1000Hz
-	MHz	Megaherc, 1MHz = 1000000Hz
-	mm	milimetar, mjerna jedinica za dužinu

## 1. UVOD

Kanal bušotine mora biti stabilan da bi bušotina mogla obavljati svoju funkciju kao što je npr. proizvodnja ugljikovodika. Nestabilnost kanala bušotine ozbiljno narušava njene funkcije što može rezultirati smanjenjem radnog vijeka te potencijalnim gubitkom bušotine kao rudarskog objekta. Karotažna mjerenja se izvode pomoću sonde spuštene u bušotinu, odnosno najčešće izvlačenjem sonde kada se registrira fizikalna veličina koju mjerimo te se rezultat prikazuje pomoću dijagrama. Cilj ovog završnog rada je objasniti te prikazati metodu primjene ultrazvučnog bušotinskog skenera (engl. *Acoustic borehole televiewer - ABHTV*) za snimanje stijenke kanala bušotine koja pripada zvučnoj karotažnoj metodi mjerenja, ali u novijoj tehnologiji. Prednosti takvog načina karotažnih mjerenja su točnija i pouzdanija interpretacija sedimentnih oblika, točnija procjena proizvodnog sloja, poboljšani opis ležišta te kompletna interpretacija na jednoj slici. Takva mjerenja omogućuju analizu stanja zaštitne kolone te kvalitete cementacije, identifikaciju pukotina u sloju, detekciju kaverni te analizu slojevitosti stijena (Perić, 2007). Snimanje stijenke kanala bušotine podrazumijeva upotrebu sondi koje koriste odašiljače izrazito visokih frekvencija od nekoliko stotina kHz do čak 2 MHz za razliku od klasičnih sondi zvučne karotaže koje koriste odašiljače frekvencija do 25kHz. Takve visoke frekvencije postižu male valne duljine koje mogu iznositi tek do nekoliko milimetara (Ellis i Singer, 2008).

Mjerenje metodom ABHTV na taj način može pružiti potpuni vizualni pregled kanala bušotine vrlo visoke rezolucije. Dobiveni karotažni dijagram točno prikazuje gdje dolazi do nestabilnosti u kanalu bušotine te omogućuje jasnu analizu nastalih problema. Takav način karotažnih mjerenja omogućuje naftnim inženjerima te geolozima precizno izvođenje korektivnih mjera kako bi se spriječili takvi problemi. Primjer takvih mjera može biti povećanje gustoće isplake kako bi se spriječili problemi vezani uz deformacije stijenke kanala bušotine koje se pogoršavaju padom hidrostatskog tlaka.

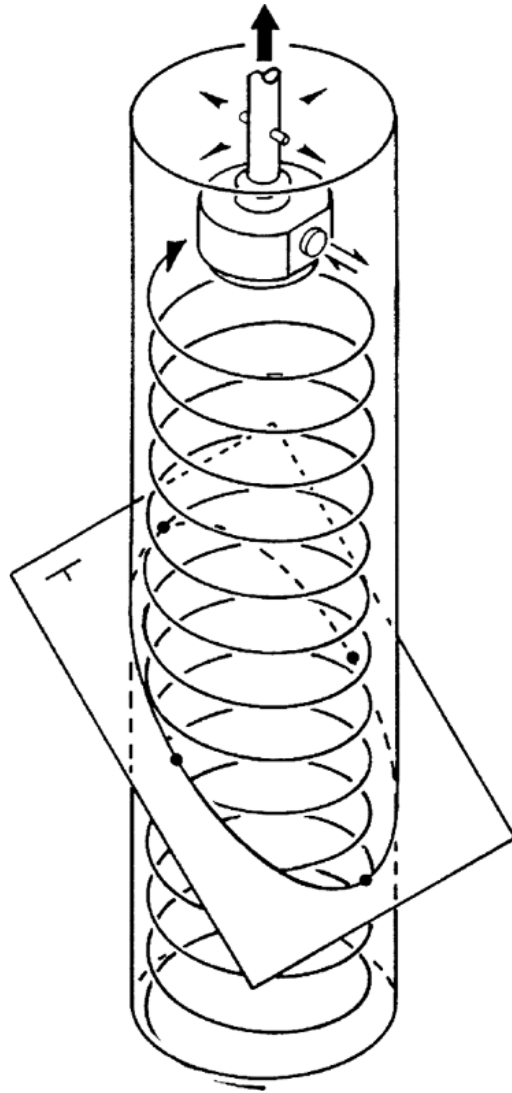


## 2. SNIMANJE STIJENKE BUŠOTINE ULTRAZVUČNIM SKENEROM (ABHTV)

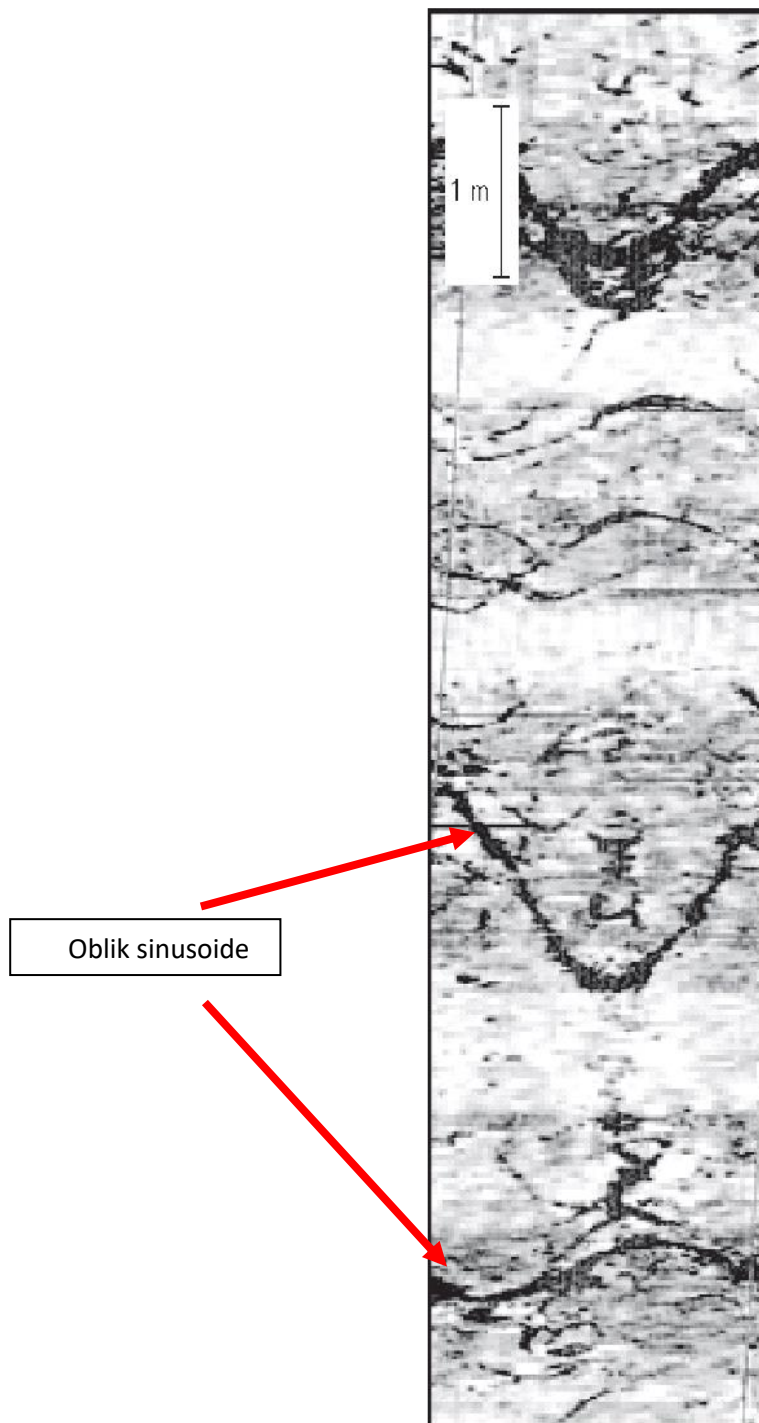
ABHTV je uređaj za snimanje stijenke kanala bušotine. Sama sonda koristi rotirajući piezoelektrični pretvornik koji funkcionira kao odašiljač i prijemnik. Rotacija pretvornika je omogućena pogonskim motorom (Ahmad, 2016). Pretvornik pri svakoj rotaciji skenira kanal bušotine te emitira ultrazvučne valove različitih frekvencija (Prensky, 1999). Iznos frekvencije emitiranih valova ovisi o uvjetima u bušotini, te o specifičnom razlogu primjene same sonde za snimanje stijenke kanala bušotine što će biti kasnije opisano u nastavku rada. Odašiljač emitira ultrazvučne valove koji prolaze kroz bušotinski fluid te se odbijaju od stijenke kanala bušotine te dolaze do prijemnika (United States Environmental Protection Agency, 2023). Mjeri se vrijeme putovanja te amplituda reflektiranog vala te se na taj način dobije slikovni zapis stijenke kanala bušotine izrazito visoke rezolucije. Osim rotirajućim pretvornikom, sonda može biti opremljena fiksnim pretvornikom s rotirajućim zrcalom koje usmjerava ultrazvučne valove prema stijenci bušotine (Williams, 2004). Intenzitet reflektiranih valova visok je za glatke površine tvrdih stijena i nizak za nepravilne površine, npr. pukotine (Lau, 2000). Dobiveni reflektirani valovi se digitaliziraju i obrađuju na računalu softverima razvijenim od strane različitih kompanija čime se omogućuje npr. 3D slikovni zapis u boji, prikaz promjera, smjera pružanja i kuta nagiba pukotina, detekciju žlijeba, tzv. ključanice (*engl. key seat*) u stijenci kosog kanala bušotine urezane kolonom bušaćih alatki, ovalna proširenja kao posljedice deformacije stijenke kanala bušotine, analizu stanja zaštitne kolone te kvalitete cementacije (United States Environmental Protection Agency, 2016). Snimanjem je pokriven puni opseg kanala bušotine u 360 stupnjeva.

### 2.1 Nastajanje slikovnog zapisa sonde

Prilikom velike brzine rotacije piezoelektričnog pretvornika, ABHTV stvara spiralnu sliku (Slika 2-1.) koja nastaje kao rezultat reflektiranog signala. Spiralne slike se "odmotavaju" i "izravnavaju", odnosno prikazuju u ravnini (2D zapisu) te su orijentirane prema sjeveru. Orijentacija sonde je omogućena pomoću magnetometra koji pruža informacije o rotacijskoj poziciji sonde, odnosno određuje azimut, zatim inklinometar nadzire nagib sonde, dok akcelerometar pruža kontinuirane podatke o brzini sonde. Posljedica "odmotavanja" i prikaza slike u ravnini može biti sinusoidalni oblik, primjerice slojeva koji presijecaju bušotinu pod nekim kutom kao što je na Slici 2-2. koja je dobivena na temelju mjerenja amplitude reflektiranog vala.



**Slika 2-1.** Spiralna slika kao rezultat snimanja sondom ABHTV (Ellis i Singer, 2008)



**Slika 2-2.** Slojevi koji presijecaju bušotinu pod nekim kutom prikazani u obliku sinusoide (Orešković, 2019)

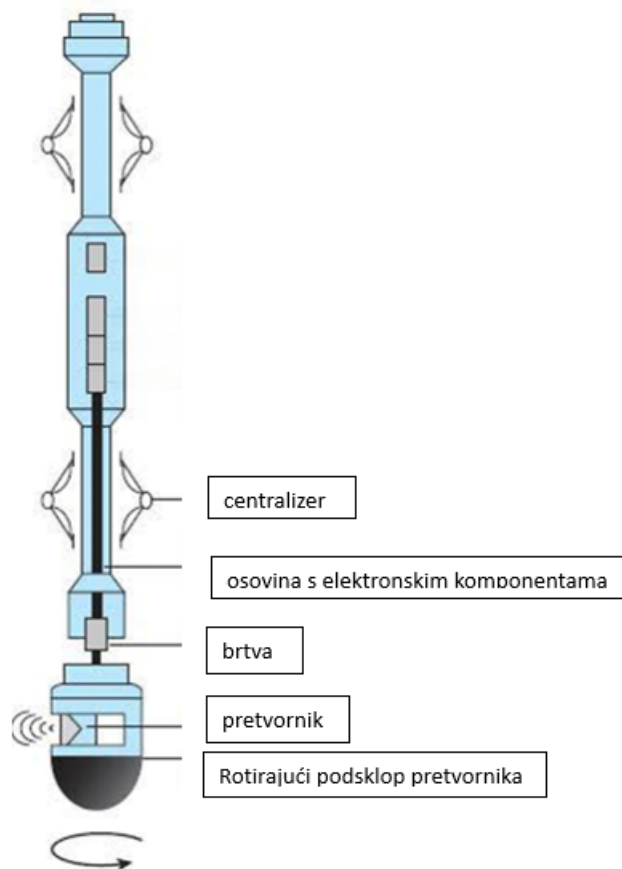
U nastavku rada bit će opisana sonda ABHTV kompanije Schlumberger te njena primjena i prikaz podataka.

### 3. SONDA ABHTV KOMPANIJE SCHLUMBERGER

ABHTV kompanije Schlumberger omogućava identifikaciju pukotina u sloju, analizu stabilnosti kanala bušotine te razumijevanje režima naprezanja bušotine koje može dati informaciju o deformaciji stijenke kanala bušotine te raznim anomalijama, kao što je žlijeb stijenke bušotine (engl. *keyseat*) ili detekcija klizanja stijena u bušotini duž pukotina. Ovaj tip ABHTV se poglavito koristi u nezacjevljenim bušotinama, ali se može koristiti i u zacjevljenim bušotinama, odnosno za detekciju korozije zaštitnih cijevi (Hayman, 1994). Tip isplake u kojoj se koristi su isplake na bazi vode i isplake na bazi ulja (Schlumberger, 2002).

#### 3.1 Dijelovi sonde

Sonda se sastoji od piezoelektričnog pretvornika (odašiljač i prijemnik), osovine s elektronskim komponentama, brtve, te jednog ili dva centralizera, iako je sonda relativno neosjetljiva na ekscentričnost, čak do 25.4 mm (Slika 3-1.).



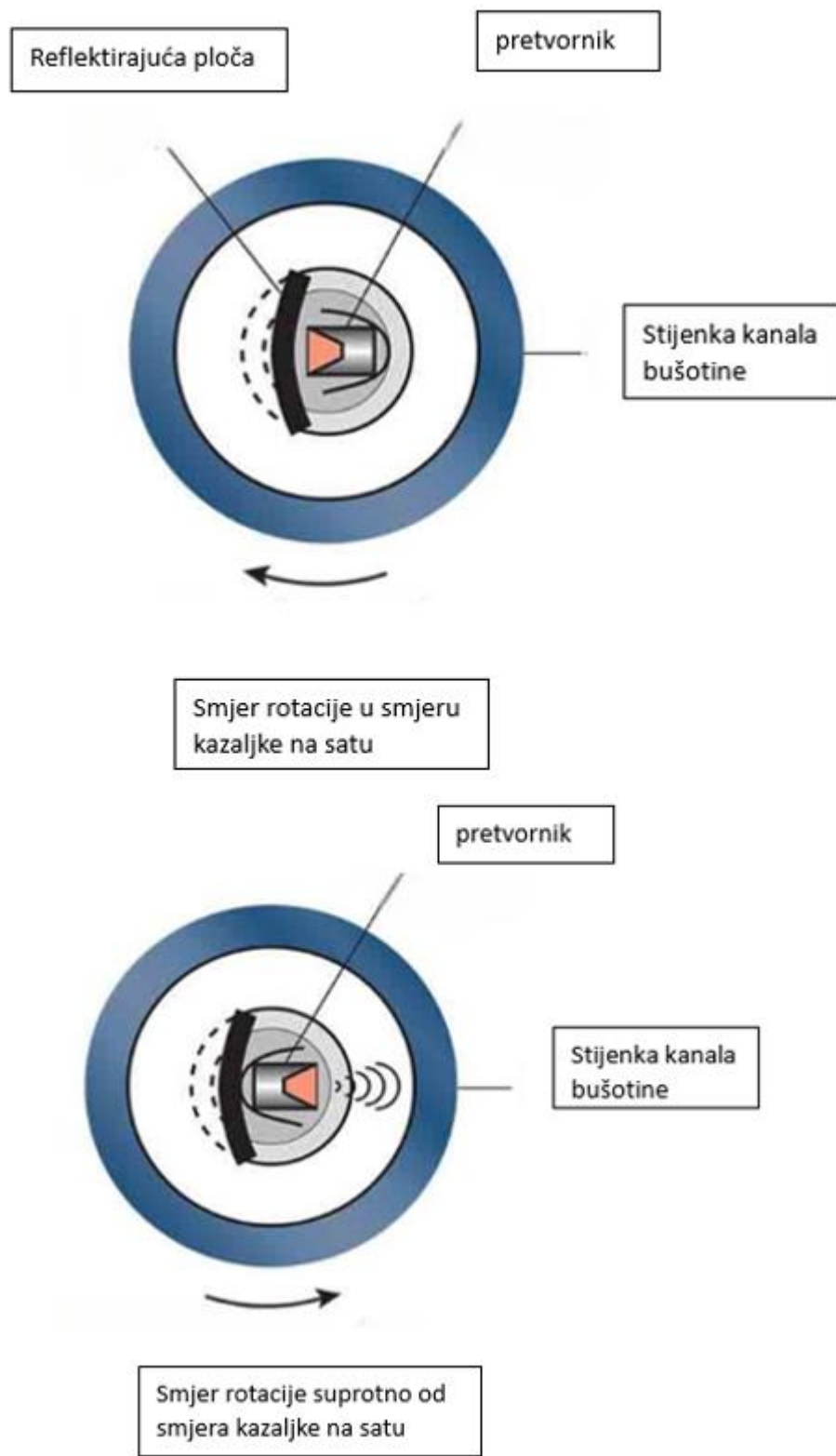
**Slika 3-1.** ABHTV kompanije Schlumberger (DIVISION OF MARINE AND LARGE PROGRAMS, 2023)

### 3.1.1 Piezoelektrični pretvornik (odašiljač i prijemnik)

Piezoelektrični pretvornik ima ulogu odašiljača i prijemnika (Slika 3-2.). Odašiljač i prijemnik sadrže materijale (kristali kvarca ili barijevog titanita) koji pokazuju piezoelektrični efekt. Takvi materijali kada su podvrgnuti mehaničkom naprezanju (stlačivanju ili rastezanju) induciraju električni napon (vrijedi i obrnuto), tj. dolazi do polarizacije kristala gdje će s jedne strane svoje površine kristal imati pozitivne naboje, a s druge strane imati negativno izražene naboje. Odašiljač pretvara električni napon u zvuk, a prijemnik pri promjeni tlaka uslijed nailaska ultrazvučnog vala pretvara ultrazvučni val u napon. Rotacija pretvornika je omogućena putem osovine pokretane motorom, a sonda uključuje i rotirajući podsklop pretvornika kako bi se omogućila dva načina mjerenja (Slika 3-3.). Smjer rotacije podsklopa diktira orijentaciju samog pretvornika. Rotacija suprotno od smjera kazaljke na satu je standardni način mjerenja koji omogućuje rotaciju pretvornika unutar samog kućišta tako da bude okrenut prema stijenci kanala bušotine, dakle taj način poglavito služi za snimanje stijenke kanala bušotine, dok rotacija podsklopa u smjeru kazaljke na satu omogućuje zakretanje samog pretvornika za  $180^\circ$  unutar kućišta pretvornika tako da bude okrenut prema reflektirajućoj ploči koja omogućuje mjerenje brzine zvučnog vala u isplaci (Hayman, 1994).

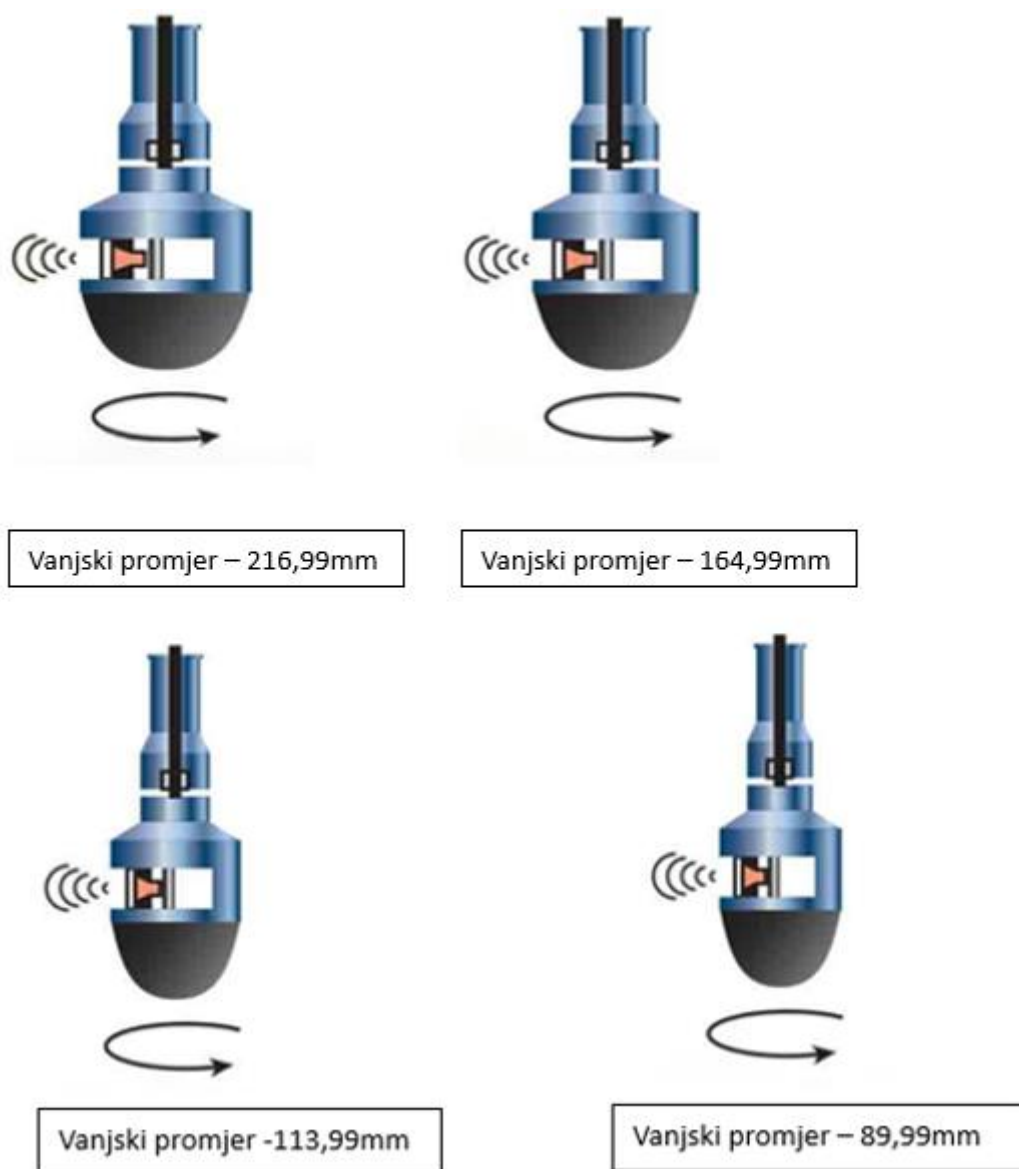


**Slika 3-2.** Piezoelektrični pretvornik (odašiljač i prijemnik) (Schlumberger, 2002)



**Slika 3-3.** Dva načina mjerenja sondom ovisno o rotaciji pretvornika (Schlumberger, 2002)

Pretvornik sonde kompanije Schlumberger dostupan je u četiri različite dimenzije kako bi se osigurala optimalna udaljenost od stijenki kanala bušotine ili zaštitnih cijevi, vanjskog promjera od 216,99 mm, 164,99 mm, 113,99 mm i 89,99 mm (Slika 3-4.).

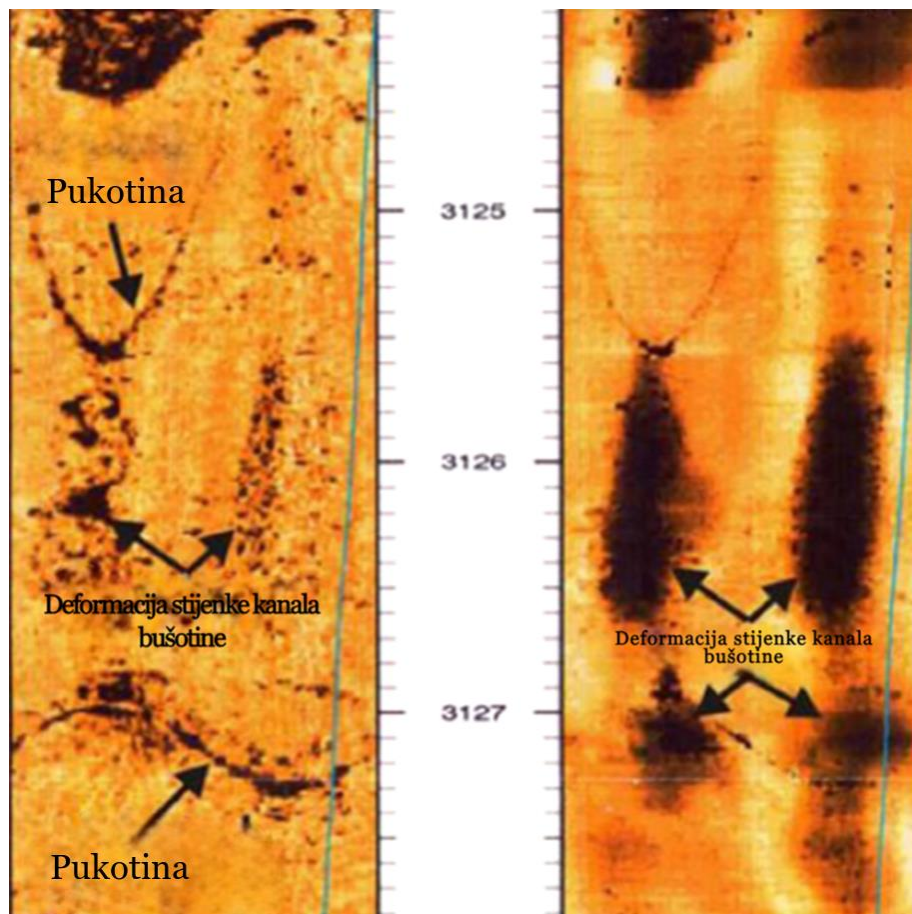


**Slika 3-4.** Četiri dostupne dimenzije pretvornika (Schlumberger, 2002)

#### 4. PRIMJENA MJERENJA ABHTV-OM

Pretvornik koji funkcioniра kao odašiljač i prijemnik precizno mjeri vrijeme putovanja te amplitudu reflektiranog vala tako što emitira ultrazvučne valove te ih registira nakon reflektiranja od stijenke kanala bušotine. Vrijeme potrebno ultrazvučnom valu da dođe do stijenke kanala bušotine te nazad do prijemnika daje informaciju o radijusu bušotine, izračunatog pomoću brzine ultrazvučnog vala u isplaci. Brzina je izmjerena pomoću sonde na putu prema dolje. Postoji mogućnost izbora između dvije fiksne frekvencije, a to su 250 ili 500 kHz (Schlumberger, 2002). Izbor frekvencije ovisi o uvjetima u bušotini, kao što su gustoća i vrsta isplake. Viša frekvencija pruža bolju rezolucije slike, ali zahtjeva manju brzinu mjerenja, dok niža frekvencija omogućuje pouzdano mjerenje u visoko dispergiranim isplakama.

Tipični prikaz slike dobivene sondom ABHTV uključuje amplitudu reflektiranog vala s lijeve strane te radijus bušotine s desne strane (Slika 4-1.).



**Slika 4-1.** Slikovno prikazana amplituda reflektiranog vala s lijeve strane te radijusa bušotine s desne strane. Podaci prikazuju deformaciju stijenke kanala bušotine, te pukotine u sloju (Zohreh i dr., 2014)



Proces ovakvog karotažnog mjerenja uključuje i opremu za obradu slikovnih zapisa koja je dostupna na površinskim jedinicama ili centrima za obradu podataka. Takva softverska oprema služi za daljnje poboljšanje slikovnih zapisa sonde primjenom filtera za smanjenje šuma te korigiranjem informacija o izmjerenom vremenu i amplitudi reflektiranih valova radi ekscentričnosti sonde te promjena u brzini mjerenja (Schlumberger, 2002).

Slike se orijentiraju kombiniranjem podataka iz inklinometra opće namjene (engl. *General purpose inclinometry tool - GPIT*) (Slika 4-2.). GPIT sonda koristi troosni inklinometar i troosni magnetometar kako bi se slika orijentirala prema sjeveru ili prema "višoj" strani bušotine u slučaju devijacije kanala bušotine (Schlumberger, 2004).



**Slika 4-2.** GPIT sonda za orijentaciju slike (Schlumberger, 2004)

Zatim se primjenjuje dinamička normalizacija (engl. *dynamic normalization*) na obje slike kako bi se istaknule njene bitne karakteristike. Stoga na Slici 4-1. koja predstavlja pukotine u sloju, i deformacije stijenske kanala bušotine (engl. *borehole breakouts*), tamne boje predstavljaju nisku amplitudu i velike radijuse. Deformacije stijenske kanala bušotine podrazumijevaju nepravilnu i grubu površinu, i kao takve se često prikazuju na slikama reflektirane amplitude kao široke zone niske amplitude, dok se na slici radijusa bušotine prikazuju kao široke zone velikog radijusa. Pukotine u sloju su slabi reflektori ultrazvučnih valova, stoga se prikazuju kao uske zone niske amplitude reflektiranog signala. Pukotine obično nisu povezane s proširenjem kanala bušotine i stoga se često ne prikazuju na slikama

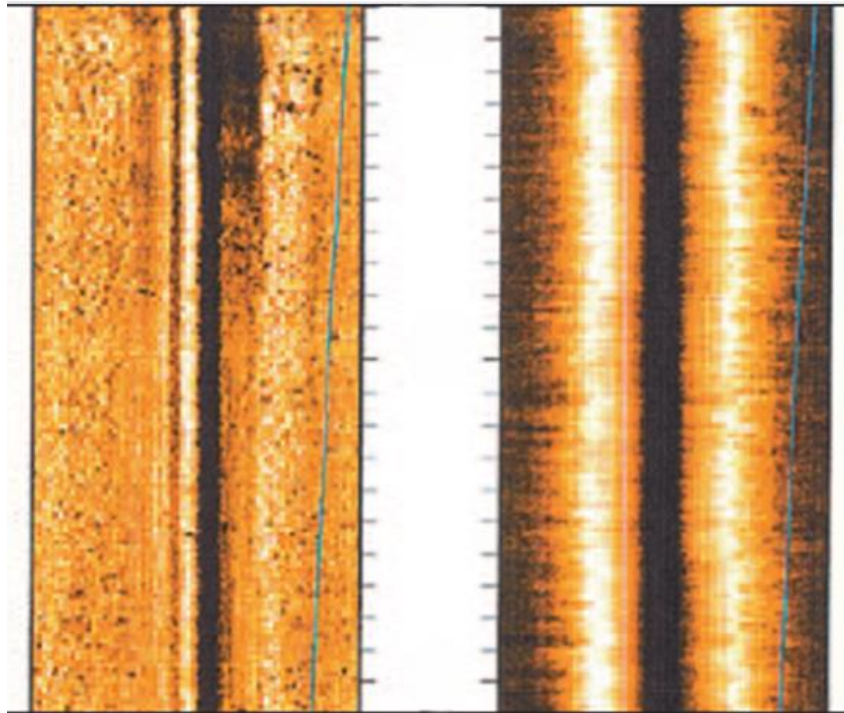
radijusa bušotine, no mogu se pojaviti kao uske zone povećanog radijusa bušotine (Schlumberger, 2002).

#### **4.1 Analiza stabilnosti kanala bušotine**

Analiza poprečnog presjeka te radijusa bušotine dobivenih primjenom ABHTV, daje precizno izvješće o stanju kanala bušotine, odnosno njenoj stabilnosti omogućujući jasnu i detaljnu analizu problema. Poprečni presjeci mogu se koristiti za automatsku dijagnozu anomalija bušotine poput ključanice (engl. *key seat*), deformacija stijenke kanala bušotine (engl. *borehole breakouts*), te posmika stijena u kanalu bušotine duž pukotina. Dijagrami poprečnih presjeka precizno određuju orijentaciju i ozbiljnost takvih problema. Posljedice mogu biti zaglavljenje šipki, gubitak vremena, opreme ili dijela bušotine te povećani troškovi bušenja (Schlumberger, 2002).

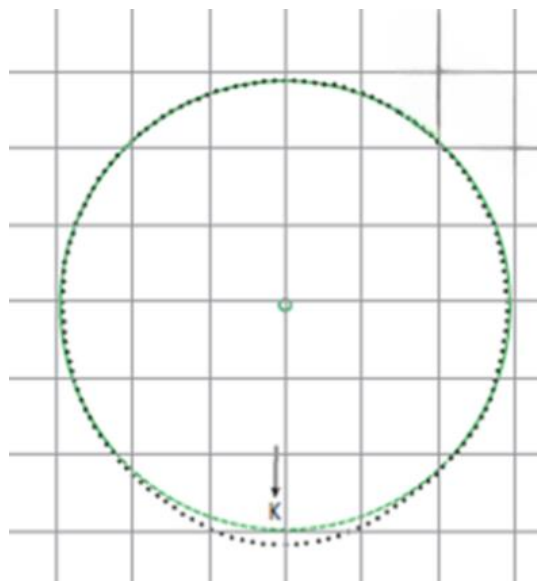
##### *4.1.1. Detekcija žlijeba stijenke bušotine*

Žlijeb stijenke bušotine ili ključanica (engl. *key seat*) nastaje prilikom naglih promjena smjera kanala bušotine i vučenjem bušaćih šipki kroz oštro zakrivljeni interval kanala bušotine. Do žlijeba najčešće dolazi u mekim stijenama pri čemu se javlja utor u stijenci kosog kanala bušotine urezanog kolonom bušaćih alatki (Perić, 2007). Slika 4-3. prikazuje karakteristični slikovni zapis sonde orijentiran prema vrhu bušotine. Ključanica se pojavljuje kao tamni pojas u sredini slike, što odgovara donjoj strani bušotine. Drugi tamni pojas na gornjoj strani bušotine rezultat je netočnog izračuna centra bušotine zbog postojanja ključanice (Schlumberger, 2002).



**Slika 4-3.** Efekt ključanice na slikovnom zapisu sonde, prikazan tamnom bojom u sredini (Schlumberger, 2002)

Efekt ključanice može postati opasnost pri bušenju kada je veličina proširenja dovoljna da primi bušaču ili tešku šipku, ali ne i stabilizatore ili dlijeto, te može uzrokovati zaglavljenje bušaće kolone pri izvlačenju iz bušotine. Ključanica može biti vidljiva na dijagramima poprečnog presjeka (Slika 4-4.). Iz dijagrama je vidljiv efekt ključanice na donjem dijelu presjeka bušotine (Schlumberger, 2002).



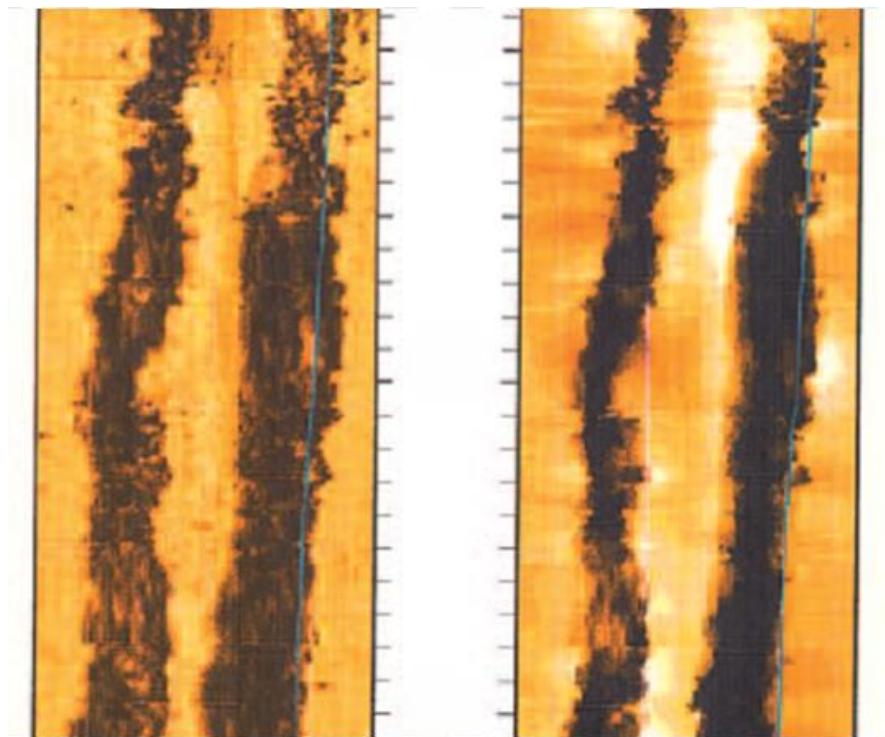
**Slika 4-4.** Prikazuje dijagram poprečnog presjeka bušotine sa Slike 4-3. koji ukazuje na ključanicu (K) (Schlumberger, 2002)

#### 4.1.2. Deformacija stijenke kanala bušotine

Horizontalna naprezanja u stijenama rijetko su nepromjenjiva. Gotovo uvijek su kompresijska i obično su veća u jednom horizontalnom smjeru od drugog zbog djelovanja tektonskih sila i rasjeda.

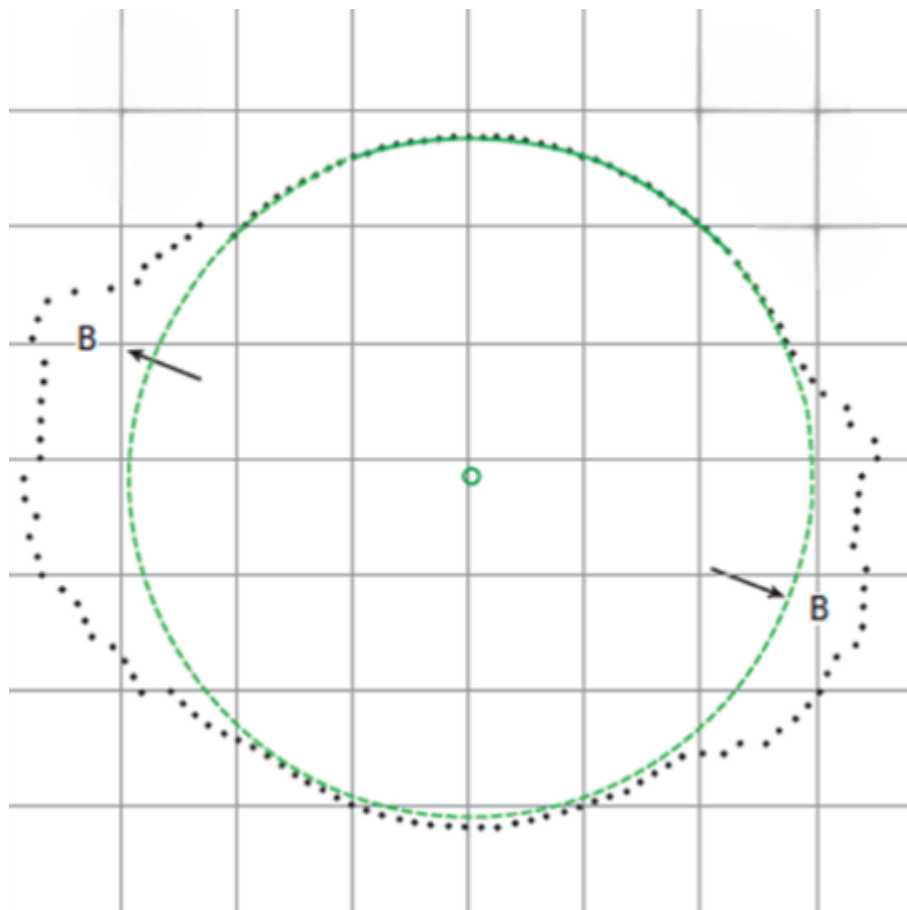
Ako je maksimalno horizontalno naprezanje u smjeru sjeverozapad-jugoistok, stijena blizu jugozapadnih i sjeveroistočnih strana bušotine doživljava veće tangencijalne kompresijske sile nego prije, ali i dalje u smjeru sjeverozapad-jugoistok. Povećano naprezanje može biti dovoljno da izazove kompresijsko oštećenje formacije, te može doći do otpadanja fragmenata stijena, i urušavanja na suprotnim stranama bušotine. Ovalna proširenja poznata su kao deformacija stijenke kanala bušotine (engl. *borehole breakout*) (Slika 4-5.).

Krhotine nastale deformacijom stijenka kanala bušotine mogu se nakupljati, uzrokujući zapinjanje bušaće šipke. Nastale deformacije stijenke kanala bušotine pogoršavaju se padom hidrostatskog tlaka, stoga se preporučuje povećanje gustoće isplake, kako bi se izbjegli takvi problemi (Schlumberger, 2002).



**Slika 4-5.** Slikovni zapis koji prikazuje deformacije stijenke kanala bušotine (engl. *borehole breakouts*) (Schlumberger, 2002)

Poprečni presjek bušotine (Slika 4-6.) može jasno prikazati deformacije stijenke kanala bušotine, odnosno ovalna proširenja na sjeverozapadnoj i jugistočnoj strani bušotine.

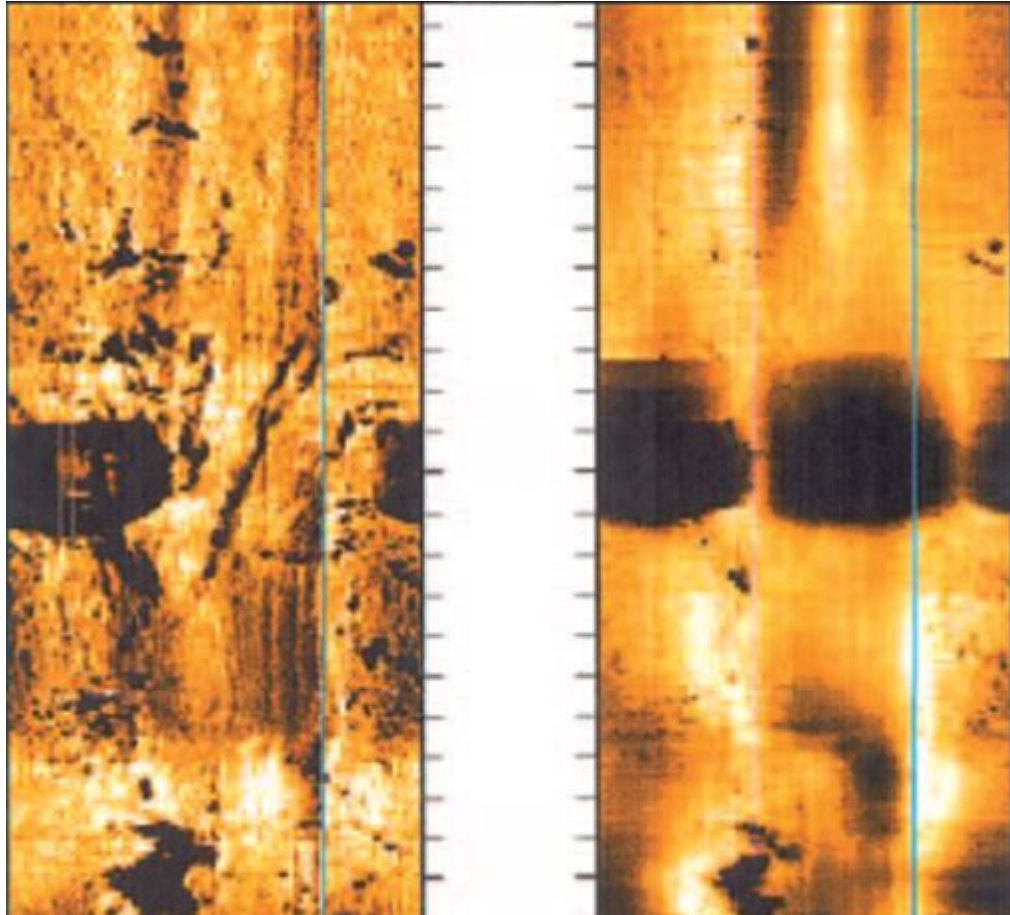


**Slika 4-6.** Ovalna proširenja (B) bušotine na sjeverozapadnoj i jugistočnoj strani bušotine (Schlumberger, 2002)

#### 4.1.3. Smicanje stijena u bušotini duž pukotina

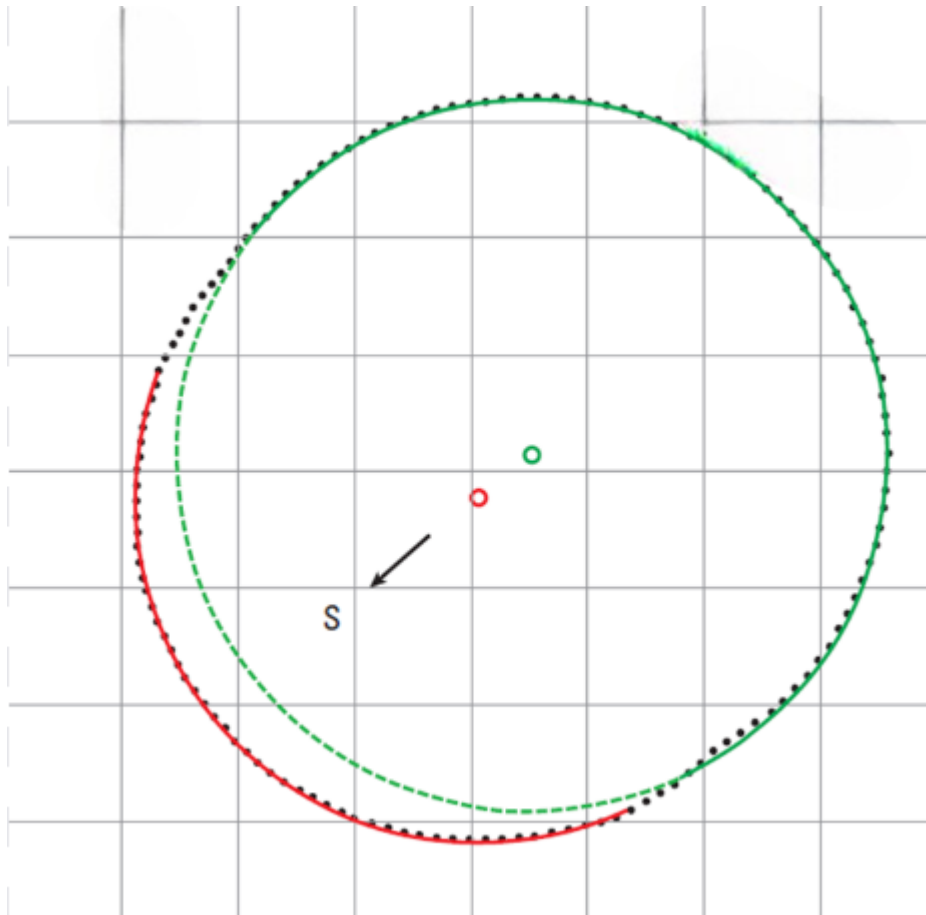
Prilikom izvođenja bušenja, može doći do prodiranja isplake u pukotine stijena, tako da hidostatski tlak isplake djeluje na površine pukotina. Ako je hidrostatički tlak veći od tlaka slojnog fluida (kako je i potrebno da bi se izbjegao dotok slojnog fluida), smanjuje se tlak zatvaranja same pukotine te trenje duž plohe pukotine. Posljedica toga je smicanje, odnosno klizanje stijena duž suprotnih strana pukotina, jedne u odnosu na drugu. Dakle, najvjerojatniji trenutak za pojavu smicanja je upravo nakon što dlijeto probije kroz pukotinu, te omogućiti isplaci pristup toj pukotini. Kada je pomak sloja značajan, postoji rizik da će doći do zaglavljenja dlijeta, krutog alata (engl. *bottom hole assembly*) ili bušaće šipke. Slikovni

zapis sonde na Slici 4-7. prikazuje smicanje stijena duž suprotnih strana pukotine jedne u odnosu na drugu što za posljedicu ostavlja proširenje kanala bušotine. Efekt je prikazan tamnim horizontalnim pojasom na slici radijusa s desne strane koji ponekad nije nužno kontinuiran (Schlumberger, 2002).



**Slika 4-7.** Primjer smicanja u bušotini, odnosno klizanje stijena duž suprotnih strana pukotine, jedne u odnosu na drugu prikazano tamnim horizontalnim pojasom (Schlumberger, 2002)

Poprečni presjek bušotine na Slici 4-8. jasno prikazuje klizanje stijena jedne u odnosu na drugu duž pukotine, odnosno povećanje promjera bušotine na dubini pojave smicanja.



**Slika 4-8.** Poprečni presjek bušotine sa Slike 4-7. koji prikazuje povećanje promjera bušotine na dubini pojave smicanja (S) stijena duž suprotnih strana pukotina ( Schlumberger, 2002)

Sve do pojave ultrazvučnog snimanja stijenke kanala bušotine (ABHTV) nije postojao učinkovit način potvrđivanja nastanka smicanja. Dijagnosticiranje smicanja je izuzetno važno za predviđanje i analizu stabilnosti kanala bušotine u tvrdim stijenama. Opći savjet je da prije povećavanja gustoće isplake kako bi se sanirali problemi s ovalnim proširenjima nastalim otpadanjem fragmenata stijena izloženim dodatnim naprezanjima (engl. *borehole breakouts*), treba provjeriti postojanje pukotina u stijeni.

## 5. ZAKLJUČAK

Snimanje stijenke kanala bušotine jedna je od tehnologija koje najbrže napreduju u karotažnim mjerenjima sondom na žici. Takva mjerenja osim što pružaju kompletnu interpretaciju na jednoj slici gdje se može uštedjeti i vrijeme i novac, pružaju brojne mogućnosti od kojih su najvažnije identificiranje pukotina u stijenama te analiza stabilnosti samog kanala bušotine. Sonde ultrazvučne karotaže koje se koriste za snimanje stijenke kanala bušotine omogućuju prikaz slikovnog zapisa kanala bušotine izrazito visoke rezolucije neovisno o tipu isplake u bušotini.

Sonda kompanije Schlumberger uključuje piezoelektrični pretvornik koji je ujedno odašljatelj i prijemnik ultrazvučnih valova te omogućuje snimanje kanala bušotine u 360°. Ultrazvučni valovi se odašilju prema stijenci kanala bušotine, te se precizno mjeri prolazno vrijeme i amplituda reflektiranog vala, gdje vrijeme reflektiranog vala ujedno pruža i informaciju o radijusu bušotine. Koristi dvije fiksne frekvencije, viša frekvencija pruža veću rezoluciju slike s manjom brzinom mjerenja, no manja frekvencija pruža bolju sliku u visoko dispergiranim isplakama.

Upravo, sonda ABHTV kompanije Schlumberger pruža napredne, softverski poboljšane slikovne zapise sa stopostotnom pokrivenošću stijenke kanala bušotine, gdje sama osjetljivost sonde na varijacije površine kanala bušotine čini sondu idealnom za identifikaciju pukotina te analizu stabilnosti kanala bušotine zajedno s razumijevanjem režima naprezanja u bušotini. Ovi podaci mogu ukazati na deformacije te anomalije u kanalu bušotine kao što su ključanica, ovalna proširenja nastala padom fragmenata stijena zbog povećanih naprezanja u bušotini ili detekciju smicanja stijena u bušotini duž pukotina. Stoga, snimanje stijenke bušotine ultrazvučnim valovima omogućuje naftnim inženjerima i geolozima olakšano poduzimanje korektivnih kako bi se spriječili takvi problemi koji utječu na stabilnost kanala bušotine.



## 6. LITERATURA

1. AHMAD, H. C. K., NIK, M. N. I., ZAIDI, I., NURUL, W. A. K., AZMI, I., & SAIFUL, A. J. 2016. *Acoustic and Optical Televiewer Borehole Logging*.
2. ELLIS, V.D., SINGER, J. M., 2008. *Well Logging for Earth Scientists*. Springer, Dordrecht, 2nd Edition.
3. HAYMAN, A. J., PARENT, P., CHEUNG, P., & VERGES, P. 1994. *Improved borehole imaging by ultrasonics*. In SPE Annual Technical Conference and Exhibition, pp. SPE-28440.
4. LAU, K. C. 2000. *A review of downhole geophysical methods for ground investigation*. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, Hong Kong.
5. OREŠKOVIĆ, J., 2019. *Bušotinska karotaža : BK ostale metode, nastavni materijali ak.godine 2019./2020*.
6. PERIĆ, M., 2007.: *Englesko hrvatski enciklopedijski rječnik istraživanja i proizvodnje nafte i plina*. INA, Zagreb, str. 22-23
7. PRENSKY, S. E. (1999). *Advances in borehole imaging technology and applications*. Geological Society, London, Special Publications, 159(1), 1-43.
8. SCHLUMBERGER, 2002. *Advanced borehole imaging independent of mud type*
9. SCHLUMBERGER, 2004. *GPIT General Purpose Inclinometry Tool*
10. WILLIAMS, J. H., & JOHNSON, C. D. (2004). *Acoustic and optical borehole-wall imaging for fractured-rock aquifer studies*. *Journal of Applied Geophysics*, 55(1-2), 151-159.

11. ZOHREH, M., JUNIN, R., & JEFFREYS, P. 2014. *Evaluate the borehole condition to reduce drilling risk and avoid potential well bore damages by using image logs*. Journal of Petroleum Science and Engineering, 122, 318-330.

**WEB izvori :**

12. DIVISION OF MARINE AND LARGE PROGRAMS, 2023.  
*ULTRASONIC BOREHOLE IMAGER (UBI\*)*  
URL:<https://mlp.ideo.columbia.edu/logdb/technology/schlumberger-wireline-tools/ultrasonic-borehole-imager-ubi/#> (11.08.2023)
13. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2016.  
*Acoustic Logging*  
URL:[https://archive.epa.gov/esd/archive-geophysics/web/html/acoustic\\_logging.html](https://archive.epa.gov/esd/archive-geophysics/web/html/acoustic_logging.html) (15.08.2023)
14. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2023.  
*Borehole Acoustic Televierer (ATV)*  
URL:<https://www.epa.gov/environmental-geophysics/borehole-acoustic-televierer-atv> (10.08.2023.)

## **IZJAVA**

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

Patrick Grašić



KLASA: 602-01/23-01/51  
URBROJ: 251-70-12-23-2  
U Zagrebu, 12.09.2023.

**Patrik Grašić, student**

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/23-01/51, URBROJ: 251-70-12-23-1 od 08.05.2023. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### SNIMANJE STIJENKE BUŠOTINE ULTRAZVUČNIM VALOVIMA

Za mentoricu ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada izv. prof. dr. sc. Jasna Orešković nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentorica:

(potpis)

izv. prof. dr. sc. Jasna Orešković

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Luka Perković

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)