

# Izrada bušotina uz primjenu lajnera

---

**Potočki, Ivona**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2016**

*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:169:590115>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**



*Repository / Repozitorij:*

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



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

**IZRADA BUŠOTINA UZ PRIMJENU LAJNERA**  
Diplomski rad

Ivona Potočki  
N 178

Zagreb, 2016.

Izrada bušotina uz primjenu lajnera  
IVONA POTOČKI

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za naftno inženjerstvo  
Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb

Sažetak

U diplomskom radu opisana je izrada bušotina uz primjenu lajnera. Lajner je kolona zaštitnih cijevi koja se proteže od dna bušotine do oko 50 m unutar prethodne kolone zaštitnih cijevi. Osim za zacjevljenje kanala bušotine, lajner se može koristiti i tijekom izrade kanala bušotine. Prednost izrade kanala bušotine pomoću lajnera je u manjim troškovima te u kraćem vremenu koje je potrebno za njegovu ugradnju. U radu se opisuje tehnologija bušenja uz primjenu lajnera. Opisani su primjeri iz prakse poznatih svjetskih kompanija te problemi s kojima su se susretali tijekom izrade bušotine uz primjenu lajnera u problematičnim naslagama kao što je iscrpljena formacija pijeska, bubreće stijene, formacije sa slabo vezujućom strukturom.

Ključne riječi: lajner, sklop alatki na dnu - BHA , vješalica lajnera, rotirajući upravljivi sustav, „Sure Trak“ tehnologija

Diplomski rad sadrži: 53 stranice, 8 tablica, 19 slika, 20 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta  
Pierottijeva 6, Zagreb

Voditeljica: Dr. sc. Nediljka Gaurina – Međimurec, redovita profesorica u trajnom zvanju, RGNF

Ocjenjivači: Dr. sc. Nediljka Gaurina – Međimurec, redovita profesorica u trajnom zvanju, RGNF

Dr. sc. Zdenko Krištafor, redoviti profesor u trajnom zvanju, RGNF

Dr. sc. Borivoje Pašić, docent, RGNF

Datum obrane: 16. prosinac 2016., Rudarsko – geološko – naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

Production wells with the use of liners

IVONA POTOČKI

Thesis completed in: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Department of Petroleum Engineering  
Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb

Abstract

This master's thesis describes the method of drilling using liners. A liner is a protective column (casing) which extends from the bottom of the borehole to 50 meters inside the previously installed casing. Typically, a liner is used for isolating the borehole but it can be also used during drilling. Using a liner cuts down on drilling costs and drilling time. This thesis describes the technology of using a liner in drilling. The thesis elaborates on real - life uses of the technology by leading companies in this field, the problems that they encountered in demanding lithology like exhausted sand formations, swelling formations and unconsolidated formations.

Keywords: liner, Bottom Hole Assembly- BHA, liner hanger, Rotary Steerable System, "Sure Trak" technology

Thesis contains: 53 pages, 8 tables, 19 figures and 20 references

Original in: Croatian

Thesis deposited at: The Library of Faculty Mining, Geology and Petroleum Engineering,  
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Full Professor Nediljka Gaurina – Međimurec, PhD

Reviewers: Full Professor Nediljka Gaurina – Međimurec, PhD  
Assistant Professor Borivoje Pašić, PhD  
Full Profesor Zdenko Krištafor, PhD

Date of defense: December 16, 2016., Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

# SADRŽAJ

POPIS KORIŠTENIH KRATICA .....	I
POPIS SLIKA .....	II
POPIS TABLICA.....	III
1 . UVOD.....	1
2. SASTAV ALATKI KOD BUŠENJA UZ PRIMJENU LAJNERA .....	3
2.1. Sastav alatki kod bušenja uz primjenu lajnera i izvlačivog sklopa.....	3
2.1.1. Bušenje uz primjenu lajnera s izvlačivim BHA .....	3
2.1.2. Bušenje uz primjenu lajnera s izvlačivim rotirajućim upravljivim sustavom.....	4
2.1.3. Bušenje uz primjenu lajnera s neizvlačivim, rotirajućim sklopom .....	14
2.1.4. Bušenje uz primjenu upravljivog bušačeg lajnera.....	18
3. TEHNOLOGIJA BUŠENJA UZ PRIMJENU LAJNERA .....	24
3.1. Sastav alata kod bušenja uz primjenu bušačeg lajnera i izvlačivog BHA (Eriksen et al., 2011) .....	24
3.2. Funkcioniranje sklopa na vrhu lajnera za izvlačenje BHA.....	25
3.3. Tehnologija izrade bušotina s promjerom lajnera 0,244 m (9 5/8") i 0,177 m (7")..	26
3.3.1. Upravljivi bušači lajner i njegove komponente.....	28
4. PRIMJERI IZRADE BUŠOTINA UZ PRIMJENU LAJNERA.....	31
4.1. Korištenje tehnologije bušenja uz primjenu lajnera u Meksiku.....	31
4.1.1. Izrada bušotine K1271H.....	32
4.1.2. Izrada bušotine C2091V .....	33
4.1.3. Izrada bušotine C2239V .....	34
4.2. Primjena neizvlačivog rotirajućeg bušačeg lajnera u Meksičkom zaljevu .....	35
4.2.1. Izrada bušotina u Meksičkom zaljevu na bušotini Walker Ridge.....	35
4.2.2. Zasjećanje novog kanala bušotine.....	36
4.2.3. Upotreba rotirajućeg sustava za bušenje s neizvlačivim bušačim sklopom.....	37
4.3. Primjer bušenja uz primjenu lajnera u Sjevernom moru .....	38
4.4. Primjer izrade bušotina uz primjenu lajnera s upravljivim sustavom za bušenje .....	39
4.4.1. Operativni postupak .....	39
4.4.2. Testiranja.....	41
4.4.3. Priprema za uporabu na terenu .....	43
5. ZAKLJUČAK.....	50
6. LITERATURA .....	51

## POPIS KORIŠTENIH KRATICA

BCPM (*engl. Bi - Directional Communication and Power Modul*) – jedinica za dvosmjernu komunikaciju i pogonski modul

BHA (*engl. Bottom Hole Assembly*) – sklop alatki na dnu

BOP (*engl. Blowout Preventer*) – protuerupcijski uređaj

CwD (*engl. Casing while Drilling*) – bušenja uz primjenu kolone zaštitnih cijevi

DLS (*engl. Dog leg Severity*) – intenzitet promjene otklona kanala bušotine

ECD (*engl. Equivalent Circulating Density*) – ekvivalentna gustoća isplake u cirkulaciji

FIT (*engl. Formation Integrity Test*) – test integriteta formacije

GOM (*engl. Gulf of Mexico*) – Meksički zaljev

LWD (*engl. Logging While Drilling*) – karotaža tijekom bušenja

LwD (*engl. Liner while Drilling*) – bušenja uz primjenu lajnera

MD (*engl. Measured Depth*) – mjerena dubina

MWD (*engl. Measurement While Drilling*) – mjerenje tijekom bušenja

NEP (*engl. Norwegian Continental Shelf*) – Norveški epikontinentalni pojas

PDC (*engl. Polycrystalline Diamond Compact*) – polikristalno dijamantno dlijeto

POOH (*engl. Pull out of Hole*) – vađenje bušaćih alatki iz bušotine

RDS (*engl. Reamer Driver Sub*) – pogon proširivača

RIH (*engl. Run in Hole*) – spuštanje bušaćih alatki u bušotinu

ROP (*engl. Rate of Penetration*) – brzina bušenja

RSS (*engl. Rotary Steerable System*) – rotirajući upravljivi sustav

TD (*engl. Total Depth*) – konačna dubina

TOB (*engl. Torque on Bit*) – zakretni moment na dlijeto

SLD (*engl. Steerable drilling liner system*) – upravljivi bušaći lajner

WOB (*engl. Weight on Bit*) – opterećenje na dlijeto

## POPIS SLIKA

Slika 2-1. Sastav alatki kod bušenja uz primjenu lajnera s izvlačivim rotirajućim upravljivim sustavom .....	5
Slika 2-2. Hidraulička vješalica lajnera .....	6
Slika 2-3. Proširivač .....	8
Slika 2-4. Proširivač s valjcima .....	9
Slika 2-5. MWD sustav .....	10
Slika 2-6. LWD sustav .....	11
Slika 2-7. „Push the bit“ i „Point the bit“ rotirajući upravljivi sustavi.....	12
Slika 2-8. Polikristalno dijamantno dljeto .....	13
Slika 2-9. PDC dljeto posebno konstruirano za bušenje cementnog čepa .....	14
Slika 2-10. Sastav alata za bušenje uz primjenu bušaćeg lajnera s visokim zakretnim momentom.....	15
Slika 2-11. Dljeto za bušenje uz primjenu lajnera od čelične figure sa šest oštrica.....	17
Slika 2-12. Prikaz dljeta kao pete lajnera (a), probušeno dljeto drugim PDC dljetom (b) .....	18
Slika 2-13. Upravljivi bušaći lajner naziva „Sure Trak“ .....	19
Slika 3-1. Sastav alata za bušenje uz primjenu lajnera i izvlačivog BHA .....	25
Slika 3-2. Upravljivi Sustav za bušenje s lajnerom .....	28
Slika 4-1. Polje u zaljevu Campeche, Meksiko .....	31
Slika 4-2. Princip rotacijskog bušenja za bušenje iscrpljenog ležišta .....	39
Slika 4-3. Operativni postupci kod primjene SDL sustava .....	40
Slika 4-4. Trajektorija bušotine na polju Brage 31/4 A-13 A .....	43

## POPIS TABLICA

Tablica 2-1. Karakteristike i prednosti upravljivog bušaćeg lajnera .....	21
Tablica 2-2. Pregled literaturnih podataka o bušenju uz primjenu lajnera .....	22
Tablica 4-1. Pregled rezultata bušenja uz primjenu lajnera, upravljivi SDL sustavi 0,244 m (9 5/8'') i 0,178 m (7'') .....	42
Tablica 4-2. Podaci o lajneru i dubinama tijekom izrade bušotine 31/4 A – 13 A na polju Brage.....	44
Tablica 4-3. Mehanički i hidraulički zabilježeni podaci tijekom bušenja konvencionalnim i SDL sustavom .....	45
Tablica 4-4. Pregled literaturnih podataka o kanalu, lajneru i stijenama tjekom izrade bušotina uz primjenu lajnera.....	47
Tablica 4-5. Pregled podataka o isplaci korištenoj tijekom bušenja uz primjenu lajnera ...	48
Tablica 4-6. Podaci o režimu bušenja primjenjenom tijekom bušenja uz primjenu lajnera	49



## 1 . UVOD

Ovaj diplomski rad opisuje tehnologiju izrade bušotina uz primjenu lajnera. Lajner je niz zaštitnih cijevi koji se ne ugrađuje od dna do ušća bušotine, odnosno, ugrađuje se od dna bušotine do oko 50 m unutar prethodnog niza. Često se nakon ugradnje u kanalu bušotine cementira, no može se ugraditi i bez cementacije. Vješa se pomoću vješalice lajnera unutar prethodno ugrađene kolone zaštitnih cijevi. Lajner se može koristiti kao proizvodna kolona i tada se naziva proizvodni lajner (*engl. production liner*) ili kao dio niza bušaćih alatki odnosno kao bušaći lajner (*engl. drilling liner*). Oprema za bušenje uz primjenu lajnera sastoji se od gornjeg i od donjeg dijela bušaćeg niza. Sklop alatki na dnu čini donji dio bušćeg niza, a bušaće alatke čine gornji dio bušaćeg niza. Niz bušaćih alatki spojen je sa sklopom alatki na dnu do konačne dubine kanala bušotine gdje preuzimaju većinu opterećenja tijekom bušenja. Vješalice lajnera služi za povezivanje bušaćeg niza s lajnerom. Sklop alatki na dnu bušotine može se izvaditi tek nakon što se dovrši izrada kanala bušotine, a lajner odsjedne u prethodnoj koloni. Lajner te cijeli bušaći niz mora se vaditi iz bušotine ukoliko dođe do zatajenja sklopa alatki na dnu. Položaj vješalice lajnera na nizu bušaćih alatki određuje maksimalnu dubinu bušenja. Najveće prednosti bušenja uz primjenu lajnera su manji troškovi u odnosu na niz cijevi u cijeloj duljini kanala bušotine te kraće vrijeme potrebno za njegovu ugradnju (Krištafor, 2002).

Neke servisne kompanije su već početkom 1990-ih, počele koristiti tehnologiju bušenja uz primjenu kolone zaštitnih cijevi (*engl. casing while drilling*) ili bušaćeg lajnera (*engl. liner while drilling*) radi prevladavanja problema vezanih uz nestabilnost formacije/kanala bušotine, ali s ograničenom funkcionalnošću. Poboľšanja u drugim tehnikama bušenja, procjeni svojstava formacije te u tehnologiji vješanja lajnera omogućila su razvoj upravljivih bušaćih lajnera.

Tehnologija izrade bušotina uz primjenu lajnera uspješno se koristi diljem svijeta kako bi se riješili različiti problemi prilikom bušenja. U području Mediterana problem su predstavljale naslage sklone bubrenju zbog predugog kontakta isplake i formacije te je iz tog razloga kompanija Hughes Christensen koristila tehnologiju bušenja uz primjenu lajnera (Clark i McClain, 2005). Kompanija Weatherford također je uspješno koristila tehnologija bušenja uz primjenu lajnera u području Meksičkog zaljeva, u vodama Mississippija, kako bi se izbjeglo gubljenje isplake ili zaglava alata tijekom bušenja kroz formaciju pijeska (Rosenberg et al., 2014). Kompanija Baker Oil Tools uspješno je koristila tehnologiju bušenja uz primjenu lajnera na poljima u Južnom Teksasu radi:

smanjenja rastućih troškova bušenja u dubokim vodama, smanjenja troškova kod priobalnog bušenja te smanjenja poteškoća prilikom bušenja kroz formacije sa slabo vezujućom strukturom, zone gubljenja cirkulacije i u nadpritisnutim zonama (Billa et al., 2006).

## 2. SASTAV ALATKI KOD BUŠENJA UZ PRIMJENU LAJNERA

Izrada bušotina uz primjenu lajnera može se razmatrati obzirom na mogućnost izvlačenja sklopa alatki na dnu (*engl. BHA*).

Podjela bušenja uz primjenu lajnera prema mogućnosti izvlačenja sklopa alatki na dnu (BHA):

- bušenje uz primjenu lajnera s izvlačivim BHA (*engl. liner drilling system with retrievable bottom hole assembly*)
  - Bušenje uz primjenu lajnera s mogućnošću usmjeravanja (*engl. Steerable drilling liner system – SLD*; npr. Sure Trak<sup>TM</sup> Steerable Drilling Liner)
- bušenje uz primjenu lajnera s neizvlačivim, rotirajućim sklopom (*engl. nonretrievable rotating-liner drilling system*)

Bušenje uz primjenu lajnera s neizvlačivim ili izvlačivim sklopom alatki na dnu pokazalo se kao učinkovita metoda bušenja te se primjenjuje unutar bušotine kod osjetljivih ili bubrećih formacija.

### 2.1. Sastav alatki kod bušenja uz primjenu lajnera i izvlačivog sklopa

#### 2.1.1. Bušenje uz primjenu lajnera s izvlačivim BHA

Eriksen et al. (2011) u članku „*Development of a Liner Drilling System Incorporating a Retrievable Bottom Hole Assembly*“ (SPE/IADC 148607) opisuju terenske pokuse bušenja uz primjenu lajnera, pri čemu se lajner može naknadno osloboditi. Lajner je pričvršćen na niz bušačih šipki što omogućava njegovo spuštanje u bušotinu i primjenu osnog opterećenja na sklop alatki na dnu bušotine. Svrha razvoja ovog sustava je ojačanje stijenki kanala bušotine.

Niski slojni tlak te frakturni gradijent, koji se susreću kod primjene ove tehnologije, negativno se odražava na proces bušenja i ograničava brzinu izvlačenja BHA i ugradnju lajnera. Vrijeme potrebno za izolaciju pojedine sekcije traje duže u dubokim vodama zbog većih udaljenosti od površine do konačne dubine bušotine, što zahtijeva više vremena za spuštanje cijevi. Nakon kondicioniranja isplake provodi se cementacija kako bi se poboljšala kvaliteta bušotine. Nakon dovršetka cementacije, BHA se polagano izvlači iz bušotine na površinu kako bi se smanjio mogući dotok u bušotinu. Jednom kada je BHA

izvučen na površinu, lajner je potrebno spustiti u bušotinu. Oprema za spuštanje lajnera u bušotinu koristi se za spuštanje sastavnica kolone do ukupne dubine bušotine na bušaćoj cijevi. Ukupno vrijeme koje je potrebno za provođenje ovog procesa u dubokom moru može potrajati nekoliko dana ili nekoliko tjedana, što ovisi o uvjetima u bušotini i konačnoj dubini bušotine. Smatra se da će se ugradnjom lajnera tijekom bušenja eliminirati većina problema.

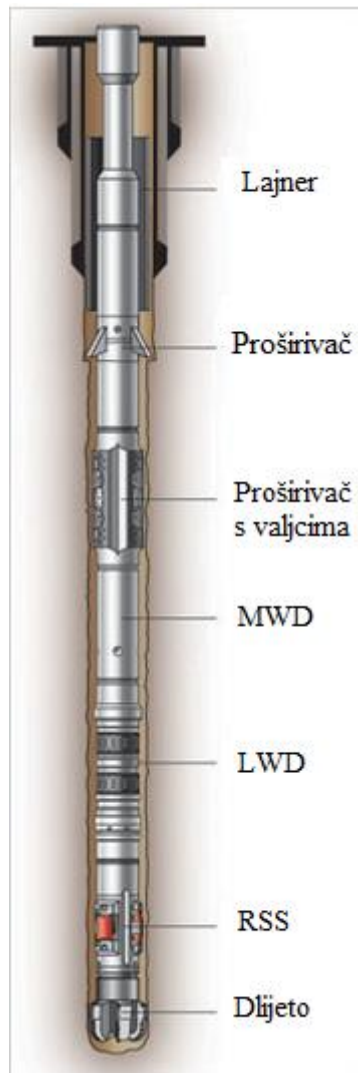
*Dlijeto vodilica (engl. pilot bit)*

Bušaće dlijeto (*engl. drilling bit*) za bušenje kanala bušotine manjeg je promjera od kanala bušotine (*engl. wellbore*) koje se rabi s alatom za skretanje kanala bušotine (*engl. deflecting tool*) za početno bušenje kosog kanala (*engl. kick off a deviated well*) ili s proširivačem kanala bušotine (*engl. reamer*). Promjer dlijeta manji je od promjera lajnera (za izvlačivi BHA), te se dlijeto nalazi na dnu BHA. Proširivač je većeg promjera od lajnera.

### **2.1.2. Bušenje uz primjenu lajnera s izvlačivim rotirajućim upravljivim sustavom**

Sastav alata kod bušenja uz primjenu lajnera s izvlačivim rotirajućim upravljivim sustavom prikazan je na slici 2-1, a sastoji se od:

1. lajnera (*engl. liner*),
2. proširivača (*engl. high-ratio underreamer*),
3. proširivača s valjcima (*engl. roller reamer*),
4. sklopa za mjerenje tijekom bušenja (*engl. Measurement While Drilling*) - MWD,
5. sklopa za karotažu tijekom bušenja (*engl. Logging While Drilling*) - LWD,
6. rotirajućeg upravljivog sustava (*engl. rotary steerable system*) - RSS i
7. dlijeta (*engl. bit*).

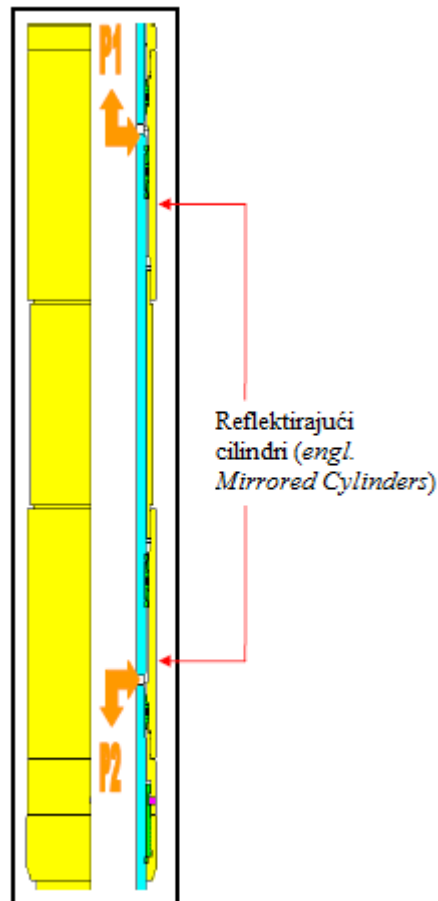


Slika 2-1. Sastav alatki kod bušenja uz primjenu lajnera s izvlačivim rotirajućim upravljivim sustavom (<http://www.slb.com>)

### 1) Lajner (*engl. liner*)

Skraćeni dio niza zaštitnih cijevi koji se primjenjuje za zacjevljenje kanala bušotine ispod prethodno ugrađenog niza zaštitnih cijevi. Ugrađuje se i izolira do dubine oko 50 metara unutar prethodnog niza. Ovješeni su na prethodni niz pomoću vješalice. Obično ih se cementira, iako ih se može ugraditi i bez cementiranja (Matanović, 2006).

Hidraulička vješalica lajnera može biti pod tlakom do nazivnog tlaka pucanja opreme, bez pred-postavljanja alata. Tehnologija vješalice lajnera koristi dvostruke cilindre koji se reflektiraju, te omogućuju vješalici lajnera da ostane uravnotežena sve dok se kugla ne baci u sjedište u alatu za bušenje. Hidraulička vješalica lajnera prikazana je na slici 2-2. Na slici 2-2 prikazani su tlakovi P1 i P2. P1 predstavlja tlak u gornjem cilindru, a P2 je tlak u donjem cilindru. Tlakovi P1 i P2 su jednakih vrijednosti da bi sustav mogao ostati uravnotežen.



Slika 2-2. Hidraulička vješalica lajnera (Kunning et al., 2009)

Kada je lajner na ciljanoj dubini, kugla se ubacuje u niz te dosjeda u sjedište kugle u bušačem alatu i tlak se primjenjuje na gornji cilindar alata. Donji cilindar sada je izoliran od tlaka, budući da se nalazi ispod sjedišta kugle. To vješalici lajnera omogućava normalan rad te se vješalica može postaviti.

*Bušaći lajner (engl. drilling liner)*

Tip lajnera koji ima isti zadatak kao tehnička zaštitna kolona (*engl. intermediate casing*) za izolaciju zona gubljenja isplake (*engl. lost circulation zones*), vodonosnih (*engl. water-bearing zones*) i plinonosnih zona (*engl. gas-bearing zones*) i zona s visokim slojnim tlakom (*engl. abnormal high-pressure zones*) u bušotini kako bi se moglo nastaviti bušenje. Primjenjuje se pri bušenju tvrdih stijena.

## **2) Proširivač (*engl. underreamer*)**

Proširivač je dubinska bušaća alatka (prijelaznik, *engl. sub*) s bočno raširivim krakovima - vodilicama na kojima su režući elementi za proširivanje kanala prethodno izbušene bušotine (radi osiguranja dodatnog zazora između stijenke bušotine i stijenke kolone lajnera kako bi se dobio odgovarajući prstenasti prostor u bušotini za njenu cementaciju ili radi završnog proizvodnog opremanja bušotine sa šljunčanim zasipom ili nezacijevljene bušotine). Proširivač je prikazan na slici 2-3.

Osim navedenog, postoji još nekoliko tipova proširivača (konstrukcijski i prema tipu formacije – mekanoj, tvrdoj ili abrazivnoj): s lopaticama (*engl. blade reamer*), s valjcima (*engl. roller reamer*), dijamantni (*engl. diamond reamer*), mehanički (*engl. mechanical reamer*), raširivi (*engl. expanding reamer*), hidraulički raširivi (*engl. hydraulically expanding underreamer*), konusni (*engl. tapered reamer*), dvostupanjski (*engl. two-step reamer*) i drugi (Perić, 2007).



Slika 2-3. Proširivač (<http://www.holeopener.com>)

### 3) Proširivač s valjcima (*engl. roller reamer*)

Dubinska bušaća alatka (prijelaznik, *engl. sub*) koja je slična teškoj šipki, a na sebi ima rezne elemente. Primjenjuje se za obrađivanje stijenki kanala bušotine, proširivanje kanala bušotine do njegovog nominalnog promjera, stabilizaciju bušaćeg dlijeta, ravnanje kanala bušotine u slučaju njegovog naglog iskrivljenja (*engl. dogleg*) i usmjereno bušenje (bušenje koso usmjerenih bušotina, *engl. directional drilling*). Postavlja se u dubinski sklop bušaćih alatki (*engl. regular reamer*) ili u kolonu bušaćih šipki (*engl. string reamer*) radi proširivanja gornjih dijelova kanala bušotine tijekom bušenja. Proširivač s valjcima prikazan je na slici 2-4 (Perić, 2007).

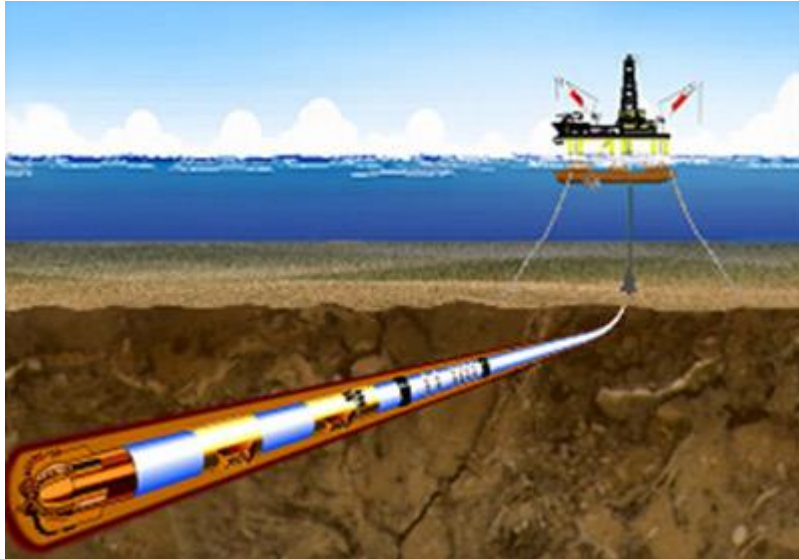




Slika 2-4. Proširivač s valjcima (<http://www.cougards.com>)

#### 4) Sklop za mjerenje tijekom bušenja

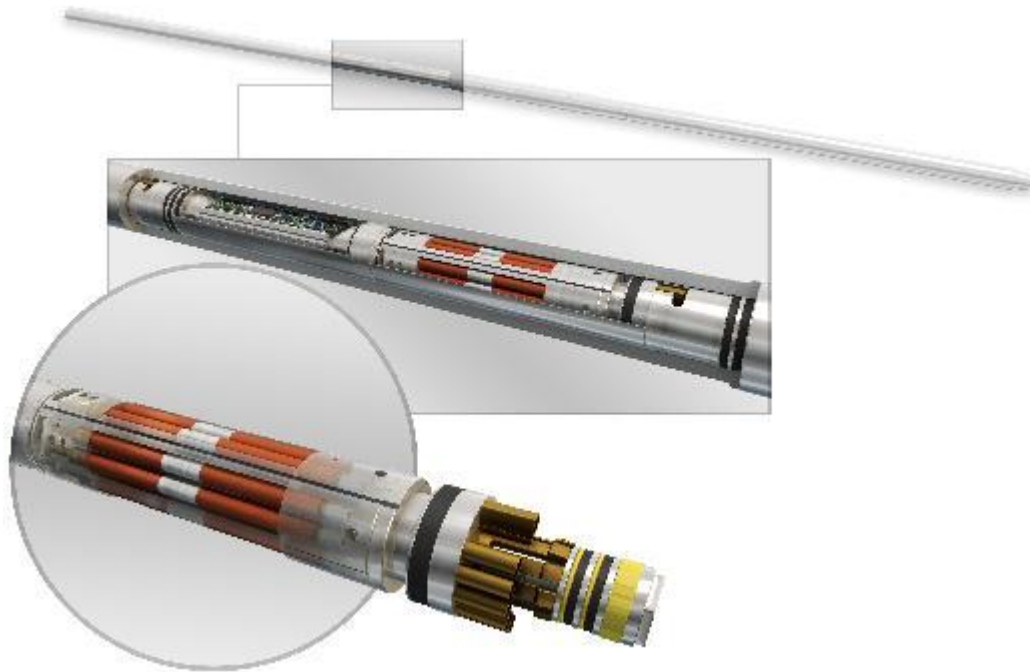
Mjerenja u kanalu bušotine niza parametara stanja bušotine tijekom procesa bušenja – tlaka, temperature, gama-zračenja formacije, električne otpornosti (specifičnog električnog otpora) formacije, odklona i azimuta kanala bušotine, brzine bušenja, opterećenja na dlijeto i zakretnog momenta dlijeta. Dubinski telemetrijski sklop (električni, elektromagnetski, akustički i mehanički karotažni sustavi za MWD) sastoji se od senzora ugrađenih u nemagnetičnoj teškoj šipki (koja se nalazi blizu dlijeta). Sklopovi mogu izdržati velika opterećenja, udarce i vibracije te relativno visoke temperature. Električna energija se dubinskom mjernom sustavu osigurava kompletno baterija (u tom slučaju se informacije zapisuju i pohranjuju u mikroprocesoru, a podaci se vade kada se teška šipka izvuče na površinu i prenose u računalo u karotažnoj jedinici na daljnju obradu) ili pogonskom turbinom (kod tipičnog MWD-sustava – podaci mjerenja se šalju direktno na površinu impulsima koji se telemetrijski prenose kroz stupac isplake u bušaćim šipkama i obrađuju u zavisnosti od dubine ili vremena). Informacije dobivene dubinskim mjerenjem se prikazuju i prate na lokaciji bušotine pomoću video monitora smještenih u karotažnoj jedinici (ili na drugom mjestu kod bušaćeg postrojenja), a mogu se također prenositi do udaljenih mjesta gdje stručnjaci mogu pratiti proces bušenja i njime upravljati. MWD sustav prikazan je na slici 2-5 (Perić, 2007).



Slika 2-5. MWD sustav (<http://www.rigzone.com>)

### 5) Karotaža tijekom bušenja

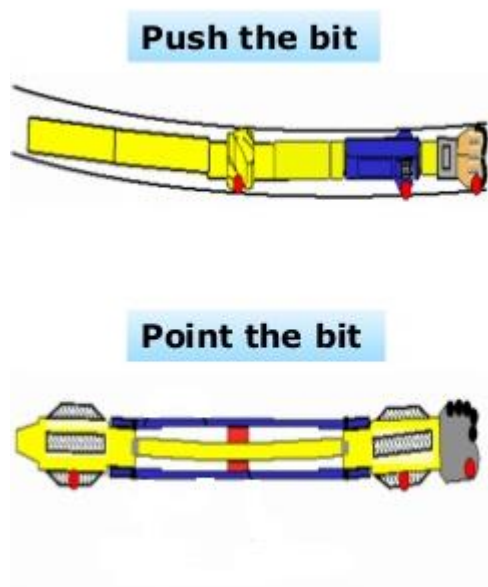
Mjerenje svojstava formacije tijekom bušenja ili ubrzo nakon završetka bušenja primjenom karotažnih alatki koje su integrirane u kolonu bušaćih alatki (*engl. drill string*), umjesto mjerenja karotažnim sondama koje se u bušotinu spuštaju na karotažnim kabelu. Metoda takvog mjerenja, iako je katkada rizična i skupa, ima prednost budući da se mjerenje svojstava formacije izvodi prije dubokog prodora isplake u formaciju. Osim toga, u mnogim bušotinama je teško ili čak nemoguće izvesti konvencionalna karotažna mjerenja (osobito u bušotinama s velikim kutom otklona kanala od vertikale) tako da LWD tehnologija osigurava mjerenje i u takvim slučajevima. Podaci mjerenja se registriraju u bušotini (i dobiju nakon izvlačenja bušaćih alatki) ili se prenose na površinu s pomoću impulsa tlaka (varijacije tlaka) u stupcu isplake u nizu bušaćih alatki. LWD sustav prikazan je na slici 2-6 (Perić, 2007).



Slika 2-6. LWD sustav (<http://www.weatherford.com>)

## 6) Rotirajući upravljivi sustav

Alatka dizajnirana za usmjereno bušenje s kontinuiranom rotacijom s površine eliminirajući potrebu da upravljivi motor (*engl. steerable motor*) kliže (*engl. slide*). Rotirajući upravljivi sustav se koristi kada se buše usmjerene, horizontalne ili bušotine velikog doseg. Rotirajući upravljivi sustav ima minimalnu interakciju s kanalom bušotine, te na taj način čuva kvalitetu kanala bušotine. Napredne verzije rotirajućeg upravljivog sustava ostvaruju konstantnu bočnu silu, slično klasičnim stabilizatorima koji rotiraju s nizom alatki ili orjentiraju dlijeto u željenom smjeru, tijekom kontinuirane rotacije pri istom broju okretaja u minuti kao i niz alatki. Postoje dva sustava s obzirom na princip rada: sustav koji „gura“ dlijeto (*engl. Push the bit*) i sustav koji upravlja dlijetom preko zglobne osovine (*engl. Point the bit*) koji su prikazani na slici 2-7 (Perić, 2007).



Slika 2-7. „Push the bit“ i „Point the bit“ rotirajući upravljivi sustavi

(<http://www.slideshare.net>)

„*Push the bit*“ sustav upravlja dlijetom jednostavnim dodavanjem bočnog opterećenja na dlijeto preko izvlačivih papuča koje se nalaze neposredno iznad dlijeta. Sustavi koji rade na ovom principu koriste kratka dlijeta duljine do 0,0508 m (2") zbog čega sustav lakše skreće.

Kod „*Point the bit*“ sustava lice dlijeta usmjereno je u željenom smjeru i nije potrebno bočno opterećenje. Prednost ovog sustava je dulje dlijeto, čime se izbjegava efekt uvrtnja, a nedostatak je sporija reakcija na promjene smjera u odnosu na „*Push the bit*“.

### 7) Dlijeto (*engl. bit*)

Kod izrade bušotina uz primjenu lajnera najčeće se koriste polikristalna dijamantna dlijeta (*engl. Polycrystalline Diamond Cutter – PDC*). Promjer dlijeta određen je promjerom lajnera za koji se izrađuje kanal bušotine. Polikristalno dijamantno dlijeto prikazano je na slici 2-8 (Belloso et al., 2012).



Slika 2-8. Polikristalno dijamantno dlijeto (Belloso et al., 2012)

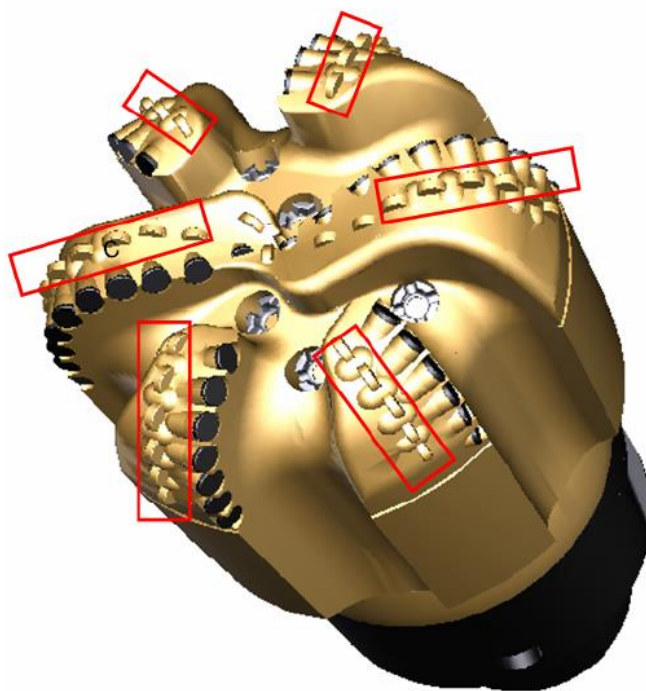
Čelična legura koja se koristi za izradu PDC dlijeta pruža strukturalnu čvrstoću potrebnu za primjenu zahtijevnih bušaćih parametara (brzine rotacije i okretnog momenta), kako bi postigli stvarnu dubinu i smanjili opasnosti tijekom bušenja. Dlijeto je projektirano tako da se poboljša uklanjanje krhotina razrušenih stijena sa dna kanala bušotine. Koristi se i proračunati dizajn protoka fluida kako bi se optimiralo uklanjanje krhotina, maksimalno poboljšalo čišćenje i hlađenje dlijeta, smanjilo obljepljivanje dlijeta i erozija dlijeta.

#### *PDC dlijeto za bušenje cementnog čepa*

PDC dlijeto za bušenje cementnog čepa sastoji se od standardnog PDC dlijeta s potrošnim volfram-karbidnim reznim elementima koji su dizajnirani da se uključe tijekom bušenja cementnog čepa. Položaj ovih elemenata za rezanje precizno je projektiran tako da su izloženi preko primarne PDC strukture za rezanje omogućujući učinkovito bušenje cementnog čepa bez oštećenja PDC oštrica.

Volfram-karbidni elementi dizajnirani su tako da se troše tijekom bušenja cementnog čepa, tako da su rezači PDC dlijeta sačuvani za novo bušenje formacije. Ova posebno dizajnirana PDC dlijeta uspješno su upotrebljena za različite primjene u svijetu, te eliminiraju potrebu za posebnim postupkom bušenja cementnog čepa (Kunning et al., 2009).

Na slici 2-9 prikazano je PDC dlijeto posebno konstruirano za bušenje cementnog čepa kod bušenja uz primjenu lajnera.



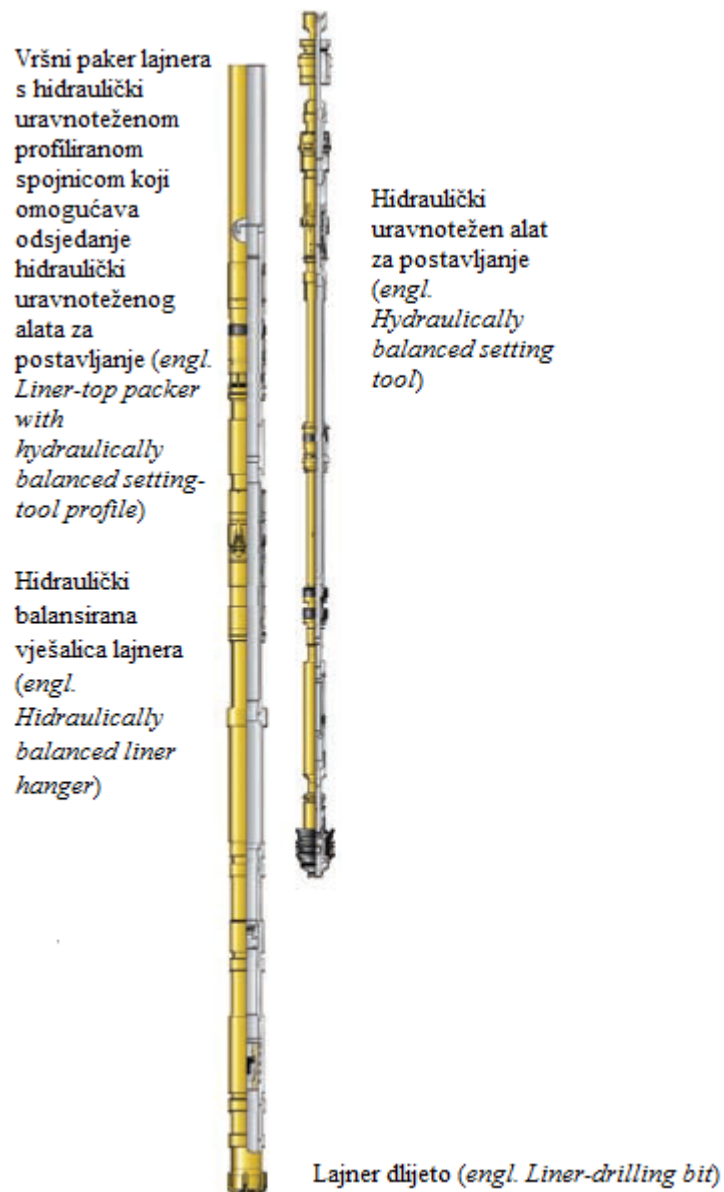
Slika 2-9. PDC dlijeto posebno konstruirano za bušenje cementnog čepa (Kunning et al., 2009)

### 2.1.3. Bušenje uz primjenu lajnera s neizvlačivim, rotirajućim sklopom

Kunning et al. (2009) u članku „*Nonretrievable Rotating-Liner Drilling System Deployed Successfully*“ (SPE 124854) daju osvrt na neke od geotehničkih opasnosti prilikom bušenja vrlo dubokih bušotina u Meksičkom zaljevu. Autori u članku obuhvaćaju i rezultate primjene lajnera s neizvlačivim, rotirajućim sklopom.

Ovaj sustav bušenja je neizvlačiv i kombinira bušači lajner i posebno PDC dlijeto za lajner. Na slici 2-10 shematski su prikazani elementi ovog sustava. Sustav je dizajniran na način kako bi bušač mogao prema potrebi proširiti ili očistiti bušotinu do samog dna, i zatim nastaviti bušenje uz primjenu lajnera do zahtijevane, ciljane dubine. Bušenje uz primjenu lajnera zahtijeva da svaka komponenta lajnera podnese određeni zakretni moment i opterećenja stvorena tijekom normalnih operacija bušenja, poput rotacije dlijeta, vibracija i okretnog momenta tijekom bušenja. Sustav lajnera koristi hidrauličku vješalicu koja ostaje

hidraulički uravnotežena tijekom trajanja operacije bušenja. Ovaj sustav također koristi alat koji omogućuje bušaču potisnuti, povući ili rotirati lajner i održati ga hidraulički uravnoteženim. Alat također mora imati pouzdani mehanizam za zatvaranje sa, na eroziju otpornim, kugličnim dosjedom i sekundarnim lijevim otpuštanjem koji je moguće koristiti tijekom bušenja.



Slika 2-10. Sastav alata za bušenje uz primjenu bušačeg lajnera s visokim zakretnim momentom (Kunning et al., 2009)

### *Dlijeto za bušenje s lajnerom (engl. Liner drilling bit)*

Dlijeto za bušenje uz primjenu lajnera mora zadovoljiti zahtjeve i rizike koji proizlaze iz složenog procesa bušenja s lajnerom i optimalnu brzinu bušenja te dugovječnost tijekom bušenja kroz problematične formacije s konvencionalnim PDC dlijetom. Broj oštrica, veličina i tip rezača, kao i sve ostale potrebne značajke dizajna mogu se projektirati kao i kod standardnog PDC dlijeta.

Dlijeto koje se primjenjuje kod neizvlačivog sklopa nalazi se na lajneru i većeg je promjera od promjera lajnera.

Glavne značajke dizajna dlijeta za bušenje uz primjenu lajnera (Kunning et al., 2009):

➤ Trajnost i brzina bušenja

Specifičan broj oštrica (reznih struktura) za primjenu i njihova veličina rezača omogućuju dulje intervale bušenja uz povećanje brzine bušenja i produljenje životnog vijeka u izazovnim formacijama. Korištenje najnovije PDC tehnologije za rezanje stijena i precizno projektirani raspored veličine rezača garantira optimalni volumen dijamanata i stabilnost za primjenu.

➤ Integritet dlijeta

Oprema za bušenje s lajnerom dizajnirana je tako da izdrži teške uvjete bušenja koji su potrebni za bušenje do planirane dubine i oblaganje kanala u jednom potezu, izolaciju problematičnih područja bušotine (npr. zone gubljenja cirkulacije).

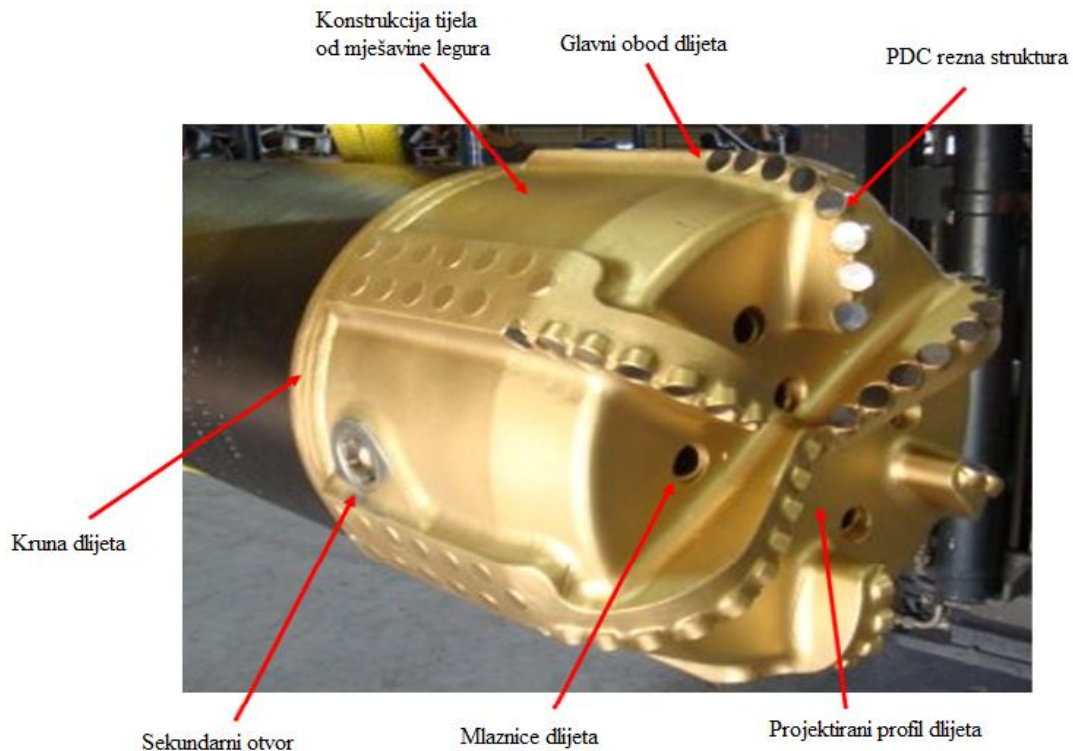
➤ Mogućnost bušenja polikristalinskim dlijetom

Upotreba posebne legure omogućuje da se bušotina izbuši s posebno dizajniranim PDC dlijetom. Posebno dizajnirano PDC dlijeto buši u sljedeći dio bušotine, dakle, eliminirajući potrebu za posebnim postupkom bušenja cementnog čepa.

Slika 2-11 prikazuje dlijeto za bušenje uz primjenu lajnera od čelične legure sa šest oštrica promjera 0,012 m (1/2"), na kojima se nalaze 13 mm premium PDC rezači koji se koriste. Dizajn je rezultat vrhunskog modeliranja i nove proizvodnje. Ova dlijeta su sposobna za bušenje pojedinih dijelova bušotine ili za daljnje bušenje kada je potrebno. Da bi se osiguralo da zaštitna cijev dosegne ukupnu dubinu, ta dlijeta su građena od legiranog čelika koji osigurava strukturalnu čvrstoću za primijenjeno opterećenje na dlijeto i okretni moment, a istovremeno i mogućnost bušenja. Na dlijetu se također nalaze izmjenjive mlaznice za proces bušenja, a



ujedno se koriste i za poslove cementiranja. Sekundarni zaobilazni izlaz jamči učinkovit postupak cementiranja u slučaju da se mlaznice začepe.



Slika 2-11. Dlijeto za bušenje uz primjenu lajnera od čelične figure sa šest oštrica (Kunning et al., 2009)

Bušivo dlijeto od legure tipa „Direct XCD“ od proizvođača Schlumberger Company je PDC dlijeto posebno napravljeno za bušenje vertikalnih ili koso usmjerenih bušotina do konačne dubine u jednom spuštanju. Dlijeto buši na standardnoj koloni koja rotira s površine. Rezni elementi dlijeta za lajner mogu se prilagoditi da budu s rezačima 13, 16 ili 19 mm promjera koji su raspoloživi od standardne do premium kvalitete. Vrat dlijeta izrađen je od čelika velike trajnosti, kvalitete koja se koristi u naftnoj industriji, dok je tijelo dlijeta napravljeno od legure bakra ili bronce. Ova jedinstvena legura omogućava da se probuši standardnim PDC dlijetom nakon što ovo dlijeto izbuši kanal do konačne dubine i nakon što se lajner kolona cementira. PDC dlijeto za bušenje kroz cementnu kolonu, nakon bušenja iste, može nastaviti bušenje sljedećeg intervala čime eliminira potrebu da se namjerno spušta dlijeto za bušenje. Nakon što je dlijeto izbušilo do konačne dubine ono služi kao peta kolona, kao što je prikazano na slici 2-12 (a). Dlijeto je sastavljeno od legure da bi se moglo djelotvorno izbušiti, kao što prikazuje slika 2-12 (b).



a) liner sa dlijetom nakon bušenja, pristupa se cementaciji, dlijeto služi kao peta lajnera, kroz njega se protiskuje cementna kaša

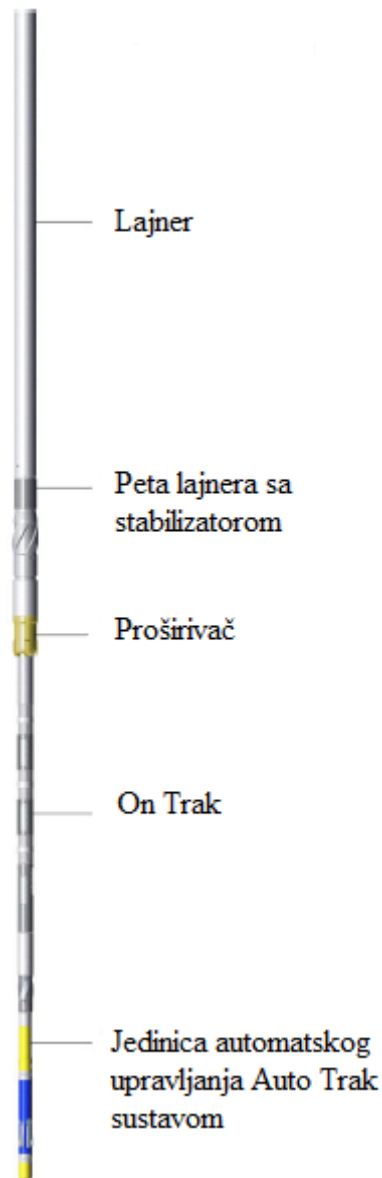


b) izvršena je cementacija, dlijeto se može probušiti sa PDC dlijetom i nastavlja se daljnje bušenje

Slika 2-12. Prikaz dlijeta kao pete lajnera (a), probušeno dlijeto drugim PDC dlijetom (b) ([http://www.slb.com/~media/Files/smith/brochures/drill\\_bits/direct\\_XCD.ashx](http://www.slb.com/~media/Files/smith/brochures/drill_bits/direct_XCD.ashx))

#### 2.1.4. Bušenje uz primjenu upravljivog bušačeg lajnera

Tvrtka Baker Hughes Incorporated (2001) u članku „*Sure Trak – Steerable Drilling Liner Service*“ opisuje uvođenje upravljivog bušačeg lajnera koji je prikazan na slici 2-13.



Slika 2-13. Upravljivi bušaći lajner naziva „Sure Trak“ (Baker Hughes Incorporated, 2001)

Usluga korištenja modela Sure Trak™ upravljivog lajnera za potrebe bušenja je novi, inovativni sustav djelovanja koji je projektiran na način kako bi se prevladali i najveći izazovi prilikom bušenja kao i situacije prilikom dovršetka već izvedenih bušotina. Takve situacije uključuju djelovanje na novim i starim poljima, na obali kao i u priobalnom području, pri uvjetima bušenja u dubokoj vodi kroz nestabilne formacije, iscrpljena ležišta, kao i u područjima s neizvjesnom prognozom slojnog tlaka. Provođenjem lajnera kroz kanal bušotine tijekom bušenja održava se stabilnost kanala bušotine i eliminira potreba za izvlačenjem niza bušaćih alatki radi naknadne ugradnje kolone zaštitnih cijevi. Navedenim

se smanjuju rizici operacija bušenja i neproduktivno vrijeme, dok se troškovi bušenja smanjuju u usporedbi s klasičnom operacijom bušenja i ugradnje lajnera.

Sure Trak sustav projektiran je na temelju tehnološki uspješnog i naprednog modela Auto Trak™ G3 rotacijskog sustava zatvorene petlje koji nadilazi najnovije MWD i LWD razvojne modele kao modularni dizajn. Sure Trak sustav sadrži X-treme motor koji je smješten unutar lajnera.

Sustav se sastoji od izvlačive i zamjenjive unutarnje kolone alata plus pilot BHA, kao vanjske kolone alata. Lajner može rotirati pri daleko nižem broju okretaja nego pilot i dlijeto. Osim navedenog, zakretni moment kod bušenja se ne prenosi kroz lajner, odnosno indiciran je putem motora i jedinstvenog sustava pokretnog proširivača (*RDS - engl. Reamer Driver Sub*). Primjena ove tehnologije otvara nove mogućnosti kod svih aspekata bušenja otklonjenih kanala, uključujući geoupravljanje. Ovaj sustav kompatibilan je sa svim Baker Hughes LWD i MWD uslugama i u mogućnosti je ispuniti većinu izazovnih zahtjeva bušenja i karotaže.

U tablici 2.1 prikazane su karakteristike i prednosti upravljivog bušaćeg lajnera.

Tablica 2-1. Karakteristike i prednosti upravljivog bušačeg lajnera (Baker Hughes Incorporated, 2001)

<b>Karakteristike</b>	<b>Prednosti</b>
Promjenjiva pozicija pilot BHA, bez potrebe za izvlačenje lajnera;	Smanjuje vrijeme bušenja i optimira učinkovitost. Ostavlja lajner na mjestu, čime bušotinu čini sigurnijom;
Auto Trak sustav sa modularnim MWD / LWD sustavima;	Mogućnosti geousmjerenja i postavljanje lajnera u bušotinu bez dovođenja lajnera u nepovoljan položaj;
Prilagodljivi BHA dizajn;	Pilot BHA koji je konfiguriran kako bi se najbolje uskladio s upravljivim lajnerom
Petu lajnera karakterizira odvojeni proširivač;	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Odvaja BHA prilikom bušenja od lajnera;</li> <li>- U cijelosti stabilizira proširivač za odličnu izvedbenu kvalitetu bušotine;</li> <li>- Omogućuje znatno sporije rotiranje lajnera nego brzine okretaja pilot BHA, pri čemu se smanjuje trošenje materijala od kojeg je izrađen lajner;</li> </ul>
Moguće je prilagoditi duljinu pilot BHA;	Zbog mogućnosti bušenja kroz problematične naslage, smanjuje se rizik od pojave problema tijekom bušenja;
X – treme tehnologija motora;	Prethodno strukturirana pogonska sekcija, poboljšana učinkovitost i povećanje brzine bušenja.

Korištenjem dostupne literature u tablici 2-2 nalazi se prikaz kompanija koje su provodile bušenje uz primjenu lajnera, lokacije na kojima je bušenje obavljeno, sklopovi alatki koji su korišteni, promjeri prethodno ugrađenih kolona, promjeri lajnera te dubina bušenja.

Tablica 2-2. Pregled literaturnih podataka o bušenju uz primjenu lajnera

Izvor	Kompanija	Lokacija	Korišteni sklop	Promjer prethodne kolone, mm (in.)	Promjer lajnera, m (in.)	Dubina izbušena lajnerom, m (ft)
<b>Neizvlačivi rotirajući sklop</b>						
Kunning et al., (2009.)	-Baker Hughes	Meksički zaljev, Walker Ridge	Neizvlačivi rotirajući sklop	269,88 (10 5/8)	0,244 (9 5/8)	189,89 (MD) (od 7912,91 do 8102,80)
Rosenberg et al., (2014.)	-Weatherford	Meksički zaljev, Mississippi Canyon, na moru	Neizvlačivi, rotirajući sklop	339,73 (13 3/8)	0,250 (9 7/8)	93,27 (MD) (od 3947,1 do 4040,4)
<b>Neizvlačivi BHA</b>						
Billa et al., (2006.)	-Shell -Hughes Christiansen -Baker Oil Tool	Južni Teksas	Neizvlačivi BHA1	193,68 (7 5/8)	0,127 (5)	142,65 (TD)
<b>Izvlačivi BHA</b>						
Eriksen et al., (2011.)	-Tesco Corporation, Tenaris	Schlumberger Cameron Texas Facility (CTF)	Izvlačivi BHA	339,73 (13 3/8)	0,244 (9 5/8)	270,36 (MD) (od 704,09 do 974,45)
<b>Dvostruki koncentrični lajner</b>						
Vestavik et al., (2009.)	- StatoilHydro - Shell	Stavanger, bušotina U3, kopno	Dvostruke koncentrične bušaće šipke, lajner i BHA	273,05 (10 3/4)	0,244 (9 5/8)	70,40 (MD) (696,5-766,9)
<b>Upravljivi sustav</b>						
Torsvoll et al., (2010.)	- Statoil - Baker Hughes	Brage bušotina 31/4 A-13 A	Usmjereni upravljivi sustav	311,15 (12 1/4)	0,244 (9 5/8)	180 (MD) (od 3873 do 4053)

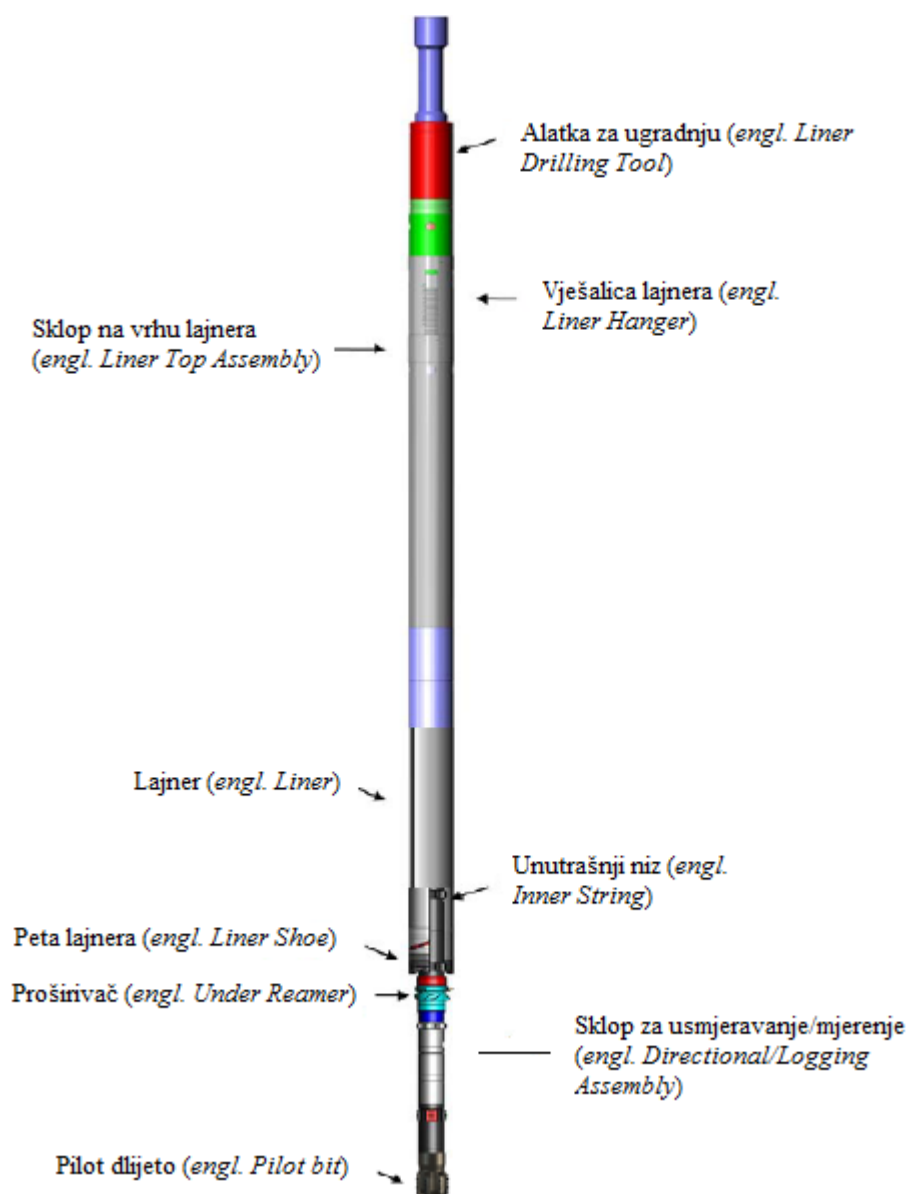
Iz tablice 2-2 može se vidjeti da bušenje uz primjenu lajnera ima svoje početke tek u 21. stoljeću. Najčešće korišten sklop je neizvlačivi rotirajući sklop u kojem se nalazi dlijeto koje je moguće probušiti te se pri tome štedi na vremenu jer nema dodatnog vađenja alata.

### 3. TEHNOLOGIJA BUŠENJA UZ PRIMJENU LAJNERA

#### 3.1. Sastav alata kod bušenja uz primjenu bušačeg lajnera i izvlačivog BHA (Eriksen et al., 2011)

Na slici 3-1 prikazan je sastav alata za bušenje uz primjenu bušačeg lajnera i izvlačivog BHA. Bušaći sustav sastoji od lajnera promjera 0,244 m (9 5/8"), od pete i zaustavne pete, indikatora prijelaznika (*engl. indicator sub*), lajnera, opreme na vrhu lajnera. Oprema na vrhu lajnera sastoji se od profilirane sapnice lajnera (*engl. liner profile nipple*), otvora za odsjedanje (*engl. polished bore receptacle*) i vješalice lajnera. Alatka za ugradnju (*engl. running tool*) sastoji se od brave (*engl. drill lock*) putem koje se zaključava sklop za bušenje (*engl. drilling assembly*) u lajner, gornjeg brtvenog sklopa (*engl. upper pack – off assembly*) i kontrolne alatke vješalice lajnera (*engl. liner hanger control tool*). BHA se sastoji od dljeta, stabilizatora za otvoreni kanal bušotine (*engl. open hole stabilizers*), donjeg proširivača (*engl. under reamer*), internih stabilizatora (*engl. internal stabilizers*) i donjeg brtvenog sklopa (*engl. lower pack – off assembly*). Izolacija unutar lajnera postiže se donjim i gornjim brtvenim sklopom (*engl. lower pack – off and upper pack – off and assemblies*). Ova izolacija je potrebna kako bi se omogućilo opterećenje na dljeto i stvaranje „posude“ unutar prstenastog prostora (između lajnera i unutarnjeg niza, te između gornjeg i donjeg brtvenog sklopa). Brtvljenje prostora između lajnera i bušačeg niza sprječava prodiranje krhotina u ovo područje kao i potencijalni kolaps cijevi lajnera, dok se isti spušta u bušotinu tijekom ugradnje i bušenja. Bušaće alatke i cijev lajnera pažljivo se broje, mjere i provjeravaju nakon dovoza na lokaciju. BHA se sastavlja i uvlači u toranj, nakon čega se lajner spušta u kanal bušotinu i odsjeda u rotacijski stol. Dodatni pod i rotacijski uložak kupole (*engl. false floor and rotary bushing*) ugrađeni su na vrh lajnera i radna platforma (*engl. work platform*) je postavljena na podište tornja (*engl. rig floor*), odakle se može sigurno rukovati s opremom. BHA se zatim podiže i ugrađuje u lajner na unutrašnjem nizu, nakon čega se spaja vrh lajnera s unutrašnjim nizom. Ovaj sklop je alatki se zatim spušta u bušotinu na bušačim šipkama i koristi za bušenje intervala.





Slika 3-1. Sastav alata za bušenje uz primjenu lajnera i izvlačivog BHA (Eriksen et al., 2011)

### 3.2. Funkcioniranje sklopa na vrhu lajnera za izvlačenje BHA

Ako se utvrdi potreba za izvlačenje BHA natrag na površinu bušotine u bilo koje vrijeme tijekom procesa bušenja, lajner se postavlja na željenu poziciju unutar bušotine i u niz se ubacuje čelična kuglica koja aktivira vješalicu lajnera. Nakon što se utvrdi odsjedanje vješalice lajnera, potisne se dosjed kugle (*engl. bell seat assembly*). Kugla i dosjed nasjedaju u bravu lajnera (*engl. liner drill lock*) i tlak se ponovno koristi kako bi se odvojio

bušači alat (*engl. liner drilling tool*) od lajnera. Ponovna uspostava cirkulacije indicira cjelovito odvajanje alatke za bušenje (uz primjenu lajnera) od samog lajnera. U tom trenutku se čitav bušači niz izvlači na površinu radi zamjene bušačkih šipki i BHA, dok lajner ostaje ugrađen u bušotini. Nakon promjene BHA sklopa i bušaćeg alata lajnera, bušači niz (*engl. drill string*) se ponovno spušta u lajner sve dok bušaća alatka ne uđe u vrh lajnera bušotine. Jednom kada je alatka odsjela, putem desnostrane rotacije aktiviraju se torzijski elementi (*engl. torque dogs*) u za to određenu profiliranu spojnicu u lajneru. Daljnjom desnostarnom rotacijom ponovo se spaja bušači niz s lajnerom. Cirkulacija se zatim ponovo uspostavlja, a lajner se zadiže, omogućujući bušaćem alatu da pritisne umetke (*engl. slips*) ponovo u poziciju unutar vješalice lajnera. Lajner se tada spušta do prethodno postignute dubine i nastavlja se bušenje. Nakon što se izbuši željeni interval, gore opisani proces izvlačenja alatke za bušenje se ponavlja, a lajner ostavlja na dostignutoj dubini u otvorenom kanalu bušotine te je lajner sada spreman za cementiranje.

### **3.3. Tehnologija izrade bušotina s promjerom lajnera 0,244 m (9 5/8") i 0,177 m (7")**

Torsvoll et al. (2010.) u članku „*Successful Development and Field Qualification of a 9 5/8 in and 7 in Rotary Steerable Drilling Liner System that Enables Simultaneous Directional Drilling and Lining of the Wellbore*“ (IADC/SPE 128685) osvrću se na tehnologiju naprednog upravljivog sustava za bušenje s lajnerom. Također, opisuju rezultate testiranja i usporedbe dvije veličine bušačkih lajnera. Bušači lajner promjera 0,244 m (9 5/8") za kanal promjera 0,311 m (12 1/4") i bušači lajner promjera 0,177 m (7") za kanal promjera 0,215 m (8 1/2").

Navedeni upravljivi bušači lajneri testirani su na eksperimentalnom području kompanije Baker Hughes (*engl. Baker Hughes Experimental Test Area – BETA*) u Tulsu prema odobrenim ispitnim kriterijima kako bi se detaljno utvrdila njihova funkcionalnost prije upotrebe u prvoj odobralnoj bušotini u Sjevernom moru. Upravljivi bušači lajner promjera 0,244 m (9 5/8") korišten je u travnju 2009. godine pri izradi bušotine 31/4-A-13 na polju Brage, a promjera 0,177 m (7") u prosincu 2009. godine.

Mnoge kompanije diljem svijeta suočavaju se s operativnim rizikom bušenja. Mali promjer kanala bušotine, zarušavanje kanala i gubitak cirkulacije su među izazovima koje treba rješavati sigurno i ekonomično.

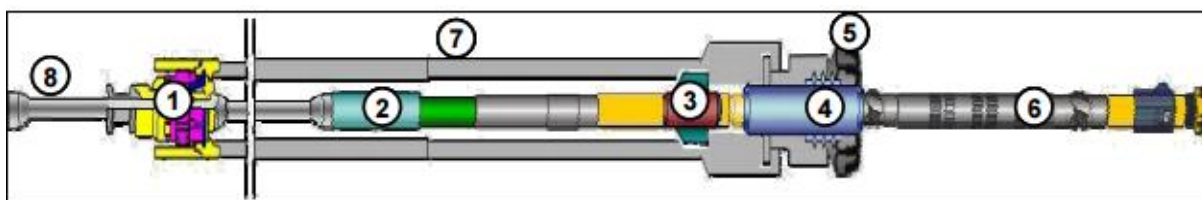
Primjena kolone zaštitnih cijevi tijekom bušenja (*engl. Casing While Drilling - CwD*) i primjena lajnera tijekom bušenja (*engl. Liner While Drilling - LwD*) predstavljaju dokazane tehnologije u naftnoj industriji s dokazanim potencijalom za smanjenjem operativnog vremena za izradu bušotine, uklanjanjem operativnih rizika kod bušenja u formacijama kao što su nestabilne ili iscrpljene formacije i ležišta. Mnoga polja Norveškog epikontinentalnog pojasa (*engl. Norwegian Continental Shelf - NEP*) imaju nestabilne formacije. Na primjer, u nekim ležištima vladaju visoki tlakovi i visoke temperature s pojavom da se vrijednost početnog tlaka koji je visok vrlo brzo sa proizvodnjom smanji. Na drugim ležištima, došlo je do operativnih problema zbog visokog gradijenta tlaka u porama.

Bušenje uz primjenu lajnera (LwD) prepoznato je kao vrlo perspektivna tehnologija prevazilaženja izazova pri bušenju u takvim sredinama. Nekoliko konstrukcijskih koncepata pregledano je na temelju zahtjeva na terenu. Postojeća tehnologija bušenja uz primjenu kolone zaštitnih cijevi (CwD), u nekim slučajevima, može biti dobar izbor. Potrebno je uzeti u obzir da većina ležišnih sekcija završava s lajnerom umjesto kolonom zaštitnih cijevi; međutim, u kombinaciji s činjenicom da CwD ne odgovara zahtjevima za bušenje podmorskih bušotina s plutajućih platformi, iskoristivost postojeće CwD tehnike je ograničena. CwD se ne može primijeniti za izradu bušotina u dubokim morima i zbog ograničene mogućnosti rukovanja s potencijalno teškom kolonom zaštitnih cijevi koja proizlazi iz same nosivosti tornja (*engl. rig load capacity*).

Statoil - ov odjel za bušenje i bušotine (*engl. Statoil Drilling & Well department*) je zajedno s tvrtkom Baker Hughes, razvio upravljivi bušaći lajner (*engl. Steerable drilling liner system - SDL*). SDL sustav uključuje standardnu bušaću šipku kao unutarnji niz za preuzimanje torzije i izvlačenje/spuštanje sklopa alatki na dnu (*engl. tripping*) (BHA): Baker Hughesov konvencionalni rotirajući upravljivi sustav (*engl. Rotary Steerable System - RSS*) naziva „Auto Trak BHA“ s potpunim upravljanjem i mogućnostima prikupljanja podataka (*engl. logging*). U usporedbi s postojećim „Drill-In lajnerom“ koji se koristi u bušotinama za izradu veoma kratkih intervala bez mogućnosti upravljanja i bilježenja podataka, SDL sustav je dizajniran da buši dulje, složenije 3D putanje kanala (*engl. Well trajectories*) istim sposobnostima usmjeravanja i bilježenja podataka kao i kod konvencionalnog usmjerenog bušenja (Torsvoll et al., 2010; Kunning et al., 2009).

### 3.3.1. Upravljivi bušaći lajner i njegove komponente

Upravljivi bušaći lajner (SDL) predstavlja integrirani sustav za bušenje koji kombinira prednosti tehnologije s rotirajućim upravljivim BHA (*engl. rotary steerable drilling technology*) s metodom bušenja uz primjenu lajnera (*engl. liner drilling method*). Sustav se sastoji od izvlačivog i zamjenjivog unutarnjeg niza s pilot BHA i vanjskog lajnera. Unutarnji niz i vanjski lajner spojeni su pomoću alatke za ugradnju (*engl. running tool*) koja se nalazi na vrhu lajnera. Lajner se okreće polako sa 10 do 40 okretaja u minuti dok proširivač (*engl. reamer bit*) i pilot BHA dlijeto rotiraju s dodatnih 100 do 120 okretaja u minuti koje osigurava modificirani uronjeni motor (*engl. positive displacement motor*). Glavne komponente SDL sustava prikazane su na slici 3-2.



Slika 3-2. Upravljivi Sustav za bušenje s lajnerom (Torsvoll et al., 2010)

Glavne komponente SDL sustava su:

- 1) alatka za ugradnju (*engl. running tool*),
- 2) kompenzator duljine,
- 3) usmjereni klinovi (*engl. landing splines*),
- 4) pogon proširivača (*engl. Reamer drive sub – RDS*),
- 5) proširivač (*engl. reamer bit*),
- 6) pilot BHA (*engl. pilot BHA*),
- 7) lajner,
- 8) bušaće šipke.

Alatka za ugradnju (1) osigurava mehaničku vezu između bušaće šipke (8) i (7) lajnera. Ona prenosi torziju (okretni moment) potreban za okretanje lajnera i aksijalnu silu koja je potrebna za spuštanje lajnera u bušotinu (*engl. Run In Hole – RIH*) ili vadenje iz bušotine (*engl. Pull out of Hole – POOH*). Alatka za ugradnju lajnera (*engl. liner running tool*) temelji se na konvencionalnoj opremi s nekim modifikacijama. Alatka za ugradnju ima

mehanizam za hidrauličko oslobađanje (*engl. hydraulic release mechanism*) koji aktivira kuglica. Mehanizam za hidrauličko oslobađanje izoliran je tijekom bušenja kako bi se spriječilo prijevremeno oslobađanje zbog porasta tlaka tijekom bušenja. Također je moguće osloboditi alatku primjenom lijevog okretnog momenta na alatku s površine. Alatka se može ponovo zakvačiti u bušotini nakon servisiranja na površini.

Hidraulički alat za vođenje lajnera koji se može otpustiti modificiran je kako bi tlak mehanizma za otpuštanje bio neutralan tijekom bušenja. Uz konvencionalnu postavu alata za vođenje lajnera gubitak tlaka tijekom bušenja pomoću BHA komponenti uzrokuje oslobađanje alata za vođenje lajnera, a nenamjerno otpuštanje se obično vidi tijekom bušenja. To je prikladno riješeno uključivanjem rukavca za izoliranje tlaka na unutarnjoj strani alata za vođenje lajnera kako bi se spriječio ulazak hidrauličnog tlaka u mehanizam za otpuštanje. Kad je potrebno otpustiti alat za vođenje, kuglica se baca s površine i pada u izolacijski rukavac. Rukavac se pomiče kako bi se omogućilo da hidraulički tlak normalno otpusti alatku za vođenje.

Na vrh BHA postavlja se kompenzator dujine (*engl. thruster*) (2) za kompenzaciju duljine između unutarnjeg niza i vanjskog lajnera. Kompenzator ima povećani hod u usporedbi sa standardnim kompenzatorima kako bi se u slučaju potrebe omogućilo ponovno bušenje pilot kanala. Stvorena potisna sila (*engl. thrust force*) gura usmjereni klin (*engl. landing splines*) (3) u mehaničko sjedište unutar pete lajnera kako bi se definirao aksijalni položaj pilot BHA u odnosu na lajner. Tijekom bušenja potisna sila se podešava tako da je veća od opterećenja na dlijeto (*engl. Weight on Bit – WOB*), koja se presnosi na pilot dlijeto (*engl. pilot bit*) i proširivač (*engl. reamer bit*), kako bi se izbjeglo aksijalno pomicanje pilot BHA. Senzor položaja omogućuje praćenje ovog stanja u realnom vremenu i po potrebi podešavanje parametara bušenja. Međutim, dio sigurnosne strategije je da se izbjegne aksijalno zaključavanje unutarnjeg BHA. Usmjereni klinovi (3) su sastavni dijelovi motora za bušenje (*engl. drilling motor*). Motor se temelji na dokazanoj „X-treme“ tehnologiji, ali je modificiran kako bi osigurao povećani okretni moment jer motor pokreće i proširivač i donji dio pilot BHA, uključujući dlijeto.

Za prijenos opterećenja (*engl. weight*) i okretnog momenta na proširivač, pogon proširivača (4) (*engl. Reamer drive sub - RDS*) nosi teleskopske uložne elemente (*engl. extendable pad elements*) slične upravljačkim ulošcima (*engl. steering pads*) upravljačke jedinice AutoTrak. Ti ulošci osiguravaju pouzdan spoj između proširivača (5) i unutrašnjeg niza i mogu prenijeti višestruko opterećenje na dlijeto (WOB) i okretni moment na dlijeto

(*engl. Torque on Bit – TOB*). Većinu sila bušenja (*engl. drilling forces*) na proširivaču preuzima unutarnji niz, a ne peta lajnera. To omogućuje pojednostavljeni dizajn pete lajnera jer nije potreban nikakav ležaj na peti lajnera za potporu proširivača.

Uložni elementi RDS-a hidraulički se aktiviraju i mogu se uključiti i isključiti putem veze (*engl. downlink*) s površine. Zbog sigurnosti alatka se automatski deaktivira nakon određenog vremena ako nema cirkulacije. Alatke, kao i dodatne informacije, kao što je tlak za aktiviranje alatke, šalju se na površinu.

Jedinstvena značajka SDL sustava je mogućnost izvlačenja na površinu radi zamjene njegovog pilot BHA sklopa dok lajner i dalje ostaje u bušotini. To se obavlja deaktiviranjem pogona proširivača i oslobađanjem alata za ugradnju lajnera. Nakon toga samo se unutarnji niz izvlači iz kanala bušotine, a lajner ostaje u bušotini. Za ponovno povezivanje unutarnjeg niza i lajnera u bušotini, unutarnji niz se jednostavno spušta u bušotinu sve dok odsjedni klinovi (*engl. landing splines*) ne detektiraju ciljani položaj pri dnu lajnera te se u njemu uklone nakon čega se alatka za ugradnju lajnera ponovno prikvači u gornjem dijelu lajnera.

Sastav pilot BHA sklopa (6) može se odabrati prema stvarnim potrebama izrade određene dionice kanala bušotine. Za prvu implementaciju SDL sustava na polju Brage korištena je standardna konfiguracija BHA sklopa naziva Auto Trak X-treme koja se sastoji od:

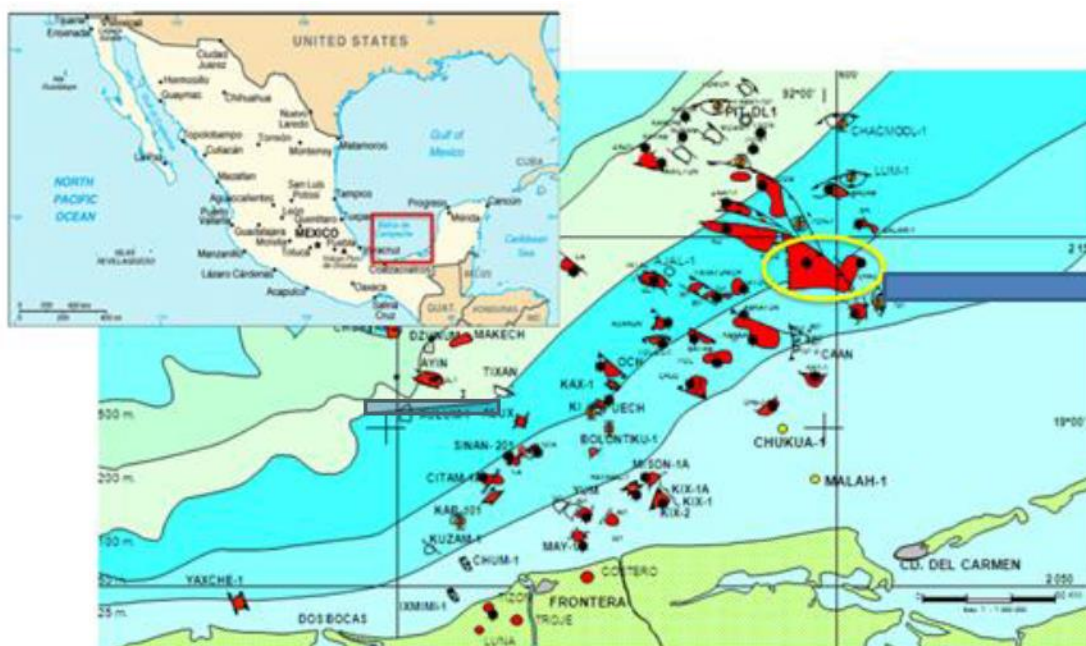
- jedinice za upravljanje naziva Auto Trak (*engl. Auto Trak steering unit*);
- jedinice za mjerenje smjera i gama karotaža – mjerenje naziva On Trak (*engl. On Trak for directional and gamma measurements*);
- jedinice za dvosmjernu komunikaciju i pogonskog modula (*engl. Bi-Directional Communication and Power Modul – BCPM*);
- modularnog motora (*engl. modular motor*) za pogon pilot dlijeta (*engl. pilot bit*) i proširivača (*engl. reamer bit*).

## 4. PRIMJERI IZRADE BUŠOTINA UZ PRIMJENU LAJNERA

U nastavku se navode primjeri izrade bušotina uz primjenu lajnera u Meksičkom zaljevu, Sjevernom moru te u Tulsi (bušotina Brage 31/4 A-13 A).

### 4.1. Korištenje tehnologije bušenja uz primjenu lajnera u Meksiku

Belloso et al. (2012) u članku pod nazivom „*Use of Liner Drilling Technology to Ensure Proper Liner Setting: A Mexico Case Study*“ (SPE 153450) opisuju probleme kod bušotina K1271H, C2091V i C2239V izrađenih u priobalnom području Meksika, u zaljevu Campeche. Bušotine su locirane na polju koje je udaljeno oko 80 km od obale poluotoka Yucatan u zaljevu Campeche i jedno je od najvećih naftnih polja u Meksiku (slika 4-1).



Slika 4-1. Polje u zaljevu Campeche, Meksiko (Belloso et al., 2012)

Polje u zaljevu Campeche otkriveno je 1976. godine i zauzima površinu od 162 km<sup>2</sup>. Jedan od problema tijekom bušenja je ozbiljan gubitak isplake i nestabilnost kanala bušotine tijekom bušenja kroz zonu visokog tlaka i unutar zone nižeg tlaka. Zbog nastanka u složenom okolišu i samih litoloških promjena došlo je i do promjene geomehaničkih svojstava breče. Konvencionalnim bušenjem, iako je sporo i problematično, bilo je moguće probušiti taj interval, međutim količina izgubljene isplake, neproduktivno vrijeme bušenja

uzrokovano potrebom za pripremu nove isplake za nastavak bušenja, kao i mogućnost zaglave alata u bušotini stvaralo je probleme. Sustav proširive vješalice lajnera dozvoljava uporabu lajnera u zoni gubitka cirkulacije, kako bi se dosegnulo dno bušotine. Nakon bušenja kroz problematične zone sa lajnerom, bilo je moguće izbušiti sljedeću sekciju korištenjem morske vode, što je rezultiralo iznimnim uštedama zbog smanjenja isplake temeljene na dizel ulju i vremena potrebnog za bušenje. Vrijeme potrebno za bušenje se od prosječnih 50 dana svelo na 10 do 12 dana. U nastavku se opisuju tri primjera primjene tehnologije bušenja uz pomoć lajnera kako bi se izbušio posljednji interval usmjerenih bušotina promjera 0,213 m (8 3/8"). Nova generacija sustava lajnera kao i specijalizirana PDC dlijeta predložena su za bušenje s lajnerom promjera 0,178 m (7"), kroz naslagu vapnenca. Cilj je bio izolirati naslagu šejla tj. gline i postaviti lajner na vrh breče.

#### **4.1.1. Izrada bušotine K1271H**

Glavni cilj kod izrade ove bušotine bio je izolirati naslagu šejla koja se nalazi ispod zaštitnih cijevi promjera 0,244 m (9 5/8"), pri čemu je provedeno bušenje i kroz naslage vapnenca. Navedenim se osiguralo kako bi se sljedeća sekcija mogla izbušiti uz korištenje isplake na bazi vode. Kada je probušena naslaga vapnenca konvencionalnim načinom, došlo je do znatnog gubitka isplake i opasnosti za stabilnost sekcije otvorenog kanala bušotine. Svrha korištenja bušenja uz pomoć lajnera bila je spustiti lajner u bušotinu od 3091 m dubine do 3230 m, i zatim izbušiti kroz naslagu vapnenca. Specijalnu pažnju trebalo je posvetiti spuštanju lajnera u bušotinu (na dubini od 2598 m do 3091 m). Tijekom spuštanja lajnera u bušotinu, opterećenje na bušaći niz i zakretni moment izmjereni su unutar zaštitnih cijevi i 10 metara ispod pete zaštitnih cijevi, sa i bez optoka fluida. Vješalica lajnera omogućila je rotaciju bušaće kolone pri 60 o/min, prilikom proširivanja suženja na dubini od 3143 metara. Ono je također omogućilo bušenje od 3230 m do 3276 m dubine, prilikom čega je posljednjih 20 metara izbušeno uz gubitak cirkulacije. Vješalica lajnera postavljena je na 2965 metara dubine sa preklapanjem od 126 metara.



Postignuća:

- mogućnost bušenja bez gubitka cirkulacije;
- uspješno izolirana naslaga šejla, izbušeno kroz naslagu vapnenca i u njoj postavljen lajner;
- uspješno izbušeno 46 metara, pri čemu je 20 metara bilo karbonata;
- uspješno cementiran lajner i izvađen bušaći alat bez gubitaka na vremenu;
- prva bušotina izbušena lajnerom u priobalnim vodama Meksika;
- bušotina sačuvana od napuštanja.

U ovom primjeru umjesto konvencionalnim bušenjem upotrebljeno je bušenje uz primjenu lajnera zbog toga što je prilikom bušenja konvencionalnom metodom došlo do gubitka isplake.

#### **4.1.2. Izrada bušotine C2091V**

Glavni cilj na ovoj bušotini bio je pomoću lajnera promjera 0,178 m (7") probušiti naslage vapnenca, te izolirati naslagu šejla tj. gline. Navedeno bi omogućilo nastavak bušenja slijedeće bušotine sa isplakom na bazi vode. Planirala se izbušiti bušotina ukupne duljine od 2527 metara, pri čemu bi ukupna duljina lajnera iznosila 1588 metara. Planirani otklon kanala bušotine iznosio je 46°. Kao i kod priobalnih bušotina, na bušotini C2091V očekivan je potpuni gubitak cirkulacije prilikom bušenja kroz breče. Izrade bušotina uz primjenu lajnera u priobalnim bušotinama bile su vrlo različite i ovisne o naslagama vapnenca. Osim navedenog, nije postojao dokaz o gubitku cirkulacije tijekom bušenja kroz naslagu vapnenca. Nakon provedene analize, odlučeno je izbušiti nekoliko metara konvencionalnom metodom prije ulaska u naslagu vapnenca te se nastavilo bušenje s lajnerom do vrha breče. Tijekom pokretanja lajnera, proveden je test rotacije kako bi verificirali i prilagodili vrijednosti zakretnog momenta i trenje, kao i kako bi utvrdili mogućnosti sustava. Lajner je uspješno spušten u bušotinu do 2413 metara mjerene dubine, i od te točke započeo je proces bušenja uz primjenu lajnera.

Lajnerom se dosegnula ukupna izmjerena dubina od 2527 metara, dok se proširiva vješalica lajnera montirala na 965 metara mjerene dubine, dok je ukupno proračunato preklapanje iznosilo 160 metara. Lajnerom je ukupno izbušeno 114 metara, što je najduža sekcija izbušena sustavom za bušenje uz pomoć lajnera u priobalnom području Meksika.

Postignuća:

- uspješno izolirana naslaga šejla, izvedeno bušenje kroz naslagu vapnenca i postavljen lajner;
- uspješno provedena cementacija lajnera i izvučen alat bez gubitka vremena;
- od ukupno 114 m 80 % duljine bušeno je kroz dolomit;
- uspješno proširena i izbušena bušotina do konačne dubine kod bušotine pod kutom;
- bušenje uspješno izvršeno dlijetom s čeličnim zubima;
- iduća sekcija izbušena je uz ispiranje morskom vodom;
- uspješno provedeno upravljanje ECD-om, kako bi izbjegli gubitak cirkulacije.

#### **4.1.3. Izrada bušotine C2239V**

Glavni cilj na ovoj bušotini bio je povećati dubinu kanala bušotine od 804 m do 3378 m, i zatim bušiti sa lajnerom do dubine od 3448 metara, održavajući pritom otklon kanala od 64°, u skladu s prethodno izbušenim kanalom. Bilo je potrebno izolirati naslagu šejla i postaviti lajner. Potrebno je obratiti specijalnu pažnju na dubini od 804 metra. Tijekom planiranog bušenja od 60 m očekivani su znatni gubici fluida. Izazov je bio spustiti u kanal bušotine 2645 metara lajnera u bušotinu s inklinacijom od 64° na ukupnoj dubini od 3378 metara mjerene dubine. Tijekom spuštanja lajnera u bušotinu, proveden je test rotacije kako bi verificirali i prilagodili vrijednosti zakretnog momenta i trenja, kao i odredili sposobnosti sustava. Vješalica lajnera omogućuje rotaciju od 60 do 80 o/min tijekom proširivanja suženja bušenjem na dubini od 3378 m do 3451 m.

Vješalica lajnera postavljena je na dubinu od 748 metara, s ukupnim preklapanjem od 56 metara. Lajner je dosegao ukupno izmjerenu dubinu od 3378 metara, dok je sustav bio u mogućnosti izbušiti 73 metra, a izbušeno je 13 metara više od planirane vrijednosti (planirano je bušiti 60 m). Ovo je bio najduži lajner koji je spušten u bušotinu u morskog regiji, ukupne duljine od 2700 metara.

Postignuća:

- uspješno proširena i izbušena bušotina pod visokim kutom otklonom kanala;
- uspješno provedeno upravljanje ECD-om kako bi se izbjegli gubici isplake;
- dobra praksa čišćenja bušotine, prilikom čega se izbjegla akumulacija krhotina;
- uspješno izbušena 73 metra;
- uspješno proširena i izbušena bušotina do konačne dubine prilikom bušenja bušotine s otklonom kanala;
- uspješno cementirani lajner i izvučen alat bez gubitka na vremenu;
- najduži spuštene lajner u bušotinu u morskoj regiji (duljine 2700 metara).

Sustav rotirajućeg bušaćeg lajnera karakterizira visoka mogućnost zakretnog momenta i hidraulički balansirana tehnologija, u kombinaciji sa specijalno projektiranim dlijetom koji omogućuje besprijekorno spuštanje lajnera na željenu dubinu unutar bušotine. U sva tri opisana slučaja, ciljevima je udovoljeno i uspješno je izbušen kanal bušotine uz primjenu lajnera.

## **4.2. Primjena neizvlačivog rotirajućeg bušaćeg lajnera u Meksičkom zaljevu**

Kunning et al. (2009) u članku „*Non – Retrievable Rotating Liner Drilling System Successfully Deployed to Overcome Challenging Highly Stressed Rubble Zone in a GOM Ultra – Deepwater Sub – Salt Application*“ (SPE 124854) opisuju neke od geomehaničkih problema povezanih s bušenjem u ultra-dubokom moru u Meksičkom zaljevu na bušotini Walker Ridge, utjecaj tih opasnosti na proces bušenja, te ishod primjene neizvlačivog rotirajućeg bušaćeg lajnera.

### **4.2.1. Izrada bušotina u Meksičkom zaljevu na bušotini Walker Ridge**

Tijekom bušenja dijela kanala pod kutom otklona od 24° (tangencijalna sekcija) na mjerenoj dubini od 7745,88 metara kroz debelu naslagu soli, bušotina se počela čepiti, tlak na cijevima se povećavao te se razvio visoki okretni moment koji je uzrokovao zastoj vršnog pogona. BHA je bio podignut s dna bušotine uslijed čega je došlo do dotoka fluida u kanal kanala bušotine i ispunjavanja dijela kanala bušotine slojnim fluidom. Problem se

pokušao riješiti ispiranjem, ali neuspješno, dogodio se porast razine u „trip tanku“ koji se napunio s 10 652 litre katrana. Anularni preventer je zatvoren i praćeno je stanje na vodu za prigušivanje (*engl. choke line*). Gustoća isplake povećala se s  $1713,51 \text{ kg/m}^3$  na  $1737,48 \text{ kg/m}^3$  (92% od gradijenta geostatičkog tlaka) te su na površini uočene katranske krhotine na vibratorima.

Katran se smatrao veoma aktivnim i u roku od nekoliko sati, uslijedio je dotok katrana, što je začepilo izljevne cijevi, vibratore. Bušotina se punila i gustoća isplake povećana je na  $1809,37 \text{ kg/m}^3$  (96% od gradijenta geostatičkog tlaka) u pokušaju da se stabilizira bušotina. Kad je bušotina bila djelomice stabilizirana, ali je još uvijek značajna količina katrana stizala na površinu, BHA je izvađen iz bušotine i niz za cementiranje (*engl. cement stinger*) spušten je do dna. Pri vađenju BHA iz bušotine, klipovanje bušotine i gubitak cirkulacije bili su problem zbog velike količine katrana koji se izljevao iz bušotine.

Niz za cementiranje spušten je do dubine od 7507,22 metra. Kontrola bušotine bila je problem zbog velike količine katrana unutar bušotine, a katran je začepio izljevnu cijev i preventer (*engl. Blowout Preventer - BOP*). Niz za cementiranje izvučen je na 6900,37 metara i na kraju je bušotina privremeno napuštena i cementirana utiskivanjem cementne kaše za čiju je pripremu utrošeno 2000 vreća cementa.

Ukupno 181 884,56 litara katrana prikupljeno je na površini, a 26 dana izgubljeno je u neproduktivnim aktivnostima koje su bile izravno vezane uz dotok katrana. Među njima su i kontrola bušotine, čišćenje, površinsko rukovanje s velikim količinama katrana, cementiranje tj. napuštanje izvorne bušotine i zasjecanje novog kanala bušotine. Trošak neplaniranih događaja procjenjuje se na oko 23 milijuna američkih dolara.

#### **4.2.2. Zasjecanje novog kanala bušotine**

Obavljeno je zasijecanje kanala bušotine s cementnog čepa na 7284,72 metra. Plan je bio da se malo smanji otklon kanala bušotine, da kanal bušotine izađe iz solnih naslaga što bliže vertikalni, te da se trajektorija bušotine preseli 82,29 metara dalje od mjesta na kojem se naišlo na katran u izvornoj bušotini.

Bočni kanal promjera 0,269 m x 0,311 m (10 5/8" x 12 1/4") izbušen je uz primjenu isplake gustoće  $1773,42 \text{ kg/m}^3$  (94% od gradijenta geostatičkog tlaka) vertikalne dubine od 7731,89 metara, gdje se naišlo na katran u izvornom kanalu. Od ove točke, kanal je

kontrolirano izbušen i obavljeno je ponovno proširenje kanala (*engl. backream*) svakih 9,14 metara, redovito je utiskivana isplaka, ali nije bilo katrana. Bušenje je nastavljeno u skladu s unaprijed utvrđenom strategijom izlaska iz solnih naslaga. Podina naslaga soli otkrivena je na 7837,02 metra mjerene dubine.

Na 7845,25 metra mjerene dubine, odmah ispod naslaga soli, kanal bušotine se počeo čepiti. Vršni pogon (*engl. top drive*) se zaustavio, a visoka vrijednost ekvivalentne gustoće isplake (ECD) izazvala je gubitke isplake. Nakon što je uočen gubitak cirkulacije isplake, gustoća isplake povećana je na  $1797,39 \text{ kg/m}^3$  u pokušaju da se spriječi začepljenje bušotine.

Bušenje intervala ispod naslaga soli nastavljeno je kroz zonu šljunka koja je izazvala brojne probleme sa stabilnošću kanala bušotine. Na 7912,91 m stijenke kanala bušotine počele su bubriti, došlo je do ulaza plina i morske vode, te gubljenja značajne količine isplake gustoće  $1797,39 \text{ kg/m}^3$ . Deset dana se pokušavalo dovesti bušotinu pod kontrolu, no bez uspjeha. Analiza je pokazala da je bušenje s konvencionalnim sklopovima previše rizično u navedenim uvjetima u bušotini. Donešena je odluka da se poveća gustoća isplake do  $1821,35 \text{ kg/m}^3$ . Zbog nepovoljnih uvijeta i gubitka cirkulacije nastavljeno je bušenje uz primjenu lajnera.

#### **4.2.3. Upotreba rotirajućeg sustava za bušenje s neizvlačivim bušaćim sklopom**

Veliki izazov u tom trenutku bio je probušiti i izolirati dio zone šljunka ispod naslaga soli koja je pod visokim opterećenjem i koja je uzrok većine problema stabilnosti kanala bušotine. Također je od izuzetne važnosti za bušenje bilo bušiti što dublje i postaviti lajner ispod trenutne dubine od 7912,91 metar kako bi se dosegla ciljane ukupne dubine bušotine bez dodatne kolone lajnera.

Korišten je sustav za bušenje sa dlijetom (sa šest oštrica i 13 mm rezačima) promjera 0,269 m (10 5/8") s neizvlačivim lajnerom promjera 0,244 m (9 5/8"), koji je povezan s bušaćim šipkama promjera 0,168 m (6 5/8"). Bušaćim sklopom probušena je zona šljunka od dubine 7912,91 m do dubine od 8102,80 m (ukupno 189,89 metara) u roku od 26 sati. Da bi se smanjila mogućnost čepjenja bušotine, gustoća isplake održavala se na  $1821,35 \text{ kg/m}^3$ . Nakon što je postignuta ukupna projektirana dubina kanala bušotine, postavljena je vješalica lajnera i sklop za bušenje je oslobođen. Bušenje s lajnerom zaustavljeno je na

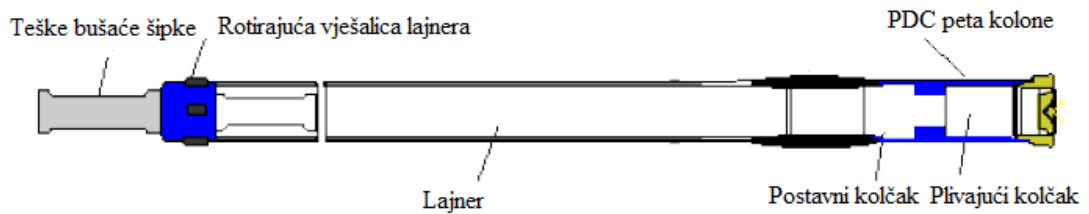
8102,80 metara zbog male duljine lajnera te nemogućnosti preklapanja lajnera s prethodno ugrađenim nizom.

Time je u tom trenutku bio postavljen rekord za najdublje i najdulje bušenje s lajnerom koje je uspješno ostvareno u dubokoj vodi Meksičkog zaljeva.

### 4.3. Primjer bušenja uz primjenu lajnera u Sjevernom moru

Clark et al. (2005) u članku „*Casing/Liner Drilling: Potential Game Changer For Future Mediterranean Operations*“ raspravljaju o budućim operacijama bušenja u Mediteranu te potencijalnim i mogućim faktorima koji mogu utjecati na planirane operacije.

Na polju Valhall 1993. godine riješen je problem bušenja kroz iscrpljene slojeve korištenjem kolone zaštitnih cijevi, sa specijalnom bušivom petom na dnu lajnera. Pod djelovanjem geostatičkog tlaka (*engl. overburden*) početni tlak u porama bio je ekvivalentan gustoći od  $1761,44 \text{ kg/m}^3$ , ali je trenutno jednak vrijednosti koja je puno niža i pada na vrijednosti koja je ekvivalentna gustoći od  $718,95 \text{ kg/m}^3$ . Prilikom prvog pokusa bušenja s lajnerom koristilo se konvencionalno PDC dlijeto promjera 0,152 m (6") na dnu lajnera promjera 0,127 m (5"). Rotirajući s površine, izbušeno je ukupno 274,01 m. Naknadno izbušene bušotine koristile su bušivu petu (*engl. drillable casing shoe*) na dnu lajnera. Parametri dobiveni prilikom bušenja, brzina rotacije i okretni moment su se prenijeli na dlijeto putem vršnog pogona ili rotacijskog stola. Bušotina je kontrolirano koso izbušena korištenjem konvencionalne opreme na sigurnoj udaljenosti iznad iscrpljene zone, uglavnom unutar visine od 30,48 m ili manje. Bušaći sklop se tada izvuče iz bušotine, dok se lajner uvede do dna bušotine. Zatim započinje rotacijsko bušenje s lajnerom prilikom čega se pažljivo prati okretni moment i povrat fluida iz bušotine. Prilikom bušenja kroz prijelaznu zonu dolazi do cjelovitog gubitka isplake kao i postepenog smanjenja tlaka unutar isplačne pumpe, kako lajner prodire u iscrpljeno ležište. Bušotina se blizu iscrpljenog ležišta počinje sužavati i zbog navedenog se zaustavlja rotiranje bušaćeg alata i daljnje napredovanje lajnera. Na slici 4-2 prikazan je princip rotacijskog bušenja za bušenje iscrpljenog ležišta koji se s uspjehom koristi u ovakvim formacijama.



Slika 4-2. Princip rotacijskog bušenja za bušenje iscrpljenog ležišta (Clark et al., 2005)

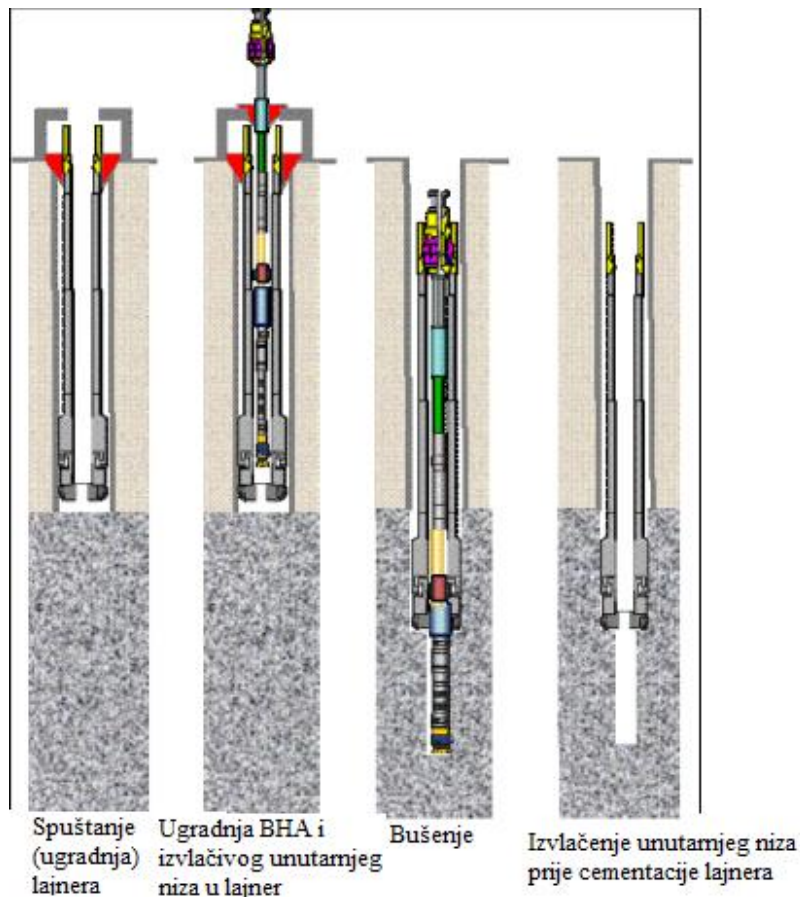
Nakon cementiranja lajnera, bilo je potrebno još jedno spuštanje niza bušaćeg alata radi cementiranja čeličnog tijela PDC rezne strukture pete lajnera. Ova operacija može trajati do tri dana, i ponekad zahtijeva dva spuštanja alata. Operacija bušenja uspješnija je nakon postavljanja nove pete zaštitnih cijevi, s bušaćim aluminijskim šipkama i termalno stabilnim dijamantrnim dlijetom. Iako rezna struktura nije toliko trajna kao kod PDC „dlijeta sa zaštitnim cijevima“, ono nudi prednost. Ipak, u praksu se ponekad uvode „dlijeta sa zaštitnim cijevima“ koja nude prednost ispred standardnog PDC dlijeta.

#### 4.4. Primjer izrade bušotina uz primjenu lajnera s upravljivim sustavom za bušenje

##### 4.4.1. Operativni postupak

Tijekom bušenja na polju Brage korištene su bušaće šipke promjera 0,168 m (6 5/8"). Prijelaz sa senzorom (*engl. CoPilot sensor sub*) smješten je u BHA direktno ispod proširivača radi praćenja vibracija i raspodjele opterećenja na dlijeto/torzije na dlijeto (*engl. WOB/TOB*).

Na slici 4-3 prikazan je postupak spajanja SDL sklopa, spuštanja unutarnjeg niza, bušenja i izvlačenje unutarnjeg niza (Torsvoll et al., 2010).



Slika 4-3. Operativni postupci kod primjene SDL sustava (Torsvoll et al., 2010)

Operativni postupci kod primjene SDL sustava uključuju (Torsvoll et al., 2010):

1. spajanje i spuštanje lajnera u bušotinu,
2. montaža dodatnog vrtaćeg stola (*engl. false rotary table*),
3. spajanje pilot BHA,
4. spajanje i spuštanje unutarnjeg niza (*engl. inner string*),
5. spuštanje kompletnog SDL sustava na bušačim šipkama (lajner, BHA i unutarnji niz),
6. bušenje do konačne dubine,
7. oslobađanje i izvlačenje unutarnjeg niza iz bušotine.

U slučaju kvara BHA, kvara unutarnje kolone ili kad se postigne konačna dubina, pogon proširivača se deaktivira pomoću pulsne telemetrije isplake (*engl. downlinking*) i kuglica se baca kako bi se alat za vođenje lajnera hidraulički otpustio od lajnera. Nakon što je na površini, alat za vođenje se konfigurira ili zamijeni, a ako je izvlačenje iz bušotine uzrokovano kvarom BHA komponenti, tada se BHA komponenta zamjenjuje.



#### 4.4.2. Testiranja

U kolovozu 2008. godine te u travnju 2009. godine na Baker Hughes eksperimentalnom području u Tulsa (Oklahoma) testirani su 0,244 m (9 5/8'') i 0,178 m (7'') SDL sustavi pomoću konvencionalne kopnene bušaće garniture srednje veličine s maksimalnim kapacitetom bušenja.

Glavni ciljevi ispitivanja su bili da se potvrde:

- 1) postupci rukovanja i rada,
- 2) funkcionalnost i integritet sustava,
- 3) performance bušenja i sposobnost upravljanja.

Obje veličine sustava su testirane u skladu sa unaprijed utvrđenim kriterijima ispitivanja:

- Provjera postupaka rukovanja i rada;
  - spajanje sustava, spuštanje alata u bušotinu, vađenje alata iz bušotine, površinsko rukovanje, upotreba vrtaćeg stola,
  - zamjena pilot BHA te ponovno postavljanje lajnera,
- Funkcionalnost sustava;
  - provjera silaznih veza,
  - pouzdanost prototipnih alata,
  - sigurnosni mehanizam SDL sustava,
  - trošenje na centralizerima i lajneru,
- Performance bušenja;
  - brzina bušenja (*engl. Rate of Penetration – ROP*) 10 m/h,
  - duljina izbušenog kanala iznad 300 m,
  - dostatno čišćenje bušotine i dlijeta,
  - trošenje proširivača,
- Upravljivost;
  - intenzitet promjene kuta otklona (*engl. Dog leg severity – DLS*) mogućnosti od 3°/30 m,
  - ocjena provedenih ispitivanja usmjerenog bušenja.

Kada je dosegnuta ciljana dubina lajner se vadi iz bušotine na pregled i analizu. Testovi i analize sustava navedeni su u tablici 4-1.

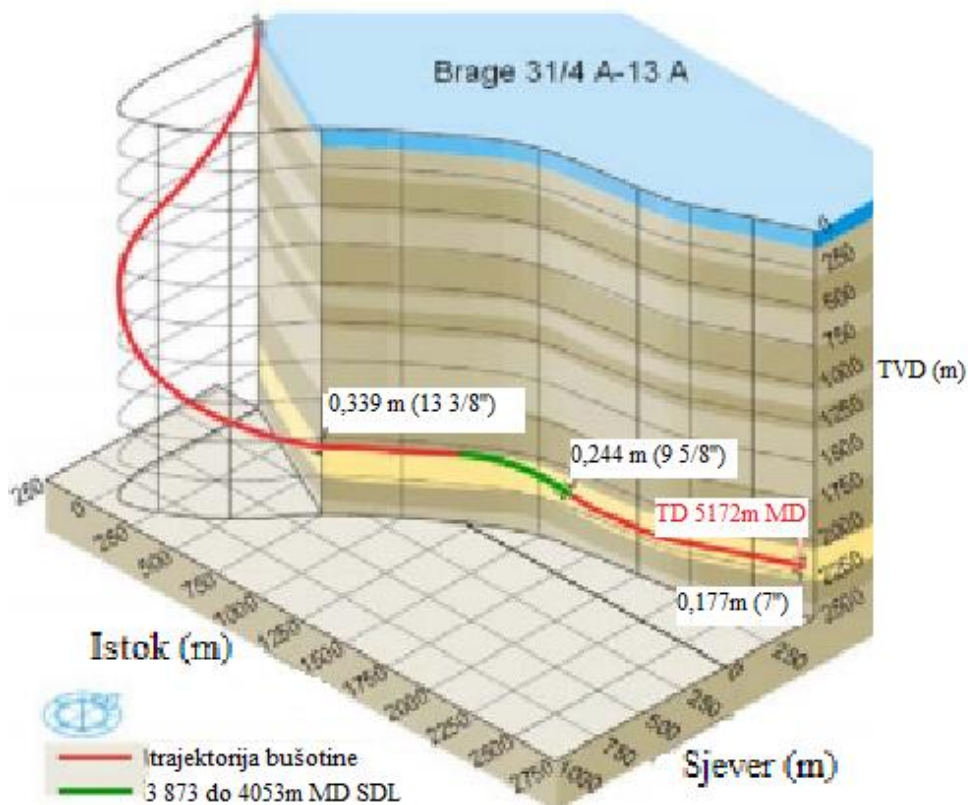
Tablica 4-1. Pregled rezultata bušenja uz primjenu lajnera, upravljivi SDL sustavi 0,244 m (9 5/8'') i 0,178 m (7'') (Torsvoll et al., 2010)

Parametar	Promjer upravljivog lajnera (SDL sustav)	
	0,244 m (9 5/8'')	0,178 m (7'')
Duljina bušenja s SLD - om (m)	114	338
Ukupna dubina (m)	576	771
Porast kuta otklona, °/30 m	4,5	Prosjek ~ 3, maks. ~ 4,5
Maksimalni kut otklona, °	15,5	41,57
Prosječna mehanička brzina bušenja, m/h	Zabilježena dobra mehanička brzina bušenja sve dok nije došlo do nakupljanja na proširivaču	Držana na 12, potencijalno 24
Ukupno vrijeme cirkulacije, h	37	42
Ukupno vrijeme na dnu, h	26	29
Efekt razmazivanja	Nema posebne indikacije efekta razmazivanja, no zapažena je mala veličina rezanja	
Zapažanja o trošenju	Nije zapaženo specifično trošenje cijevi lajnera	Nije zapaženo specifično trošenje cijevi lajnera
Razlozi zabrinutosti	Niska mehanička brzina bušenja	Visoka ekvivalentna gustoća cirkulacije
Pozitivno iskustvo	Stabilan, robusan sustav. Veoma dobra upravljivost. Nema specifičnog trošenja komponenti sustava.	Stabilan, robusan sustav. Veoma dobra upravljivost. Dobra mehanička brzina bušenja i čišćenje bušotine. Nema specifičnog trošenja komponenti sustava. Dizajnirani načini rada funkcionirali su veoma dobro.

#### 4.4.3. Priprema za uporabu na terenu

SDL sustav promjera 0,244 m (9 5/8") korišten je u kanalu promjera 0,311 m (12 1/4") bušotine 31/4-A-13 A na polju Brage u kolovozu 2009. godine. Multidisciplinarna radna skupina za bušenje osnovana je kako bi se osiguralo da svi aspekti bušenja s SDL sustavom budu temeljito ispitani te da se naučeno tijekom faza razvoja projekta i testiranja uključi u fazu planiranja i izvršenja. Logistika i priprema bušenja kod primjene nekonvencionalnih metoda bušenja obično troše mnogo vremena pa su stoga poduzete mjere za smanjenje vremena logistike i rukovanja.

Pošto je planirana operacija provedena po prvi put u svijetu i trajektorija bušotine je planirana kao horizontalna sekcija od 1170 m, primijenjene su mjere smanjena rizika kao što je konvencionalno bušenje prvih 990 m kanala promjera 0,311 m (12 1/4"), a preostalih 180 m kanala s SDL sustavom, kao što je prikazano na slici 4-4. Na slici 4-4 sekcija bušenja lajnerom prikazana je kao zeleni dio krivulje.



Slika 4-4. Trajektorija bušotine na polju Brage 31/4 A-13 A (Torsvoll et al., 2010)

Nakon bušenja kanala bušotine s konvencionalnim AutoTrak BHA sklopom promjera 0,311 m (12 ¼") do 3873 m, sklop bušaćih alatki izvađen je iz bušotine i zamijenjen s SDL sustavom za bušenje promjera 0,244 m (9 ⅝"), koji je uključivao 1228 m, u potpunosti centraliziranog lajnera, čije su karakteristike prikazane u tablici 4-2.

Tablica 4-2. Podaci o lajneru i dubinama tijekom izrade bušotine 31/4 A – 13 A na polju Brage (Torsvoll et al., 2010)

Podaci o lajneru i dubini		
Podaci o lajneru	Promjer lajner kolone zaštitnih cijevi, m (in)	0,244 (9 ⅝)
	Kvaliteta čelika	P110
	Tip navoja	VAM TOP
	Jedinična težina, N/m (lb/ft)	780,74 (53,5)
	Mjerena dubina lajnera (MD) od (m)	2805
	Mjerena dubina lajnera (MD) do (m)	4034
	Duljina lajnera uz primjenu upravljivog bušaćeg lajnera (m)	1228
SDL, početna mjerena dubina kanala (MD), m		3873
SDL, konačna mjerena dubina kanala (MD), m		4053
SDL, duljina izbušenog kanala, m		180

Tijekom bušenja primjenom SDL sustava trebalo se proširivati posljednjih 220 m kanala do 3873 m zbog njegova suženja. Kada je dosegnuta ciljana dubina, bušenje je započeto pažljivo sve dok nisu dosegnuti puni parametri bušenja. Tablica 4-3 daje usporedbu između prosječnih zabilježenih parametara za bušenje kanala konvencionalnim sklopom alatki (netom prije ciljane dubine bušenog kanala sklopom promjera 0,311 m (12 ¼")) i za SDL sustav promjera 0,244 m (9 5/8") odmah nakon bušenja nove formacije s proširivačem.

Tablica 4-3. Mehanički i hidraulički zabilježeni podaci tijekom bušenja konvencionalnim i SDL sustavom (Torsvoll et al., 2010)

Parametri		Podaci o bušenju konvencionalnim sustavom zabilježeni na dubini od ~3873 m MD	Podaci o bušenju SDL sustavom zabilježeni na dubini od ~3997 m MD
Mehanički podaci	Brzina rotacije (o/min)	130 - 180	20 - 30
	Moment (torzija) (kNm)	33 - 38	40 - 50
	Opterećenje na dlijeto, kN (t)	78,45 – 137,29 (8 – 14)	49,03 – 147,09 (5 – 15)
	Brzina (napredak) bušenja, (m/h)	12 (prosječno)	5,7 (prosječno), 12 (maksimalno)
Hidraulički podaci	Gustoća isplake (g/m <sup>3</sup> )	1420 (uljna isplaka)	1420 (uljna isplaka)
	Dobava, m <sup>3</sup> /s (l/min)	0,067 (4000)	0,038 (2300)
	Tlak pumpe (bar)	231	220
	$\rho_{ecd}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1448 – 1453	1535
	Gustoća isplake određena testom integriteta formacije, FIT (kg/m <sup>3</sup> )	1600	1600

Tijekom bušenja registrirano je da se alatka za ugradnju nenamjerno odvojila, ostavivši unutarnji niz i lajner u bušotini. Obavljena su dva zasebna pokušaja vađenja prije nego što su unutarnji niz i BHA ponovno spuštene i spojene na lajner, pri čemu su mirovali u bušotini gotovo 5 dana tijekom čega je došlo do zaglave, uloženo je mnogo truda da se lajner oslobodi. Nakon ponovnog uspostavljanja rotacije lajnera i cirkulacije isplake uspješno je izbušen kanal bušotine promjera 0,311 m (12 ¼") do ciljane dubine od 4053,5 m.

Nakon čišćenja kanala bušotine cirkulacijom isplake, pogon proširivača (*engl. Reamer drive sub – RDS*) je ponovno aktiviran i kugla je bačena da se oslobodi alatka za ugradnju (*engl. running tool*) unutarnjeg niza od lajnera, kako bi se obavilo izvlačenje unutarnjeg niza iz kanala bušotine. Međutim, oslobađanje alatke za ugradnju bilo je neuspješno, te je provedeno nekoliko bezuspješnih pokušaja sve dok se zaglavljani mehanizam za oslobađanje alatke nije aktivirao. Na temelju ovih problema, izmjenjena je konstrukcija alatke za ugradnju kako bi se spriječilo ponavljanje ovih problema u budućim primjenama.

Osim gore navedenih problema sklop upravljivog bušačkog lajnera (*engl. SDL*) se dokazao veoma stabilnim pošto su zabilježene veoma niske razine udaraca, vibracija i zaglave alata. Usmjeravanje sklopa BHA, odnosno kanala bušotine, bilo je izvrsno i jednako kao tijekom konvencionalnog rotirajućeg upravljivog sustava bušenja (*engl. Rotary steerable system – RSS*). Kao što je očekivano, zapaženi okretni moment i ekvivalentna gustoća isplake (*engl. ECD*) bili su malo viši kod bušenja uz primjenu lajnera u odnosu na konvencionalno bušenje.

Na osnovu dostupnih podataka u tablici 4-4 prikazani su podaci o kompanijama koje su izvodile bušenje uz primjenu lajnera, promjerima dlijeta, promjerima lajnera, dubini bušotine, otklonu bušotine od vertikale, dubini izbušenog intervala pomoću lajnera te o vrsti stijena.

Tablica 4-4. Pregled literaturnih podataka o kanalu, lajneru i stijenama tijekom izrade bušotina uz primjenu lajnera

Izvor	Lokacija bušotine	Kompanija	Promjer dlijeta, m (in)	Promjer lajnera, m (in)	Dubina bušotine, m	Otklon kanala od vertikale, °	Duljina izbušenog intervala pomoću lajnera, m	Vrsta stijene kroz koju se bušilo
Belloso et al. (2012.)	Meksiko, bušotina K1271H	Baker Hughes	n/d	0,177 (7)	3276 (MD)	0	46	vapnenac
Belloso et al. (2012.)	Meksiko, bušotina C2091V	Baker Hughes	n/d	0,177 (7)	2527 (MD)	46	114	vapnenac, glina
Belloso et al. (2012.)	Meksiko, bušotina C2239V	Baker Hughes	n/d	0,177 (7)	3451 (TD)	64	73	šejl
Kunning et al. (2009.)	GoM Walker Ridge	Baker Hughes	0,269 (10 5/8)	0,244 (9 5/8)	8102 (MD)	24	189,89	naslage soli
Billa et al. (2006.)	Južni Teksas, bušotina A	Baker Oil Tools	n/d	0,127 (5)	3444 (TD)	0	142,65	n/d
Clark et al. (2005.)	Sjeverno more, polje Valhall	Hughes Christiansen	0,152 (6)	0,127 (5)	n/d	0	274,01	n/d
Torsvoll et al., (2010.)	Brage bušotina 31/4 A-13 A	- Statoil - Baker Hughes	n/d	0,244 (9 5/8)	4053 (MD)	n/d	180	n/d
Rosenberg et al., (2014.)	Meksički zaljev, Mississippi Canyon, na moru	Weatherford	n/d	0,250 (9 7/8)	4040,4 (MD)	38	93,26	pješčana formacija

Iz podataka navedenih u tablici 4-4 može se primjetiti da je bušenjem uz primjenu lajnera moguće dosegnuti velike dubine bušotine. Najdublja bušotina izbušena uz primjenu lajnera je u Meksičkom zalijevu i iznosi 8102 metra (MD). Također se može primjetiti najveća duljina izbušenog intervala pomoću lajnera u Sjevernom moru koja iznosi 274,01 metar.

U tablici 4-5 prikazani su podaci o isplaci koja je korištena za ispiranje kanala tijekom bušenja uz primjenu lajnera.

Tablica 4-5. Pregled podataka o isplaci korištenoj tijekom bušenja uz primjenu lajnera

Izvor	Lokacija bušotine	Kompanija	Gustoća isplake (kg/m <sup>3</sup> )	Tip isplake
Belloso et al. (2012.)	Meksiko, bušotina K1271H	Baker Hughes	n/d	n/d
Belloso et al. (2012.)	Meksiko, bušotina C2091V	Baker Hughes	n/d	n/d
Belloso et al. (2012.)	Meksiko, bušotina C2239V	Baker Hughes	n/d	n/d
Kunning et al. (2009.)	GoM Walker Ridge	Baker Hughes	1821,35	n/d
Billa et al. (2006.)	Južni Teksas, bušotina A	Baker Oil Tools	1893,25	n/d
Clark et al. (2005.)	Sjeverno more, polje Valhall	Hughes Christiansen	1761,44	n/d
Torsvoll et al., (2010.)	Brage bušotina 31/4 A-13 A	- Statoil - Baker Hughes	1420	uljna isplaka
Rosenberg et al., (2014.)	Meksički zaljev, Mississippi Canyon, na moru	Weatherford	1420	n/d

U tablici 4-5 primjećujemo da je pri bušenju uz primjenu lajnera potrebna velika gustoća isplake, kao što je primjer bušotine u Južnom Teksasu čija gustoća isplake iznosi 1893,25 kg/m<sup>3</sup>.



U tablici 4-6 prikazati ćemo prikupljene podatke o režimu bušenja te o brzini rotacije.

Tablica 4-6. Podaci o režimu bušenja primjenjenom tijekom bušenja uz primjenu lajnera

Izvor	Lokacija bušotine	Kompanija	Opterećenje na dlijeto (kN)	Mehanička brzina bušenja (m/h)	Brzina rotacije, o/min
Belloso et al. (2012.)	Meksiko, bušotina K1271H	Baker Hughes	n/d	n/d	60
Belloso et al. (2012.)	Meksiko, bušotina C2091V	Baker Hughes	n/d	n/d	n/d
Belloso et al. (2012.)	Meksiko, bušotina C2239V	Baker Hughes	n/d	n/d	60-80
Kunning et al. (2009.)	GoM Walker Ridge	Baker Hughes	155,69	7,32	60-80
Billa et al. (2006.)	Južni Teksas, bušotina A	Baker Oil Tools	n/d	n/d	n/d
Clark et al. (2005.)	Sjeverno more, polje Valhall	Hughes Christiansen	n/d	n/d	n/d
Torsvoll et al., (2010.)	Brage bušotina 31/4 A-13 A	- Statoil - Baker Hughes	49,82- 149,46	6	20-30
Rosenberg et al., (2014.)	Meksički zaljev, Mississippi Canyon, na moru	Weatherford	8,89-106,76	5,09	50-90

\*n/d – nije dostupno

Podaci navedeni u tablici 4-6 pokazuju dosta velike razlike kod opterećenja na dlijeto koje varira u rasponu od približno 8 kN pa sve do oko 160 kN.

Brzina rotacije u bušotini 31/4 A-13 A na polju Brage iznosi 20-30 o/min, dok su u Meksičkom zaljevu, te u Mississippi Canyonu iznosile čak i do 90 o/min.

## 5. ZAKLJUČAK

Bušenje uz primjenu lajnera pokazalo se kao dobra i učinkovita metoda kod bušenja u teškim uvjetima kao što je bušenje kroz iscrpljene formacije pijeska te kroz debele naslage soli.

Iskustva iz prakse pokazala su veliku prednost korištenja lajnera kao bušaćeg niza pred kolonom zaštitnih cijevi. Lajnerom se može dosegnuti dubina koju je teško dosegnuti kolonom zaštitnih cijevi. Bušenjem uz primjenu lajnera mogu se lakše i uz manje neproduktivnog vremena probušiti naslage soli, iscrpljene formacije pijeska, bubreće naslage te ostali problematični slojevi. Nove metode bušenja uz primjenu lajnera, kao što je SDL sustav, postaje sve popularniji jer može dosegnuti veliku dubinu bez gubljenja cirkulacije ili zaglave alata, a isto tako može bušiti pri velikim kutevima otklona od vertikale.

Velika prednost lajnera pred kolonom zaštitnih cijevi promatrana je i sa ekonomskog stajališta u smislu smanjenih troškova te puno manje vremena potrebnog za njegovu ugradnju. Ako nešto nije ekonomski isplativo neće imati primarnu zadaću u obavljanju svojih zadataka, što u slučaju izrade bušotina primjenom lajnera nije slučaj. Tehnologija i iskustvo u izradi bušotina primjenom lajnera sve više napreduje i predviđa se sve veća upotreba ove tehnologije.

## 6. LITERATURA

1. Baker Hughes Incorporated, 2001. Sure Trak – Steerable Drilling Liner Service. Drilling and Evaluation 2001 Rankin Road Houston, Texas 77073
2. BELLOSO, A., SCOTT, J., RIVERA J. M., PINA, J., GARCIA, J. V. S., GARCIA MENDEZ J.C., ROBLES, J.L.R., 2012. Use of Liner Drilling Technology to Ensure Proper Liner Setting: A Mexico Case Study. SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference in Mexico City, Mexico, 16-18 April. SPE 153450
3. BILLA, R., WATKINS, D., WEISSMAN, M., CLARK, L., MCMLAIN, E., SESSIONS, J., EVANS, K., 2006. Reducing Well Cost Utilizing Liner – Drilling Operations in South Texas. IADC/SPE Drilling Conference in Miami, Florida, U.S.A., 21-23 February 2006. IADC/SPE 99110
4. CLARK, L., MCCLAIN, E., 2005. Casing/Liner Drilling: Potential Game Changer For Future Mediterranean Operations. Offshore Mediterranean Conference and Exhibition in Ravenna, Italy, March 16-18, 2005
5. ERIKSEN, E., HERRERA, D., MOFFITT, M., RODRIGUEZ JORDAN, G., MAZZAFERRO, G., 2011. Development of a Liner Drilling System Incorporating a Retrievable Bottom Hole Assembly. SPE/IADC Middle East Drilling Technology Conference and Exhibition Muscat, Oman, 24-26 October 2011. SPE/IADC 148607
6. KRIŠTAFOR, Z., 2002. Projektiranje zacjevljenja, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet
7. KUNNING, J., WU, Y., THOMSON, I. J., MARSHALL, L., DAIGLE, D., MATA, H. J., PENA, R., HENSGENS, M., EPPLEY, B., 2009. Nonretrievable Rotating-Liner Drilling System Deployed Successfully. 2009 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, 4-7 October. SPE 124854
8. KUNNING, J., YAFEI WU, THOMSON, I. J., MARSHALL, L., DAIGLE, D., J. MATA, H., PENA, R., HENSGENS, M., EPPLEY, B., 2009. Non – Retrievable Rotating Liner Drilling System Successfully Deployed to Overcome Challenging Highly Stressed Rubble Zone in a GOM Ultra – Deepwater Sub – Salt Application. SPE Annual Technical Conference and Exhibition in New Orleans, Louisiana, USA, 4-7 October 2009. SPE 124854
9. MATANOVIĆ, D., 2006. Tehnika izrade bušotina, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet

10. PERIĆ, M., 2007. Englesko – hrvatski enciklopedijski rječnik istraživanja i proizvodnje nafte i plina, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu
11. ROSENBERG, S. M., KARIMI, M., BLAKE, M., ZO TAN, M., SALINAS, A., WINCHELL, R, L., 2014. Use of Liner Drilling Technology to Isolate a Depleted Sand – A Case Study in Mississippi Canyon. SPE Deepwater Drilling and Completions Conference held in Galveston, Texas, USA, 10 – 11 September 2014. SPE – 170290 – MS
12. TORSVOLL, A., ABDOLLAHI, J., EIDEM, M., WELTZIN, T., HJELLE, A., RASMUSSEN, S.A., KRUEGER, S., SCHWARTZE, S., FREYER, C., HUYNH, T., SORHEIM, T., 2010. Successful Development and Field Qualification of a 9 5/8 in and 7 in Rotary Steerable Drilling Liner System that Enables Simultaneous Directional Drilling and Lining of the Wellbore. IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition in New Orleans, Louisiana, USA, 2-4 February 2010. IADC/SPE 128685
13. VESTAVIK, O., KERR, S., BROWN, S., 2009. Reelwell Drilling Method – A Unique Combination of MPD and Liner Drilling. SPE Offshore Europe Oil and Gas Conference and Exhibition in Aberdeen, UK, 8 – 11. September 2009. SPE 124891

Internet izvori:

14. Cougar Drilling Solution, 2012.  
URL: <http://www.cougards.com/tools/3-point-reamers> (15.10.2016.)
15. Development of Drilling Technologies for Shale Gas, 2014.  
URL: <http://www.slideshare.net/Pomcert/horizon-2020-41013909> (15.10.2016.)
16. Direct XCD Drillable Alloy Casing Bit, 2013.  
URL: [http://www.slb.com/~media/Files/smith/brochures/drill\\_bits/direct\\_XCD.ashx](http://www.slb.com/~media/Files/smith/brochures/drill_bits/direct_XCD.ashx)  
(15.11.2016.)
17. Hole Opener Corporation, 2016.  
URL: <http://www.holeopener.com/hoc-products/underreamers> (15.10.2016.)
18. Rigzone, Accu Tech The MWD Company, 2016.  
URL: [http://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight\\_id=296](http://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=296) (15.10.2016.)
19. Schlumberger, 2014.  
URL: [http://www.slb.com/services/drilling/drilling\\_services\\_systems/casing\\_drilling/liner\\_while\\_drilling.aspx?t=2](http://www.slb.com/services/drilling/drilling_services_systems/casing_drilling/liner_while_drilling.aspx?t=2) (10.10.2016.)

20. Weatherford,

URL:<http://www.weatherford.com/en/products-services/drilling-formation-evaluation/drilling-services/lwd-petrophysics> (15.10.2016)

**IZJAVA:**

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno sa znanjem stečenim na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu.

IVONA POTOČKI

---

## **Zahvale**

*Zahvaljujem Prof. dr. sc. Nediljki Gaurini – Međimurec na pruženoj pomoći i savjetima prilikom izrade diplomskog rada.*

*Zahvaljujem majci i bratu što su mi omogućili studiranje, te pružili pomoć i podršku bez čega ovakav uspjeh ne bi nikada postigla.*