# Održavanje bušotina s ušćem na morskom dnu bez primjene niza usponskih cijevi

**Džepina, Luka**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2020**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:632585

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-28**



*Repository / Repozitorij:*

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb









SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij naftnog rudarstva

# ODRŽAVANJE BUŠOTINA S UŠĆEM NA MORSKOM DNU BEZ PRIMJENE NIZA USPONSKIH CIJEVI

Diplomski rad

Luka Džepina

N 288

Zagreb, 2020

Sveučilište u Zagrebu Diplomski rad

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

# ODRŽAVANJE BUŠOTINA S UŠĆEM NA MORSKOM DNU BEZ PRIMJENE NIZA USPONSKIH CIJEVI

LUKA DŽEPINA

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku

Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

## Sažetak

Postupak održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi razvijen je kako bi se omogućilo održavanje bušotina u odobalju kojima je ušće smješteno na dnu mora uz smanjenje ukupnih troškova održavanja i povećanje sigurnosti za ljude i okoliš. Pri izvođenju ovog postupka ne koristi se niz usponskih cijevi kroz koji bi se obavljala komunikacija između kanala bušotine i plovila koje obavlja radove, već se sklopovi alata spuštaju pomoću čeličnih kabela kroz otvoreno more. Posebno dizajniran sklop opreme koji se spaja s ušćem bušotine sastoji se od sklopa za kontrolu tlaka u bušotini, lubrikatorskog sklopa i glave za kontrolu tlaka te omogućava rukovanje alatkama uz istovremeno kontroliranje tlaka u bušotini. Ovaj postupak moguće je primjeniti za izvođenje širokog spektra radova održavanja bušotina poput uklanjanja kamenca i postavljanja čepova te se njezina upotreba sve više intenzivira.

Ključne riječi: održavanje bušotina, niz usponskih cijevi, čelični kabel, lubrikatorski sklop, kontrola tlaka bušotine

Diplomski rad sadrži: 44 stranice, 2 tablice, 24 slike i 11 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

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

Voditelj: Dr. sc. Borivoje Pašić, docent RGNF-a

Ocjenjivači: Dr.sc. Borivoje Pašić, docent RGNF-a

Dr.sc. Zdenko Krištafor, redoviti profesor RGNF-a

Dr.sc. Vladisav Brkić, docent RGNF-a

Datum obrane: 14.2.2020.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology
and Petroleum engineering

Master's Thesis

# RISERLESS LIGHT WELL INTERVENTION

LUKA DŽEPINA

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Petroleum and Gas Engineering and Energy
Pierottijeva 6, 10000, Zagreb

## Abstract

Riserless light well intervention method was developed to ensure a new, less expensive and more secure, in terms of HSE, way of doing intervention work on subsea wells. Method does not use marine riser to ensure communication between intervention vessel and the well, but instead uses steel cables to transfer tools through open water. Equipment used in this method consists of well control package, lubricator section and pressure control head and enables tool running while providing pressure barrier. Method can be used for large variety of intervention works such as scale milling and setting plugs and it is being used more common around the world.

Keywords: well intervention, marine riser, steel cable, lubricator section, pressure control

Thesis contains: 44 pages, 2 tables, 24 figures, 11 references

Original in: Croatian

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

Supervisor: PhD Borivoje Pašić, Assistant Professor

Reviewers: PhD Borivoje Pašić, Assistant Professor
PhD Zdenko Krištafor, Full Professor
PhD Vladislav Brkić, Assistant Professor

Date of defense: February, 14,2020.

**SADRŽAJ**

**POPIS TABLICA**……..I

**POPIS SLIKA**……..II

**POPIS SKRAĆENICA**……..……IV

**1. UVOD** .....1

**2. ODRŽAVANJE BUŠOTINA S UŠĆEM NA RAZINI MORSKOG DNA**.....2

**3. POSTUPAK ODRŽAVANJA BUŠOTINA BEZ NIZA USPONSKIH CIJEVI**.....4

**4. PLOVILA I OPREMA ZA ODRŽAVANJE BUŠOTINA BEZ NIZA USPONSKIH CIJEVI** .....6

4.1. Plovila .....6

4.2. Oprema za održavanje bušotina bez niza usponskih cijevi.....8

*4.2.1. Čelična žica i ostale vrste kabela*.....9

*4.2.2.Sustav podvodne opreme* .....15

4.3. Mogućnosti i smjerovi razvoja opreme .....20

**5. MOGUĆNOST PRIMJENE POSTUPKA ODRŽAVANJA BUŠOTINA BEZ NIZA USPONSKIH CIJEVI PRI RAZLIČITIM RADOVIMA ODRŽAVANJA BUŠOTINA U ODOBALNOM PODRUČJU** .....22

5.1. Održavanje odobalnih bušotina korištenjem savitljivog tubinga .....22

5.2. Postavljanja čepova i napuštanja bušotina bez primjene niza usponskih cijevi.....27

5.3. Uklanjanje kamenca primjenom postupka održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi .....31

**6. PRIHVAĆENOST POSTUPKA ODRŽAVANJA BUŠOTINA BEZ NIZA USPONSKIH CIJEVI U PRAKSI** .....34

**7. PRIMJERI KORIŠTENJA METODE ODRŽAVANJA BUŠOTINA BEZ NIZA USPONSKIH CIJEVI**.....36

7.1. Primjena postupka održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi za čišćenje kanala bušotine i uklanjanje mehaničkog mosta iz bušotine na Sjevernom moru.....36

7.2. Primjena postupka održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi u teškim uvjetima na području *„West of Shetland“* .....40

**8. ZAKLJUČAK** .....44

**9. LITERATURA**……..45

**POPIS TABLICA:**

**Tablica 4-1.** Specifikacije brodova za održavanje bušotina bez niza usponskih cijevi…..7

**Tablica 6-1.** Prikaz glavnih predrasuda prema korištenju postupka održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi……34

**POPIS SLIKA:**

**Slika 2-1.** Prikaz odnosa relativnih troškova održavanja bušotina……3

**Slika 3-1.** Sastav podvodne opreme kod održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi….5

**Slika 4-1.** Prikaz brodova za održavanje bušotina bez niza usponskih cijevi……....6

**Slika 4-2.** Smještaj kontrolne sobe i raspored radnih pozicija operatera……...8

**Slika 4-3.** Prikaz zaslona operatora koji upravlja kretanjem čelične žice……10

**Slika 4-4.** Pleteno uže od sintetičkih vlakana (lijevo) te poprečni presjek kompozitnog kabela (desno)…….....12

**Slika 4-5.** Usporedba dosega pri korištenju čelične žice promjera 11,1 mm i kompozitnog kabela promjera 9 mm……..12

**Slika 4-6.** Prikaz smjera djelovanja pojedinih sila u svakoj točki kabela……14

**Slika 4-7.** Otklon kabela u odnosu na brzinu morskih struja……...14

**Slika 4-8.** Podvodni sklop opreme za kontrolu tlaka u bušotini……..16

**Slika 4-9.** Sustav lubrikatora……16

**Slika 4-10.** Ventil En-Ter lubrikatorskog sustava s dvostrukim djelovanjem…….19

**Slika 4-11.** Glava za kontrolu tlaka……..20

**Slika 5-1.** Prikaz sustava podvodne opreme pri korištenju savitljivog tubinga tijekom održavanja odobalnih bušotina s mokrim ušćem…….23

**Slika 5-2.** Postupak instalacije podvodne opreme na morsko dno i spuštanja niza alata u kanal bušotine……..24

**Slika 5-3.** Položaj plovila i savitljivog tubinga u odnosu na ušće bušotine kod konfiguracija savitljivog tubinga s nategom……..26

**Slika 5-4.** Položaj plovila i savitljivog tubinga u odnosu na ušće bušotine kod konfiguracija „strmog vala“…….27

**Slika 5-5.** Izgled bušotine prije i postavljanja cementnih čepova i napuštanja bušotine…28

**Slika 5-6.** Dlijeta za uklanjanje kamenca, standardna (lijevo) i posebno dizajnirana (desno)……..32

**Slika 5-7.** Krhotine kamenca nakon njegova uklanjanja iz proizvodnog niza……33

**Slika 7-1.** Konstrukcija kanala bušotine i položaj ugrađenog mehaničkog čepa…….37

**Slika 7-2.** Pojedini dijelovi sklopa alata za čišćenje kanala bušotine i izvlačenje mehaničkog čepa……..39

**Slika 7-3.** Oštećenje voda za prijenos kemikalija nastalo trošenjem materijala pri kontaktu voda s brodom……..41

**Slika 7-4.** Prikaz ispucanih vlakana za prijenos opterećenja na vodu za prijenos kemikalija…….41

**Slika 7-5.** Uvijanje kontrolnog voda u sklopu za kontrolu vodova……42

**Slika 7-6.** Vodovi korišteni pri izvođenju radova prije i nakon prilagodbe……42

**POPIS SKRAĆENICA:**

RLWI- *Riserless Light Well Intervention* (Održavanje bušotina bez primjene niza usponskih cijevi

# 1. UVOD

Nakon završetka bušenja, a zatim i opremanja naftnih i plinskih bušotina, slijedi faza eksploatacije ležišta ugljikovodika, odnosno počinje pridobivanje željenih ugljikovodika na površinu. Volumen pridobivenih ugljikovodika iz pojedine bušotine, odnosno dijela ležišta koji ona zahvaća, ovisi o raznim faktorima poput karakteristika same bušotine, karakteristikama zahvaćenog dijela ležišta, režimu pridobivanja, željama vlasnika polja i dr., te znatno varira od jednog do drugog eksploatacijskog polja. Unatoč tome što vrijeme koje će bušotina provesti u radu varira, velika većina bušotina tijekom svoga radnog vijeka zahtjeva održavanje u manjem ili većem opsegu. Održavanje bušotina podrazumijeva sve radove i intervencije kojima se poboljšavaju proizvodne karakteristike bušotina iz određenog dijela ležišta ili se njihov rad prilagođava željama i zahtjevima operatora. Poslovi održavanja obuhvaćaju između ostalog i zamjenu opreme, popravne radove, ali i kontrolne radove kojima se nadzire pravilan rad bušotine. Kao što je ranije rečeno, opseg potrebnog održavanja ovisi o samoj bušotini, ali veliku ulogu u planiranju i provođenju održavanja igra i sam smještaj bušotine. Bušotine koje su smještene na moru mogu se podijeliti u dvije glavne skupine ovisno o smještaju ušća bušotine, odnosno na; bušotine kojima se ušće nalazi iznad razine mora (tzv. suho ušće, engl. *dry tree*) i one kojima je ušće ispod razine mora odnosno na razini morskog dnu ( tzv. mokro ušće, engl. *wet tree*). Upravo je održavanje bušotina s mokrim ušćem najrjeđe zbog velike složenosti operacija te samim time i višestruko veće cijene u odnosu na ostale bušotine što za posljedicu ima da se u najvećem broju slučajeva operatori odlučuju na održavanje takvog tipa bušotina samo u krajnjoj nuždi, to jest kada je ozbiljno narušen integritet bušotine ili kada dođe do znatnog smanjenja količine pridobivenih ugljikovodika. Nedovoljna učestalost ili u nekim slučajevima potpuni izostanak remontnih radova kojima se održava bušotina za posljedicu ima u konačnici znatno smanjenje iscrpka što istraživanje novih načina obavljanja ovih operacija čini jednim od ključnih zadataka naftno-plinskih kompanija. Velika se sredstva ulažu u konstruiranje i testiranje novih sustava kojima bi se održavanje bušotina s mokrim ušćem učinilo dostupnijim i ekonomski isplativijim uz istovremeno zadržavanje visokih kriterija vezanih za sigurnost ljudi i okoliša. Tema ovog diplomskog rada je postupak održavanja bušotina bez usponskih cijevi koji je razvijen kako bi se omogućilo održavanje bušotina s mokrim ušćem bez potrebe za korištenjem skupih plutajućih platformi.

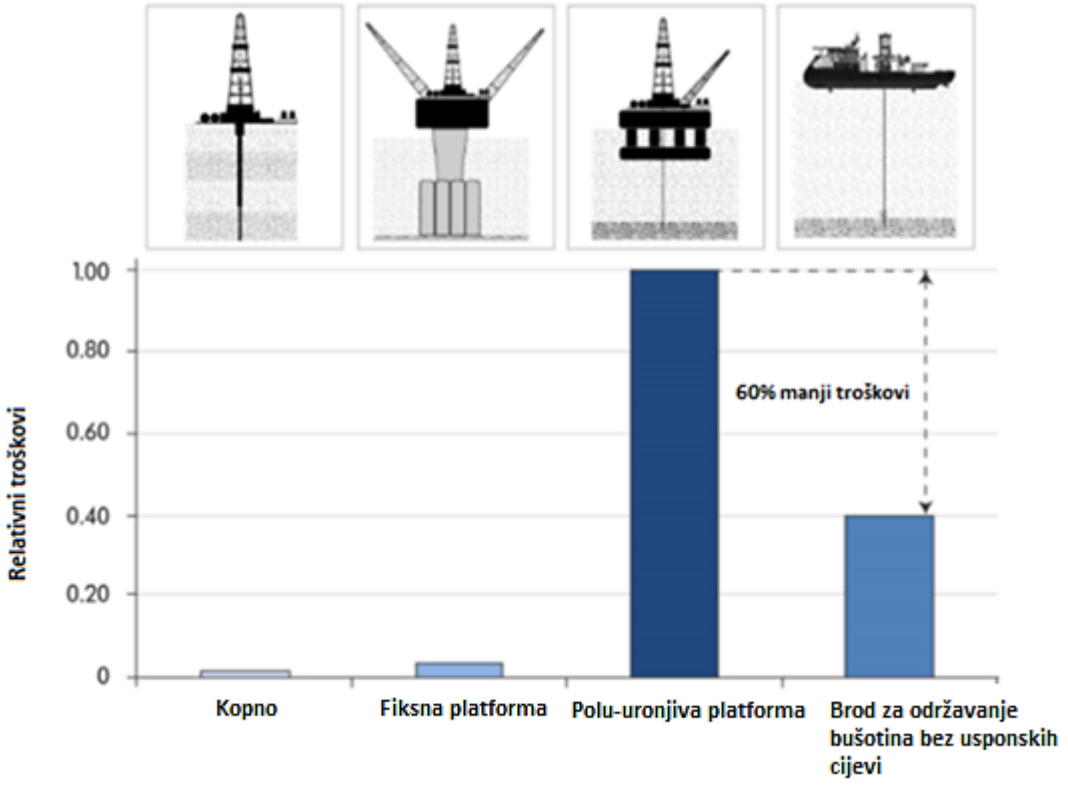
## 2. ODRŽAVANJE BUŠOTINA S UŠĆEM NA RAZINI MORSKOG DNA

Kao što je u uvodu već spomenuto, bušotine u odobalnom području predstavljaju zahtjevnu skupinu bušotina u smislu provođenja radova njihova održavanja. Međutim, velika se razlika u ekonomskom aspektu održavanja može primijetiti ovisno o smještaju ušća odobalnih bušotina. Bušotine kojima se ušće nalazi iznad razine mora, odnosno na proizvodnim platformama, predstavljaju skupinu kod koje su troškovi održavanja znatno niži u usporedbi s bušotinama kojima se ušće smješteno na morskom dnu. Niži troškovi održavanja kod bušotina sa „suhim" ušćem posljedica su lakšeg pristupanja opremi ušća bušotine, kao i veće sigurnosti za okoliš i ljude koja je osigurana postavljanjem ušća na čvrsti objekt (proizvodnu platformu). Druga skupina bušotina, bušotine s ušćem na morskom dnu predstavljaju znatno veći izazov prilikom provođenja potrebnih operacija njihova održavanja.

Ova vrsta bušotina karakteristična je kod velikih dubina mora kada smještanje ušća na platformu nije moguće pa je oprema ušća bušotine koja uključuje preventerski i kontrolni sustav smještena je na morsko dno te je prva prepreka povezivanja s ušćem bušotine upravo stupac morske vode između plovila na površini i samog ušća bušotine na morskom dnu. Prije početka bilo kakvih radova vezanih za održavanje bušotine, potrebno ju je na neki način povezati s površinom. Kod konvencionalnog održavanja takva se veza ostvaruje putem niza usponskih cijevi (engl. *marine riser*) koji omogućuje komunikaciju između površine i ušća odnosno kanala bušotine. Također prilikom održavanja se koriste najčešće polu-uronjive bušaće platforme koje su najveći uzrok višestruko veće cijene održavanja kod bušotina ovakvog tipa. Još jedan od čimbenika koji pridonosi složenosti održavanja bušotina s „mokrim" ušćem je potreba za stalnim preciznim dinamičkim pozicioniranjem plovila, to jest platforme koja obavlja održavanje, što je ponajviše posljedica krutosti niza usponskih cijevi i velike mogućnosti deformacija istoga ukoliko se dogodi pomak izvan dopuštenih granica. Nakon povezivanja niza usponskih cijevi sva se komunikacija (spuštanje i izvlačenje opreme, cirkulacija fluida) odvija kroz niz usponskih cijevi bez dovođenja opreme za remont u doticaj s morskom vodom. Nepovoljni vremenski uvjeti koji mogu uzrokovati obustavljanje obavljanja radova, kao i neproduktivno vrijeme potrebno za dovođenje platformi na lokaciju još su jedan od problema kod održavanja ove vrste bušotina. Zbog navedenih faktora operatori bušotina s „mokrim ušćem" pokušavaju svesti radove održavanja na minimum, što ima negativne posljedice na indeks

proizvodnosti takvih bušotina te u krajnjem slučaju na isplativost cijelog projekta crpljenja ugljikovodika na pojedinom polju. Posljednjih godina inteligentno opremanje takvih bušotina omogućilo je bolje praćenje rada istih, kao i preciznije uočavanje potrebe za održavanjem, međutim konvencionalni način održavanja još uvijek predstavlja prevelik trošak u većini slučajeva.

Naftno-plinske kompanije ulažu značajna sredstva u razvoj i istraživanje novih postupaka i tehnologija koje bi omogućile smanjenje troškova održavanja uz istovremeno zadržavanje visokog stupnja sigurnosti za okoliš i ljude. Veliku ulogu preuzimaju daljinski upravljane robotske ronilice čiji razvoj omogućava sve sigurnije i pouzdanije manipuliranje opremom na morskom dnu, kao i razvoj ostalih postupaka koji se u nekom dijelu svoga rada oslanjaju na uspješno djelovanje robotskih ronilica. Jedan od takvih postupaka je i održavanje bušotina bez usponskih cijevi koja će detaljno biti opisana u nastavku rada. Slika 2-1. prikazuje odnos relativnih troškova održavanja bušotina ovisno o smještaju bušotine (na kopnu ili u odobalju) te o postrojenju korištenom za obavljanje radova održavanja. Vidljivo je da su razlike relativnih troškova znatne te je jasan trud koji se ulaže u razvoj novih postupaka održavanja kako bi se te razlike smanjile.




**Slika 2-1.** Prikaz odnosa relativnih troškova održavanja bušotina (Varne et al., 2017)

# 3. POSTUPAK ODRŽAVANJA BUŠOTINA BEZ NIZA USPONSKIH CIJEVI

Postupak održavanja bušotina bez usponskih cijevi (engl., *Riserless Light Well Intervention (RLWI)*) razvijen je kao alternativni postupak održavanja bušotina kojima je ušće smješteno na morskom dnu. Zbog rastuće potrebe na svjetskoj razini za održavanjem bušotina ovog tipa upotreba ovog postupka postaje sve učestalija. Glavna prednost ove metode zasigurno je uklanjanje potrebe za korištenjem polu-uronjivih platformi koje zbog česte nedostupnosti i visoke cijene predstavljaju glavnu prepreku operatorima bušotina pri odluci za održavanje bušotina. U ovu svrhu koriste se posebno dizajnirani brodovi (engl., *Riserless Light Well Intervention (RLWI) Vessel*) koji su konstruirani i opremljeni specijalno za ovu svrhu. Nadalje, kako im i samo ime kaže, prilikom održavanja bušotina ovim postrojenjima to jest brodovima ne koristi se niz usponskih cijevi, već se oprema u kanal bušotine spušta pomoću čelične žice što čitav postupak čini fleksibilnijim u pogledu utrošenog vremena koje bi se inače koristilo za spajanje niza usponskih cijevi, a sada se može koristiti za radove održavanja. Niz operacija održavanja bušotina može biti izvođen korištenjem ove metode poput (Fjærtoft et al., 2011):

- inicijalnog perforiranja i naknadnog perforiranja;
- izolacija pojedinih zona;
- postavljanja čepova i cementnih mostova;
- zamjena i postavljanja sigurnosnih ventila;
- mjerenja i prikupljanje podataka;
- uklanjanja kamenca i brojnih ostalih naslaga unutar proizvodne opreme.

## 3.1. Kratki opis postupka održavanja bušotina bez usponskih cijevi

Održavanje bušotine s „mokrim“ ušćem bez primjene usponskih cijevi započinje dolaskom broda za održavanje na lokaciju. Nakon pozicioniranja broda započinje sama priprema za izvođenje postupka održavanja. Prije spuštanja opreme koja će se koristiti prilikom održavanja bušotina potrebno je pomoću čelične žice spustiti, i sa erupcijskim uređajem bušotine na morskom dnu, spojiti opremu za kontrolu tlaka u bušotini (engl. *Well Control Package*). Oprema za kontrolu tlaka u ovom slučaju uključuje sigurnosne ventile i preventere dizajnirane za brtvljenje oko žice i rezanje žice u slučaju potrebe, te predstavlja glavni dio sustava koji se koristi tijekom obavljanja operacija održavanja bušotine primjenom ovog postupka (Varne et al., 2017) . Sljedeći korak je spuštanje sustava

lubrikatora prikazanog također na slici 3.-1. koji se zatim spaja s prethodno ugrađenom opremom za kontrolu tlaka u bušotini te se koristi za smještanje opreme prije njezinog spuštanja u bušotinu. Nakon spuštanja i spajanja sustava lubrikatora na vrh se postavlja glava za kontrolu tlaka (engl. *Pressure Control Head*) koja se spaja s nizom lubrikatora te joj je funkcija brtvljenje oko čelične žice.




**Slika 3-1.** Sastav podvodne opreme kod održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi (Varne et al., 2017)

Također u sustavu opreme se nalaze i dodatni elementi koji u slučaju pojave neplaniranih situacija osiguravaju bušotinu i okoliš. Posljednji korak prije početka operacije održavanja bušotine je spajanje kontrolnog kabela s opremom na morskom dnu kako bi se omogućila kontrola podvodne opreme s plovila putem elektroničko-hidrauličke veze (Varne et al.,2017). Sva se oprema s plovila u more spušta kroz otvor koji se nalazi neposredno ispod tornja.

# 4. PLOVILA I OPREMA ZA ODRŽAVANJE BUŠOTINA BEZ NIZA USPONSKIH CIJEVI

Kako bi održavanje bušotina bez niza usponskih cijevi bilo moguće, razvijena je oprema i plovila koji omogućavaju obavljanje radova. Poseban dizajn opreme te specijaliziranih brodova biti će opisan u nastavku ovog poglavlja.

## 4.1. Plovila

Kao što je već ranije istaknuto jedna od najvećih prednosti ovog postupka održavanja bušotina s ušćem na morskom dnu je korištenje posebno dizajniranih i opremljenih brodova s kojim potreba za korištenjem skupih polu-uronjivih platformi nestaje. Brodovi korišteni kod ovog postupka održavanja bušotina dinamički su pozicionirani što im omogućuje zadržavanje optimalnog položaja u odnosu na bušotinu, te samim time i optimiranje obavljanja radova. Znatno niži dnevni troškovi u odnosu na bušaće platforme operatorima bušotina omogućuju radove održavanja na većem broju bušotina na pojedinom polju bez znatnog povećanja ukupnih troškova. Kao glavni nedostatak pri korištenju ove vrste plovila može se istaknuti veća osjetljivost na vremenske uvjete, koja se očituje kroz češće prekide izvođenja radova, odnosno kroz povećanje količine neproduktivnog vremena zbog čekanja na poboljšanje vremenskih prilika. Brodovi moraju biti dovoljnih dimenzija za smještaj potrebne opreme za provođenje radova na održavanju, dok sustav dinamičkog pozicioniranja mora omogućiti dovoljnu kontrolu položaja s obzirom na dimenzije broda. Na slici 4-1 prikazan je izgled plovila, dok su specifikacije triju brodova koji su korišteni za održavanje bušotina s „mokrim“ ušćem u Sjevernom moru prikazane u tablici 4-1.




**Slika 4-1.** Prikaz brodova za održavanje bušotina bez niza usponskih cijevi (Varne et al., 2017)

**Tablica 4-1.** Specifikacije brodova za održavanje bušotina bez niza usponskih cijevi (Varne et al., 2017)

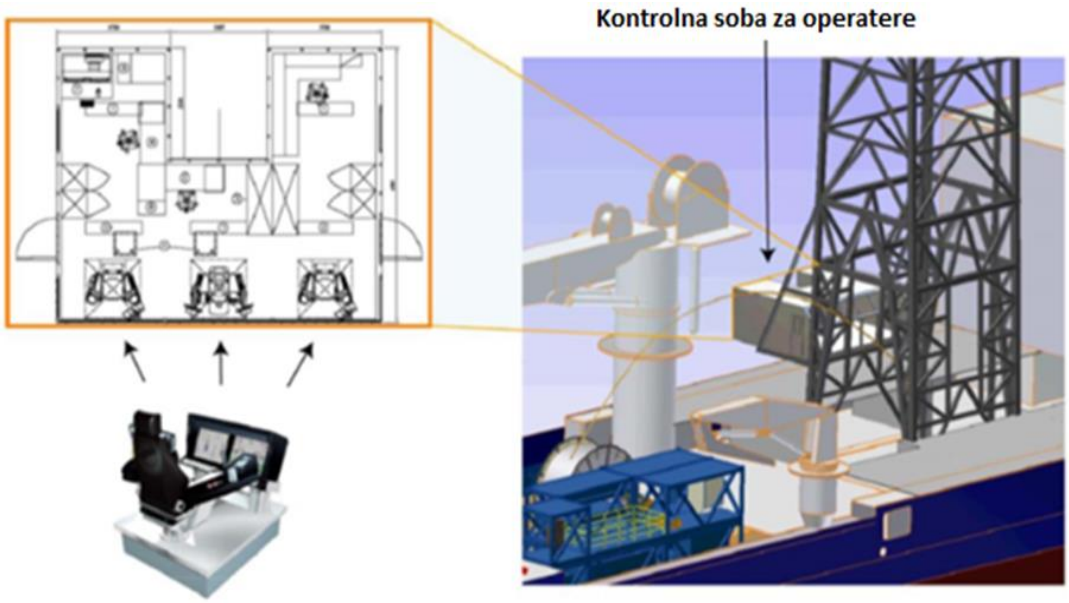
| | Brod 1 | Brod 2 | Brod 3 |
|---|---|---|---|
| Ukupna duljina (m) | 106 | 116 | 120 |
| Širina (m) | 21 | 25 | 25 |
| Dubina gaza (m) | 8,70 | 8,70 | 7,90 |
| Površina palube ($m^2$) | 945 | 1150 | 1470 |
| Plovna brzina (km/h,(čvorova)) | 26, (14) | 26, (14) | 27, (14,5) |
| Nosivost (tona) | 4600 | 8200 | 8700 |

Iz priložene tablice je jasno vidljivo da se duljina razmatranih brodova nalazi u rasponu od 106 do 120 metara dok je vrijednost širine svih triju brodova u rasponu od 21 do 25 metara. Upravo prethodno navedene dimenzije omogućuju dovoljno veliku površinu palube ove vrste plovila, potrebnu kako bi se osigurao dovoljan prostor za smještaj sve potrebne opreme i manipulaciju istom pri obavljanju radova na održavanju bušotina. Također, kako je prikazano u tablici plovna brzina brodova je približno 14 čvorova, što je znatno više od brzina kojima se kreću polu-uronjive platforme pri tegljenju. Iz navedenog se može zaključiti da je neproduktivno vrijeme uslijed premještanja s jedne lokacije na drugu kod brodova korištenih za održavanje bušotina bez niza usponskih cijevi znatno smanjeno.

Osim prostora za smještaj alatki potrebnih kod obavljanja različitih poslova održavanja bušotina te tornja, brodovi moraju osigurati dovoljan prostor za smještaj helikopterske palube te stambeni prostor za posadu, komandni prostor i kontrolnu sobu za nadzor nad operacijom održavanja bušotina. Upravo je kontrolna soba iz koje se odvija nadzor operacija održavanja vrlo važna komponenta koja osigurava uspješnost ovog postupka. Kod plovila prikazanih na slici 4-1. kontrolna soba smještena je u blizini tornja i u njoj se nalaze kontrolna i upravljačka mjesta za operatere koji rukuju različitom opremom u različitim fazama održavanja bušotina. Smještaj i raspored opreme unutar kontrolne sobe omogućuje komunikaciju operatera s opremom bušotine pomoću spomenute električno-hidrauličke veze, ali i praćenje podataka registriranih preko različitih

senzora te mogućnost vizualne potvrde u slučaju potrebe. Operacijom održavanja bušotina u pravilu upravljaju trojica operatera zaduženih za različite dijelove operacije.

Kao što je vidljivo na slici 4-2. radna mjesta operatera koji upravlja i nadzire toranj, operatera koji obavlja nadzor i upravlja kretanjem čelične žice i operatera zaduženog za zadržavanje kontrole tlaka nad bušotinom nalaze se jedno uz drugo, čime se postiže visoka razina komunikacije te se posljedično povećava i sama efektivnost postupaka. Također, ovakvim dizajnom kontrolne sobe i integriranjem radnih pozicija u jednu prostoriju omogućuje se brže reagiranje u slučaju nepredviđenih opasnih situacija.




**Slika 4-2.** Smještaj kontrolne sobe i raspored radnih pozicija operatera (Varne et al., 2017)

Sa svoje radne pozicije svaki od operatera u mogućnosti je komunicirati s ostalima, a nadzor nad cijelim postupkom održavanja bušotina koji se trenutno odvija olakšava mu i prikaz pojedinih parametara, koji su pod kontrolom ostalih operatera, a koji su prikazani na ekranu računala ispred njega (Varne et al., 2017).

## 4.2. Oprema za održavanje bušotina bez niza usponskih cijevi

Osim opisanih plovila posebne konstrukcije, drugi najvažniji dio sustava je oprema koja se koristi pri operacijama održavanja. Oprema mora omogućiti komunikaciju s kanalom bušotine u uvjetima bez niza usponskih cijevi, odnosno omogućiti kontrolu tlaka pri manipulaciji alatom unutar kanala bušotine. Kod ovog postupka održavanja bušotina za uspješno obavljanje radova važna je pouzdana i provjerena površinska oprema smještena

na plovilu koja uključuje toranj, koloturni mehanizam, kontrolnu sobu za operatere te vitla i bubnjeve različitih veličina s namotanim kabelima različitih namjena.

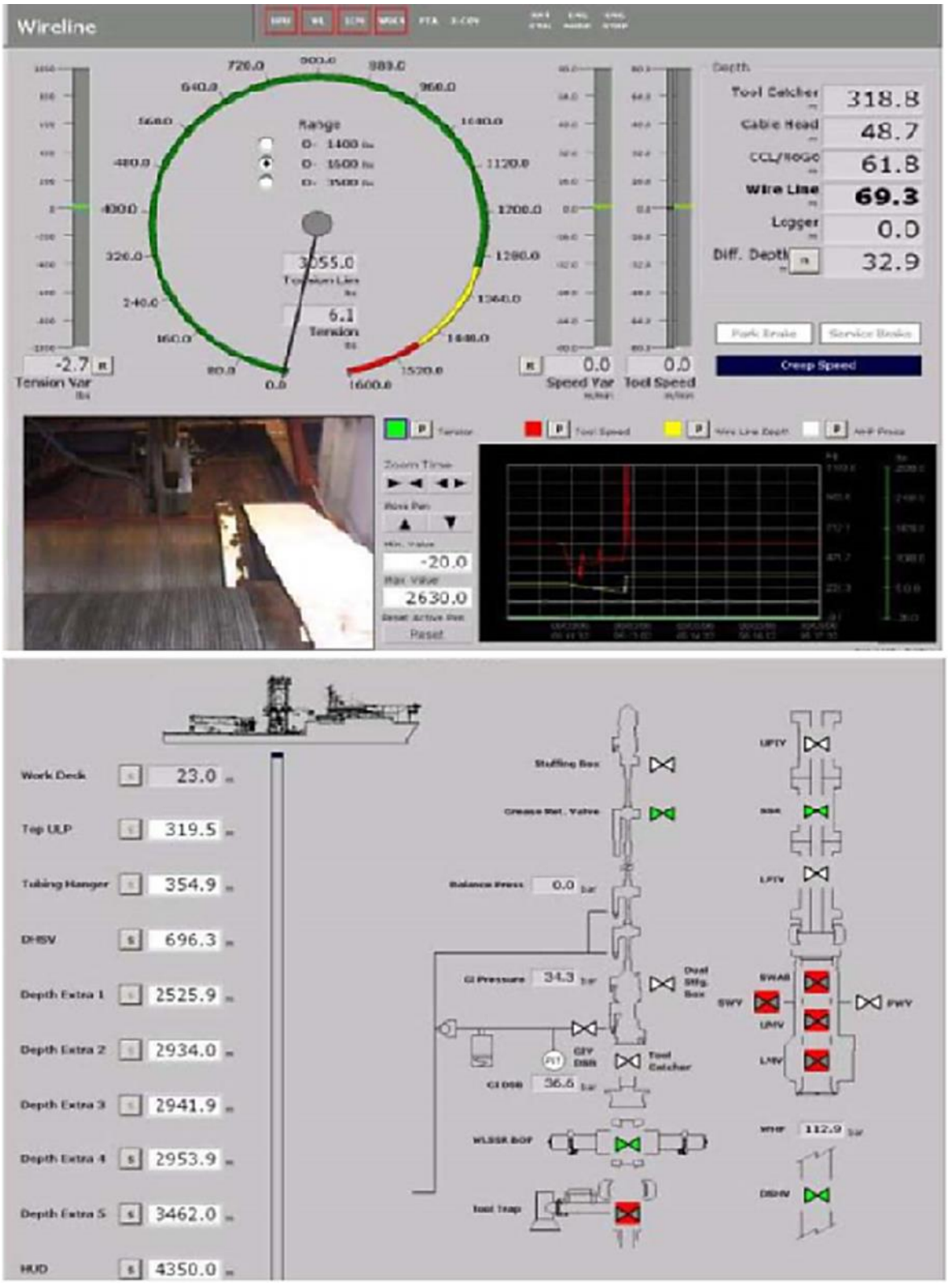
### *4.2.1. Čelična žica i ostale vrste kabela*

Jedna od najvažnijih komponenti sustava kod održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi su različite vrste kabela koji uključuju čeličnu žicu, čelični kabel za obavljanje postupka instrumentacije te električni kabel. Standardna oprema uključuje dva klizna nosača na koja su smještena vitla te tri vrste kablova namotanih na bubnjeve (Varne et al., 2017):

- čelična žica promjera 3,18 mm,
- čelični kabel za obavljanje postupka instrumentacije promjera 5,56 mm,
- električni kabel promjera 7,94 mm.

Klizni nosači na kojima se nalaze bubnjevi s namotanim kablovima smješteni su na predviđene pozicije na palubi dok se vitlima upravlja iz kontrolne sobe. Osim navedenih kabela na palubi je smješten i električno-hidraulički kabel (kod novijih generacija električni kabel) većeg promjera (engl. *umbilical*), odnosno kontrolni vod preko kojega se upravlja i nadzire radom opreme za kontrolu ušća bušotine, kao i lubrikatora. Unutar kabela nalazi se veći broj hidrauličkih i električnih vodova koji rezultiraju većom krutosti kabela. Uslijed konstantnog savijanja i izvijanja tijekom spuštanja i podizanja dolazi do pomicanja i dodirivanja vodova što rezultira povećanim opterećenjem samog kabla (Mathiassen et al., 2008).

Kao što je ranije spomenuto operater iz kontrolne sobe pokreće vitla te upravlja kretanjem čelične žice. Na slici 4-3. prikazan je zaslon operatera zaduženog za upravljanje žicom. Može se vidjeti da operater na zaslonu ima prikaz opterećenja čelične žice, odnosno težine alata, video prikaz kretanja vitla u realnom vremenu, ali i pojednostavljeni prikaz vezan za kontrolu tlaka u bušotini koji mu omogućuje pravovremeno reagiranje u slučaju potrebe, ali i olakšava komunikaciju s drugim operaterima. Također pojednostavljeni prikaz vezan za kontrolu tlaka omogućuje bolje razumijevanje trenutnih događanja u bušotini te promjena uočenih u ponašanju čelične žice.

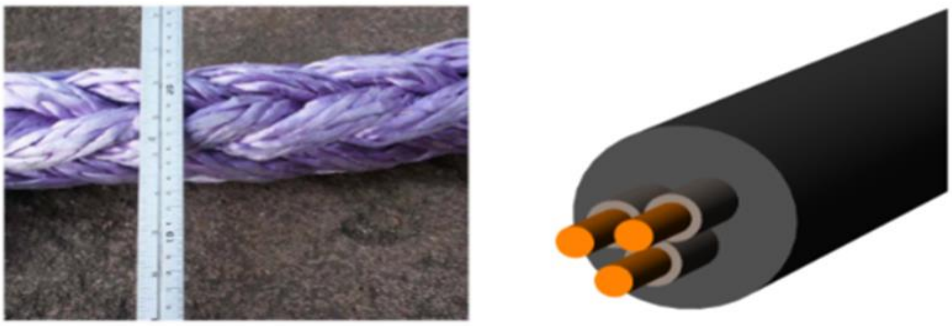



**Slika 4-3.** Prikaz zaslona operatora koji upravlja kretanjem čelične žice (Varne et al., 2017)

Uzevši u obzir važnost čelične žice i ostalih kabela pri izvođenju radova ovom metodom održavanja bušotine razumljivo je ulaganje znatnih sredstava u njihov razvoj.

Klasična čelična žica korištena pri spuštanju i podizanju alata u bušotini predstavlja problem pri povećanju dubine mora koju treba savladati. Problem se javlja uslijed njezine vlastite težine koja počinje utjecati na nosivost vitla i bubnja na koji je namotana s porastom dubine mora koju je potrebno premostiti do ušća bušotine. Vitlo mora izdržati dvije vrste opterećenja, težinu tereta koji se spušta i težinu čelične žice, pa se povećanjem dubine mora smanjuje težina tereta kojim je moguće manipulirati uslijed povećanja drugog opterećenja, odnosno povećanja težine same žice. Nadalje, unatoč velikoj nosivosti pletene čelične žice problem predstavlja njezina gruba površina koja uzrokuje znatno trenje pri interakciji sa stjenkom tubinga unutar bušotine (Mathiassen et al., 2008).

Kako se dubine mora pri kojoj je potrebno izvoditi radove održavanja bušotina primjenom ovog postupka povećavaju počinju se razvijati alternativne vrste kabela za korištenje u ovu svrhu. Dvije vrste alternativnih kabela za prijenos alata u bušotinu valja istaknuti kao značajan napredak kod ovog postupka. Kako bi se eliminirali spomenuti nedostatci kod korištenja čelične žice razvijeni su materijali koji imaju gotovo neutralnu plovnost (materijali kod kojih se sila uzgona izjednačava sa gravitacijskom silom) što uklanja negativan utjecaj na vitlo s povećanjem dubine mora i omogućuje prenošenje veće težine tereta prema ili iz bušotine. Uže od sintetičkih vlakana u obliku pletenice omogućuje jednaku nosivost kao i čelična žica, čelična pletenica ili čelični kabel uz znatno smanjenje opterećenja na vitlo, to jest znatno manju težinu za istu nosivost (Mathiassen et al., 2008). Osim korištenja užeta od sintetičkih vlakana razvijen je i kompozitni kabel koji u svom sastavu ima 3 električna voda unutar ovojnice ojačane ugljičnim vlaknima. Ciljevi pri razvoju kompozitnog kabela bili su, uz smanjenje trenja i povećanje nosivosti, i povećanje vodljivih svojstava kabela što se postiglo ranije spomenutim vodičima. Kako bi s uspješno savladale veće dubine mora kao cilj je postavljen dizajn pogodan za duljine kabela do 10 000 metara. Unatoč izazovima poput interakcije različitih materijala korištenih pri izradi, te njihove kompatibilnosti s uvjetima u bušotini razvijen je kompozitni kabel sa zadovoljavajućim svojstvima. Prema provedenim testiranjima nosivost kabela vanjskog promjera 9 mm bila je 13 tona što označava napredak u odnosu na žicu i kablove koji su se do sada koristili kod održavanja bušotina konvencionalnim postrojenjem za rad s opremom na žici (Munkerud et al., 2007). Slika 4-4. prikazuje uže od sintetičkih vlakana i poprečni presjek kompozitnog kabela.



**Slika 4-4.** Pleteno uže od sintetičkih vlakana (lijevo) te poprečni presjek kompozitnog kabela (desno) (Mathiassen et al., 2008)

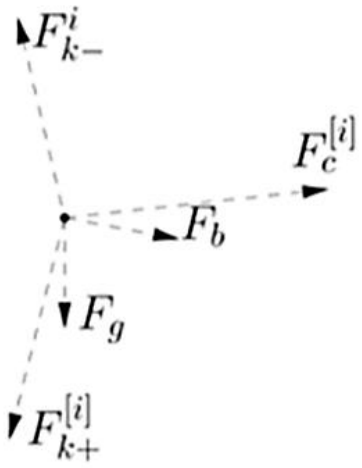
Razvojem alternativnih kabela za prijenos alata omogućeno je povećanje dosega unutar bušotine, kao i povećanje dubina mora u kojima je moguća primjena ovog postupka održavanja bušotina. Kompozitni kabel zbog svoje glatke površine uzrokuje znatno manje trenje u odnosu na čeličnu žicu pa je i trošenje stjenke tubinga manje. Nadalje, eliminira se potreba za složenim sklopovima za brtvljenje na glavi za kontrolu tlaka, a samim time i eliminira mogućnost nepravilnog funkcioniranja nekog dijela opreme za kontrolu tlaka u bušotini (Munkerud et al., 2007). Na slici 4-5. prikazana je usporedba dosega unutar bušotine prilikom korištenja čelične žice i kompozitnog kabela te je jasno vidljivo znatno povećanje dosega prilikom korištenja kompozitnog kabela kao rezultat ranije opisanih prednosti. Pri mjerenju dosega pojedinom vrstom kabela za povlačenje kabela do željene dubine korištena je mehaničko-hidraulička alatka, odnosno bušotinski traktor kojemu je zadatak u bušotinama većeg otklona omogućiti napredovanje kabela koje se ne bi moglo ostvariti korištenjem konvencionalnih utega.




**Slika 4-5.** Usporedba dosega pri korištenju čelične žice promjera 11,1 mm i kompozitnog kabela promjera 9 mm (Munkerud et al., 2007)

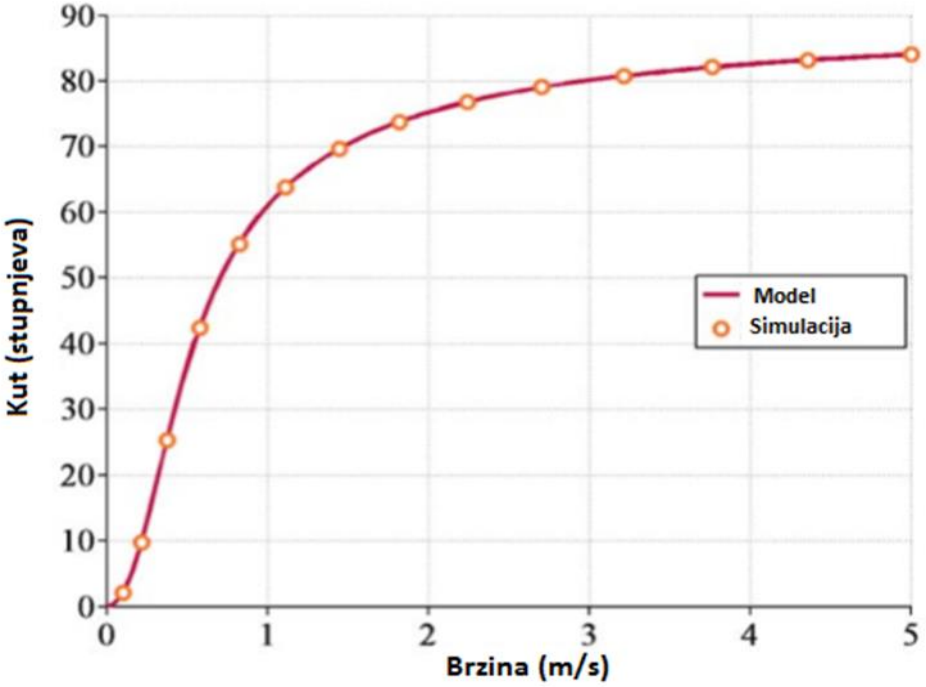
Prilikom održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi, kako je ranije spomenuto, čelični je kabel izložen djelovanju mora i morskih struja. Od trenutka kada kabel napusti brod do trenutka kada ulazi u glavu za kontrolu tlaka, na čeličnu žicu djeluju kretanja morske vode u kombinaciji s kretanjima broda, što uzrokuje njezino deformiranje i zauzimanje određenog položaja. S povećanjem dubine mora negativni utjecaj struja raste pa je ključno unaprijed predvidjeti ponašanje čelične žice. Sile koje djeluju na kabel uzrokuju njegovo izvlačenje iz bušotine, što za posljedicu može imati potpuno izvlačenje niza alatki iz bušotine ili u najekstremnijim slučajevima pucanje kabela (Kjærsgaard-Rasmussen et al., 2011). Također duljinu kabela koji se nalazi u moru prilikom održavanja važno je optimirati zbog što manjeg, ranije spomenutog opterećenja na vitla. U svrhu dobivanja kvalitetnih podataka vezanih uz ponašanje kabela razvijene su jednadžbe pomoću kojih se to isto ponašanje može opisati. Kvalitetne simulacije utjecaja sila na kabel omogućuju pravilno dimenzioniranje alata kako bi se izbjeglo njegovo izvlačenje iz bušotine.

U radu *„Modelling of Cable Forces as a Decision Support Tool for RLWI Operations“* autori su predstavili matematički model kabela i jednadžbe pomoću kojih se utjecaj sila može opisati. Kako bi se postigla što veća točnost modela kabel je diskretiziran. Prema predstavljenom modelu na čelični kabel djeluju četiri vrste sila koje utječu na njegovo ponašanje. Prva sila koja djeluje opisana je kao sila povlačenja ($F_c$), koja opisuje djelovanje protoka morske vode na kabel. U obzir se prilikom opisa djelovanja ove sile uzima njezino tangencijalno i normalno djelovanje. Sljedeća je sila koja nastaje zbog gravitacije i uzgona ($F_g$), koja za izračun u obzir uzima podatke o gustoći materijala od kojeg je kabel napravljen, kao i njegov volumen. Nadalje, kako bi se opisale unutarnje sile koje se javljaju u kabelu, pri izradi modela u obzir je uzeta sila rastezanja kabela ($F_k$) kod koje je ključno odrediti mehanička svojstva materijala, koja utječu na njezinu krajnju veličinu. Posljednja sila koja je opisana u modelu ponašanja čeličnog kabela rezultat je viskoznog prigušenja ($F_b$) te je zaključeno da se sustav može definirati kao potpuno prigušen (Kjærsgaard-Rasmussen et al., 2011) . Slika 4-6. prikazuje smjer djelovanja svake navedene sile u svakoj točki promatranog kabela.




**Slika 4-6.** Prikaz smjera djelovanja pojedinih sila u svakoj točki kabela (Kjærsgaard-Rasmussen et al., 2011)

Pomoću spomenutih sila autori su predstavili niz jednadžbi čijim se rješavanjem može simulirati položaj kabela, kao i njegova duljina. Na slici 4-7. prikazan je odnos otklona kabela i brzine morskih struja koje djeluju na isti, što omogućuje bolju pripremu operatora pri izvođenju operacija. Usporedbom 14 simulacija vidljivih na slici s rješenjima jednadžbi razvijenih za opis ponašanja kabela jasno je vidljivo slaganje rezultata otklona kabela kojima se potvrđuje točnost razvijenog modela.




**Slika 4-7.** Otklon kabela u odnosu na brzinu morskih struja (Kjærsgaard-Rasmussen et al., 2011)

### *4.2.2.Sustav podvodne opreme*

Postupak održavanja bušotina s „mokrim“ ušćem bez niza usponskih cijevi, kako joj i sam naziv govori, služi za održavanje onih bušotina čije je ušće smješteno na morskom dnu, odnosno ljudi mu ne mogu izravno pristupiti. Prilikom radova održavanja najvažniji zadatak je zadržati bušotinu pod kontrolom, to jest onemogućiti nekontrolirano istjecanje ležišnog fluida u okoliš. Također važno je da oprema koja služi za kontrolu tlaka u bušotini istovremeno omogućuje i obavljanje radova, odnosno smještaj i kretanje alatki i čeličnog kabela. U poglavlju 3. pri opisu ove metode spomenuta je i prikazana oprema koja povezana u cjelinu čini podvodni sustav opreme korišten prilikom održavanja.

Na samom dnu tog sustava nalazi se podvodni sklop za kontrolu tlaka u bušotini koji se spušta prvi te je prikazan na slici 4-8. Sklop se spaja na erupcijski uređaj bušotine koji se nalazi na morskom dnu, te je prilagođen spajanju na vertikalne i horizontalne erupcijske uređaje pomoću adaptora ovisno o karakteristikama samog erupcijskog uređaja. Sastoji se od čeljusnih preventera kojima je zadatak u slučaju potrebe izvršiti rezanje čeličnog kabela ili druge opreme koja se trenutno nalazi unutar kanala bušotine, poput savitljivog tubinga o čijem će korištenju biti govora u kasnijim poglavljima (Varne et al., 2017). Kontrola sklopa obavlja se s površine pomoću ranije spomenutog kontrolnog voda, odnosno električno-hidrauličkog ili električnog voda. S porastom dubine mora korištenje hidrauličke linije za kontrolu sklopa postaje problematično zbog duljeg vremena reagiranja, ali i većih gubitaka tlaka prilikom protiskivanja hidrauličkog fluida s površine. Kako bi se spomenuti problem riješio pristupilo se korištenju potpuno električnih vodova manjeg promjera pomoću kojih se naredbe s površine šalju do podvodnih hidrauličkih jedinica koje pretvaraju električni signal u hidraulički, odnosno hidrauličku energiju uskladištenog fluida u akumulatorskim spremnicima. Korišteni električni kabel identičan je onima korištenim pri upravljanju robotskim ronilicama te je kroz praksu provjeren za zadatke ovog tipa. Spremnici hidrauličkog fluida smješteni na morskom dnu podijeljeni su u grupe ovisno o dijelu opreme koji kontroliraju (Mathiassen et al., 2008).



**Slika 4-8.** Podvodni sklop opreme za kontrolu tlaka u bušotini (Varne et al., 2017)

Sljedeći element podvodne opreme korišten pri ovoj metodi održavanja bušotina prikazan je na slici 4-9. Riječ je o sustavu lubrikatora, alatki kojima je primarni zadatak da omoguće smještaj opreme koja će biti spuštena u bušotinu, te na isti način omoguće njezin smještaj pri izvlačenju iz bušotine. Lubrikatori također služe kao spremište masti koja podmazuje glavu za kontrolu tlaka, odnosno omogućuje zadovoljavajuće brtvljenje oko čelične žice koja kroz nju prolazi. Sustav lubrikatora prikazan na slici 4.8. sastoji se od tri pojedinačne sekcije (Varne et al., 2017):

- donji sklop lubrikatora;
- cijevi lubrikatora;
- gornji sklop lubrikatora.




**Slika 4-9.** Sustav lubrikatora (Varne et al., 2017)

Svaka od spomenutih sekcija, odnosno dijelova lubrikatorskog sklopa, obavlja specijalizirane zadatke koji omogućuju funkcioniranje sklopa u cjelini te u konačnici i obavljanje radova održavanja primjenom ovog postupka. Donji sklop lubrikatora omogućuje spajanje s sklopom opreme za kontrolu tlaka u bušotini, te u svom sastavu sadrži sigurnosnu spojnicu kao i podvodne kontrolne module. Cijev lubrikatora, osim kao prostor za smještaj alata koji se koristi pri održavanju bušotina, služi i za smještaj spremnika masti te pumpi za njezinu distribuciju prema glavi za kontrolu tlaka (Varne et al., 2017). Također osim spremnika za mast, sekcija cijevi lubrikatora može sadržavati i spremnike za druge kemikalije od kojih se u najvećem broju slučajeva radi o monoetilen glikolu (MEG), kao sredstvu za sprječavanje nastanka hidrata (Mathiassen et al., 2008). Posljednja sekcija u sustavu lubrikatora prikazanom na slici je gornji sklop lubrikatora. Glavni zadatak ove sekcije je omogućavanje spoja s glavom za kontrolu tlaka koja se instalira iznad sustava lubrikatora. Također u sastavu ove sekcije nalazi se kuglasti ventil koji prilikom spuštanja niza alatki kroz podvodni sklop opreme za kontrolu tlaka u bušotini, odnosno u situacijama kada je sklop opreme za kontrolu tlaka u potpunosti otvoren, služi kao primarna barijera izljevu ugljikovodika u okoliš (Varne et al., 2017).

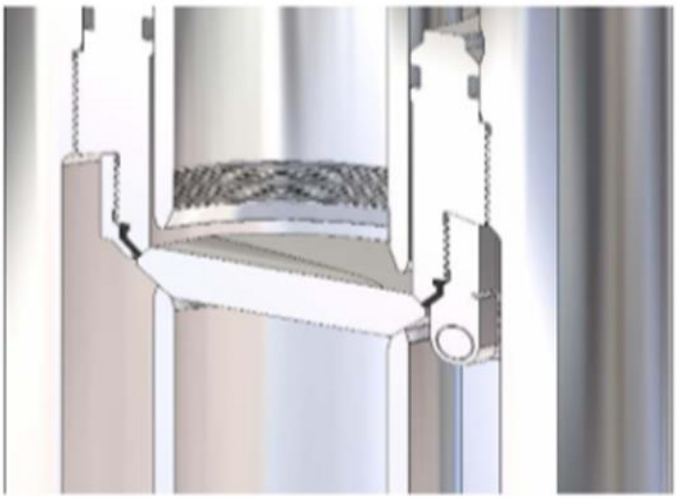
Kao i podvodni sklop opreme za kontrolu tlaka u bušotini i sustav lubrikatora konstantno se poboljšava i prilagođava zahtjevima koji su posljedica sve većih dubina mora u kojima se ovaj postupak održavanja bušotina primjenjuje. Jedan od većih problema vezan uz sustav lubrikatora bio je kontroliranje količine masti koja se troši za brtvljenje oko žice. Kako bi se izbjeglo trošenje prevelikih količina masti, razvijen je sustav električne kontrole utiskivanja masti koji radi na sljedećem principu. Praćenjem tlaka u komori glave za kontrolu tlaka, hidrostatskog tlaka morske vode na radnoj dubini te tlaka u kanalu bušotine, sustav utiskuje onoliku količinu masti u komoru glave za kontrolu tlaka koja zadržava tlak te komore višim u odnosu na druga dva spomenuta tlaka. Na taj način omogućeno je trošenje manjih količina masti, ali i kvalitetnije brtvljenje oko čelične žice (Mathiassen et al., 2008). Također sličan sustav primijenjen je i vezano za korištenje kemikalija, prvenstveno monoetilen glikola (inhibitora stvaranja hidrata). Osim inhibiranja stvaranja hidrata distribucijom MEG-a prema glavi za kontrolu tlaka, njegova svrha je i ispiranje cijevi lubrikatora. Prilikom upotrebe ove metode održavanja bušotina u većim dubinama mora lubrikator tijekom čitavog vremena obavljanja radova ostaje na morskom dnu. Iz tog razloga prilikom njegova otvaranja i zatvaranja zbog ulaska ili izlaska alata nužno je ispiranje njegove unutrašnjosti. Ispiranje se vrši uz pomoć MEG-a pa je količina

monoetilen glikola koja se nalazi u spremnicima oko cijevi lubrikatora direktno ovisna o očekivanom broju ispiranja njegove unutrašnjosti (Mathiassen et al., 2008).

Sljedeće poboljšanje funkcionalnosti lubrikatorskog sklopa vezano je uz produljenje njegove duljine. Duljina lubrikatora direktno utječe na duljinu sklopa alata kojeg je moguće smjestiti u njegovu unutrašnjost. Kako bi se omogućilo korištenje duljih sklopova alata razvijeni su sustavi koji produljuju prostor za smještaj alatki. Razmatrana su dva načina povećanja duljine lubrikatorskog prostora. Prvi način temeljio se na dodavanju dodatnih sekcija lubrikatora slažući ih prema gore, odnosno uslijed veće stabilnosti lubrikatorskog sklopa postignute posebnim dizajnom, sustav je bilo moguće produljiti prema površini. Ovim načinom omogućeno je produljenje lubrikatora od prvotnih 22 metra do konačnih 33 metra duljine. Daljnje povećanje duljine lubrikatora na ovaj način postaje problematično iz dva razloga. Prvi razlog je vrijeme potrebno za spajanje dodatnih sekcija odnosno povećanje neproduktivnog vremena uslijed potrebe za obavljanjem spajanja pomoću robotskih ronilica. Također i nakon završetka radova održavanja znatno je vrijeme potrebno utrošiti kako bi se dodatne sekcije razdvojile i izvukle na površinu. Nadalje, produljeni lubrikatorski sklop postaje izloženiji djelovanju morskih struja i ostalih utjecaja, što negativno utječe na njegovu stabilnost i krutost (Mathiassen et al., 2008).

Drugi način kojim se pokušalo produljiti prostor za smještaj niza alata temeljio se na produljenju prema dolje, odnosno na korištenju prostora ispod konvencionalnog lubrikatorskog sustava i sklopa opreme za kontrolu tlaka u bušotini. Kako bi se kanal bušotine mogao koristiti kao dodatni prostor za smještaj alatki potrebno je bilo razviti sustav koji bi istovremeno omogućavao zadovoljavajuću razinu kontrole tlaka uz mogućnost jednostavne ugradnje. En-Ter lubrikatorski sustav razvijen je upravo kako bi se zadovoljile sve ranije opisane potrebe. Sastoji se od čelične cijevi te ventila koji su dizajnirani kako bi mogli podnijeti velike razlike tlakova s donje, ali i gornje strane ventila što omogućuje izolaciju i dijela kanala bušotine koji se nalazi iznad ventila nakon ugradnje sustava (Munkerud et al., 2007). Mogućnost zadržavanja tlaka s gornje strane rezultat je djelovanja kombinacije vretena i klipova koji osiguravaju brtvljenje. Sve dok je sila koja djeluje na vreteno veća od sile koja djeluje na brtveći element ventil ostaje zatvoren. Kombinacijom većeg broja klipova moguće je postići omjer sila do 3:1. Sustav se ugrađuje u proizvodni tubing bušotine te je njime omogućeno produljenje prostora za smještaj niza alata do 44 metra, odnosno dvostruko produljenje. U sustavu se nalazi i rukavac koji omogućuje komunikaciju između unutrašnjosti lubrikatora i prstenastog prostora između

lubrikatora i tubinga, što omogućuje nesmetan protok iz kanala bušotine (Mathiassen et al., 2008). Slika 4-10. prikazuje ventil En-Ter lubrikatorskog sustava.



**Slika 4-10.** Ventil En-Ter lubrikatorskog sustava s dvostrukim djelovanjem (Munkerud et al., 2007)

Nakon spuštanja i smještaja lubrikatora, kao posljednji dio podvodne opreme koji se koristi kod izvođenja radova održavanja bez niza usponskih cijevi, ugrađuje se glava za kontrolu tlaka prikazana na slici 4-11. Kao što je ranije rečeno, glavna funkcija glave za kontrolu tlaka je omogućavanje brtvljenja oko čelične žice prilikom njezina kretanja ili dok je čelična žica u stanju mirovanja. Brtvljenje je potpomognuto ranije spomenutom masti koja se iz spremnika koji se nalaze u lubrikatorskom sklopu pumpama šalje do glave za kontrolu tlaka u bušotini. Također, prema glavi se osim masti na isti način šalje i monoetilen glikol kao sredstvo za zaštitu od nastanka hidrata zbog razlike u temperaturama unutar sklopa i temperatura morske vode te su za njegovo utiskivanje u unutrašnjost glave za kontrolu tlaka osigurane dvije linije. Osim navedenih funkcija unutar glave za kontrolu tlaka ugrađen je hvatač alata, to jest čelične žice koji, istovrsno svojoj funkciji u sklopovima korištenim pri operacijama na kopnu, sprječava padanje alata u kanal bušotine u slučaju nepredviđenih situacija. Nadalje, u slučaju proboja plina, kako bi se spriječilo njegovo širenje u okoliš izvan sklopa opreme, u sastavu glave za kontrolu tlaka bušotine nalaze se dva dodatna brtveća gumena elementa koja osiguravaju zadovoljavajuću razinu brtvljenja oko čelične žice u stanju mirovanja (Varne et al., 2017). Kao i kod ostalih dijelova podvodnog sustava opreme kod primjene postupka održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi kontinuirano se radi na razvoju i povećanju funkcionalnosti ovog dijela opreme. Glavni je izazov, slično kao i kod prethodno opisanih dijelova sustava savladati

prepreke koje nastaju kao posljedica sve većih dubina mora u kojima se ovaj sustav upotrebljava. U prvom redu to se odnosi na sprječavanje nastajanja hidrata zbog opadanja temperature vode s porastom dubine, to jest povećanja razlike temperatura.



**Slika 4-11.** Glava za kontrolu tlaka (Varne et al., 2017)

## 4.3. Mogućnosti i smjerovi razvoja opreme

Opisana oprema i smjer razvoja pojedinih dijelova sustava ukazuju na stalan trud stručnjaka za usavršavanjem ovog postupka održavanja bušotina. Osim zasebnog razvoja sklopova potrebno je razvijati sustav opreme u cjelini kako bi se prevladali izazovi koji se susreću sa sve većom primjenom održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi. Glavni izazovi, kao što je više puta spomenuto prilikom opisa opreme vezani su za savladavanje velikih dubina mora, odnosno pravilno funkcioniranje opreme na tim dubinama. Razvoj modularnih sustava kod kojih se svaki pojedini dio sklopa spušta neovisno o drugima znatno doprinosi jednostavnijoj primjeni opreme na većim dubinama. Također, jednostavniji dizajn s mogućnošću kontroliranja cijelog sustava električnim putem, pridonosi sigurnosti za okoliš. Potpuna zamjena hidrauličkih kontrolnih kabela električnima omogućuje zadovoljavanje visokih standarda sigurnosti uz povećanje funkcionalnosti same opreme. Novi sustavi kontrole opreme uključuju postojanje akustične veze između plovila i opreme na dnu mora. Uloga akustične veze je omogućiti komunikaciju sa sklopom opreme na dnu u slučaju prekida veze putem električnog kabela. Sustav ima autonomiju djelovanja od otprilike 2 sata prije potrebe za zatvaranjem bušotine kako bi se osigurala kontrola tlaka. Postojanjem ove karakteristike opreme eliminirana je potreba za trenutnim zatvaranjem bušotine i rezanjem čelične žice te posljedično potreba za operacijama instrumentacije alata iz kanala bušotine (Munkerud et al., 2007).

Kao što je spomenuto prilikom opisa kabela korištenih kod provođenja postupka održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi, operateri radova smješteni su u zajedničku kontrolnu sobu i djeluju uz stalnu suradnju. Osim komunikacije između operatera smještenih na plovilu s kojega se radovi izvode, omogućena je i komunikacija s inženjerima na nekoj drugoj lokaciji u svijetu. Stalni prijenos podataka s plovila do inženjera u uredu na kopnu omogućuje i njihovo sudjelovanje u operacijama koje se izvode. Podaci koji se prenose uključuju postojanje stalne videoveze u realnom vremenu kojom je omogućen prijenos videosignala s kamera smještenih na robotskim ronilicama ili na drugim lokacijama na samom plovilu. Također, prijenos podataka o stanju ventila i ostalih dijelova sustava za kontrolu tlaka u bušotini i parametara vezanih uz stanje čeličnog kabela omogućuje praćenje radova s bilo koje lokacije u svijetu (Fjærtoft et al., 2011).

Za svladavanje većih dubina mora nužno je u obzir uzeti i optimiziranje broja linija kabela koje se nalaze u moru. Prilikom obavljanja radova u plićim vodama broj linija kabela koje se koriste kreće se između 7 i 9 što povećava mogućnost međusobnog zapetljavanja linija, ali i utječe na potrebu za stalnim dinamičkim pozicioniranjem plovila kako bi se linije održale u optimalnom radnom položaju (Mathiassen et al., 2008). Otprilike polovina od broja linija korištenih pri radovima u plićim vodama služe kao vodilice pa njihova prisutnost postaje nepotrebna u područjima veće dubine mora. Nadalje razvojem materijala i korištenjem robotskih ronilica smanjenje broja potrebnih linija kabela postaje moguće. U optimalnom slučaju, prilikom izvođenja radova održavanja bušotina u većim dubinama mora ovom metodom, korištene bi bile ukupno 3 linije kabela (kabel za kontrolu opreme za kontrolu tlaka u bušotini, čelične žica te kabel za kontrolu robotskih ronilica). Manjim brojem prisutnih linija smanjuje se ranije spomenuta potreba za stalnim dinamičkim pozicioniranjem plovila, ali i potrebna oprema instalirana na sama plovila koja služi za manipulaciju kabelima različitih namjena. Također uslijed veće duljine kabela omogućen je veći manevarski prostor plovila, odnosno korištenje plovila s nešto manjim mogućnostima dinamičkog pozicioniranja. Time je moguće korištenje većeg broja plovila što za posljedicu ima veću konkurenciju i manju cijenu (Mathiassen et al., 2008). Osim navedenih smjerova razvoja opreme, prvenstveno okrenutim svladavanju većih dubina mora, postojanje zahtjeva poput mogućnosti pristupa prstenastom prostoru, ranije navedenih mogućnosti upotrebe sklopova alata većih duljina te razvoja novih snažnijih i lakših materijala diktira smjer razvoja opreme koja se koristi pri održavanju bušotina bez niza usponskih cijevi.

# 5. MOGUĆNOST PRIMJENE POSTUPKA ODRŽAVANJA BUŠOTINA BEZ NIZA USPONSKIH CIJEVI PRI RAZLIČITIM RADOVIMA ODRŽAVANJA BUŠOTINA U ODOBALNOM PODRUČJU

Ranije je u radu spomenuto da se postupak održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi može upotrijebiti pri različitim operacijama nužnim za održavanje zadovoljavajućeg stanja bušotina. Postupak je još uvijek u razvoju te se broj operacija koje se njegovom primjenom mogu provesti stalno povećava. Također stalni razvoj opreme korištene pri pojedinim operacijama omogućuje njihovo obavljanje u sve većem broju bušotina te konkurentnost u odnosu na dosadašnji način njihova obavljanja. U nastavku će biti opisane tri vrste radova održavanja bušotina koje je moguće obavljati bez primjene niza usponskih cijevi:

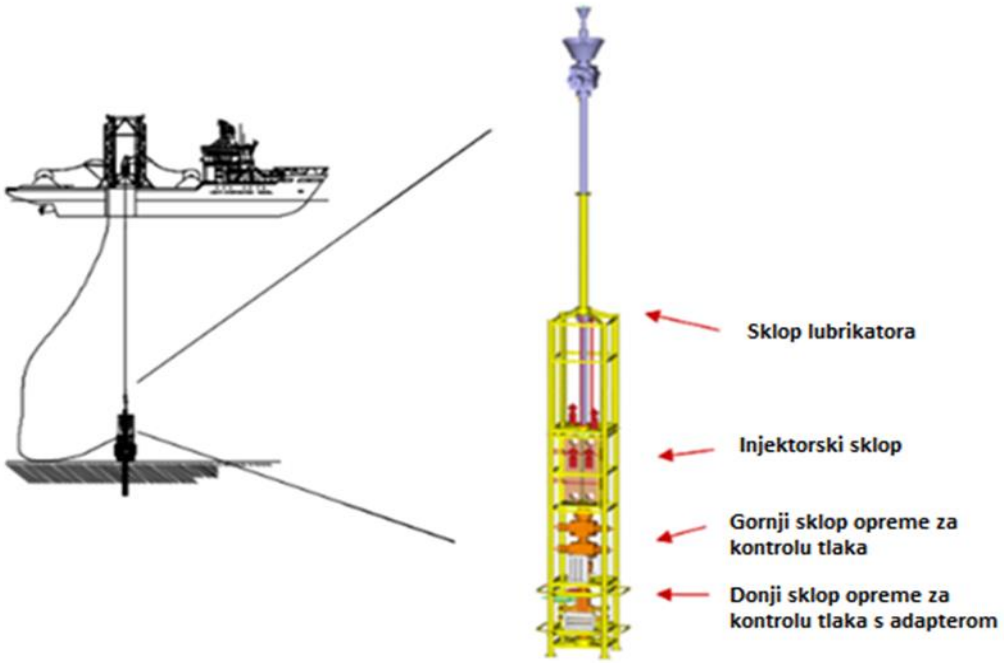
- obavljanje dijela operacija kod korištenja savitljivog tubinga;
- postavljanje čepova i napuštanje bušotina;
- uklanjanje kamenca.

Razvoj navedenih postupaka održavanja bušotina te povećanje učestalosti njihova korištenja omogućuju znatno smanjenje troškova i povećanje sigurnosti za ljude i okoliš.

## 5.1. Održavanje odobalnih bušotina korištenjem savitljivog tubinga

Održavanje bušotina bez niza usponskih cijevi omogućuje obavljanje velikog broja različitih radova pomoću čelične žice kao glavnog nosećeg dijela sustava. Unatoč prednostima njezina korištenja čelična žica nije pogodna za obavljanje svih radova održavanja bušotina te je nužno korištenje drugih remontnih postrojenja. Savitljivi tubing, kao što mu i sam naziv govori predstavlja čeličnu cijev malog promjera, koja u ovom slučaju preuzima zadatak čelične žice. Glavna prednost u odnosu na postrojenje za rad s opremom na žici ogleda se u mogućnostima boljeg kontroliranja niza savitljivog tubinga pri njegovom kretanju unutar kanala bušotine, te mogućnost cirkulacije fluida kroz njegovu unutrašnjost. Također, korištenje savitljivog tubinga omogućuje smanjenu razinu rizika od nastanka neželjenih situacija opasnih za okoliš i ljude, smanjuje troškove operacija i vrijeme izvođenja istih te omogućuje obavljanja radova održavanja bušotina za koje korištenje čelične žice nije pogodno (Håheim et al., 2003).

Slika 5-1. prikazuje opremu potrebnu za korištenje savitljivog tubinga pri održavanju odobalnih bušotina sa erupcijskim uređajem na morskom dnu. Sustav opreme sličan je sustavu opisanom ranije, vezanom uz korištenje čelične žice uz dodatak injektorskog sklopa.

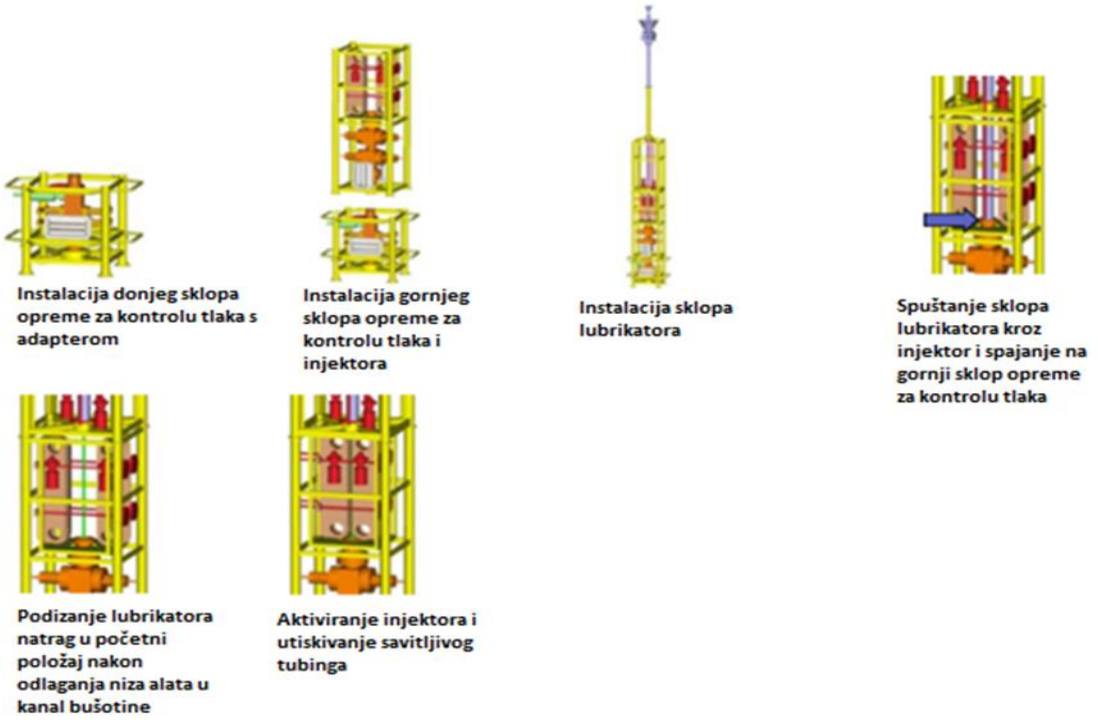



**Slika 5-1.** Prikaz sustava podvodne opreme pri korištenju savitljivog tubinga tijekom održavanja odobalnih bušotina s mokrim ušćem (Håheim et al., 2003)

Kako bi se u potpunosti mogle iskoristiti sve prednosti koje donosi korištenje savitljivog tubinga pri održavanju bušotina bez niza usponskih cijevi potrebno je optimirati pojedine dijelove opreme. Sklop lubrikatora, kao jedna od najvažnijih komponenti cijelog sustava, prilikom korištenja savitljivoga tubinga postavlja se iznad injektora, kako je i prikazano na slici 5-1. Postavljanjem sklopa lubrikatora u taj položaj smanjuje se moment savijanja koji djeluje na erupcijski uređaj bušotine, ali i postiže mogućnost jednostavnijeg spuštanja i podizanja niza alata unutar kanala bušotine (Håheim et al., 2003). Slika 5-2 prikazuje postupak instaliranja sustava podvodne opreme ušća bušotine na morsko dno te postupak spuštanja niza alata u bušotinu prilikom kojega se sklop lubrikatora, koji je kako je rečeno u početnom položaju postavljen iznad injektorskog sklopa, spušta kroz injektorski sklop te spaja na gornji sklop opreme za kontrolu tlaka. Nakon spajanja sa sklopom opreme za kontrolu tlaka moguće je spuštanje niza alata iz lubrikatorskog sklopa u kanal bušotine. Po završetku spuštanja niza alata, lubrikatorski sklop se podiže kroz

injektorski sklop natrag u svoj početni položaj. Injektorski sklop nakon povratka sklopa lubrikatora u početni položaj može započeti s radom, odnosno utiskivanjem savitljivog tubinga u kanal bušotine.

Ovakav dizajn sustava ne zahtjeva učestalo uklanjanje injektorskog sklopa zbog potrebe za izmjenama u nizu alata, čime je također znatno pojednostavljeno rukovanje opremom, ali i smanjeno i neproduktivno vrijeme kod izvođenja različitih operacija na održavanju bušotina (Håheim et al., 2003). U svojoj gornjoj sekciji lubrikatorski sklop sadrži fiksni striper, pomični striper te čeljusni preventer u slučaju potrebe za rezanjem savitljivog tubinga. Nakon spajanja lubrikatora na sklop opreme za kontrolu tlaka, obavlja se ispiranje lubrikatora te tlačno testiranje ventila na sklopu opreme za kontrolu tlaka te fiksnog stripera. Nakon toga slijedi otvaranje ventila na sklopu opreme za kontrolu tlaka ugrađenom s ciljem kontrole tlaka prilikom održavanja bušotine čime se omogućuje pristup bušotini te se pomični striper utiskuje u unutrašnjost lubrikatora sve dok se ne postavi i zaključa na za to predviđenoj poziciji na sklopu opreme za kontrolu tlaka. Tada pomični striper postaje glavni striper element za zadržavanje tlaka unutar bušotine te je moguće ponovno podizanje lubrikatora iznad injektorskog sklopa i početak njegovog rada (Håheim et al., 2003).




**Slika 5-2.** Postupak instalacije podvodne opreme na morsko dno i spuštanja niza alata u kanal bušotine (Håheim et al., 2003)

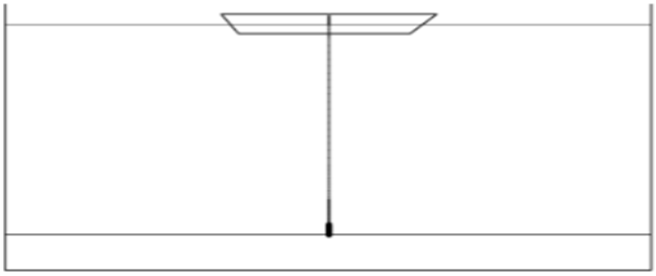
Osim optimiranja pojedinih dijelova opreme, prilikom korištenja savitljivog tubinga kod održavanja bušotine bez niza usponskih cijevi, važno je i održavanje stalnog natega radi lakšeg predviđanja ponašanja i opterećenja koja se u tubingu mogu javiti prilikom rada (Håheim et al., 2003).

Površinska oprema identična je standardnoj opremi korištenoj pri radu sa savitljivim tubingom te se sastoji od bubnja s namotanim tubingom, kontrolne kabine i jedinice za napajanje za pogon sustava. Osim nabrojene opreme koristi se i oprema potrebna za održavanje stalne napetosti tubinga, u koju spada površinski injektorski sklop te kompenzatori vertikalnog kretanja plovila, te toranj koji omogućuje rad s opremom na površini (Håheim et al., 2003). Složenija konfiguracija opreme, u odnosu na korištenje čelične žice, zahtjeva i složeniji sustav za kontrolu sklopova korištenih kod provođenja postupka. Dio opreme za kontrolu tlaka bušotine i erupcijski uređaj kontrolira na isti način kao i kod korištenja čelične žice, dok je kontrola opreme vezana uz savitljivi tubing nešto složenija. Kako bi se omogućila kontrola oba injektora te njihov sinkronizirani rad koristi se kombinacija hidrauličkih i električnih signala.

Kao motori za pokretanje injektorskog sklopa savitljivog tubinga mogu se koristiti elektromotori ili hidraulički motori, ovisno o situaciji. Glavna prednost korištenja elektromotora u odnosu na hidrauličke motore su manje dimenzije i manji zahtjevi za održavanjem uslijed manje složenosti, kao i izbjegavanje potrebe za hidrauličkim vodovima velikih dimenzija koji su neophodni prilikom korištenja hidrauličkih motora (Håheim et al., 2003).

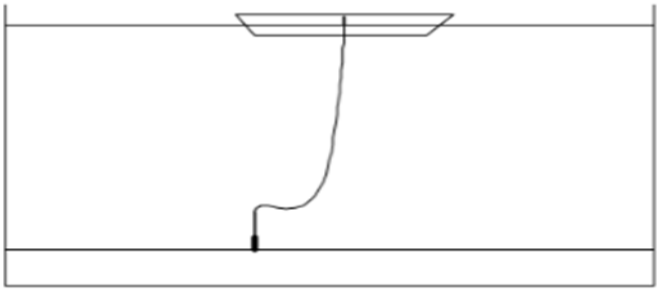
Važan aspekt koji je potrebno razmatrati prilikom korištenja savitljivog tubinga kod postupka održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi je njegovo ponašanje u otvorenom moru, odnosno između plovila i ulaza u kanal bušotine. Bez prisustva niza usponskih cijevi savitljivi tubing mora, osim opterećenja uzrokovanih teretom i fluidima unutar njega, biti sposoban izdržati i ona opterećenja koja nastaju uslijed djelovanja morskih struja, valova te pomaka plovila s kojeg je ovješen. Kako bi se negativan utjecaj svih navedenih opterećenja sveo na minimum prilikom korištenja savitljivog tubinga moguće su njegove dvije konfiguracije, odnosno dva različita položaja koji tubing može zauzeti u otvorenom moru (Håheim et al., 2003). Konfiguracija s nategom korištena je kod nizova usponskih cijevi s nategom na vrhu te je preuzeta za korištenje u slučaju savitljivog tubinga. Konfiguracija omogućuje savitljivom tubingu izdržavanje vanjskih opterećenja nastalih djelovanjem

mora prema principu napete opruge te se nateg savitljivog tubinga ostvaruje na njegovom vrhu, to jest na plovilu. Nateg koji se ostvaruje na vrhu savitljivog tubinga se cijelo vrijeme njegove upotrebe održava na dovoljno visokoj razini kako bi se nadvladala težina uronjenog savitljivog tubinga te na taj način spriječila njegova deformacija (Håheim et al., 2003). Savitljivi tubing korištenjem ove konfiguracije zadržava pravocrtan oblik te su moguće deformacije lokalizirane u područjima u kojima tubing ulazi u lubrikator i u plovilo. Zbog krutosti samog savitljivog tubinga pri ovakvoj konfiguraciji nužno je korištenje kompenzatora vertikalnog kretanja plovila. Slika 5-3 prikazuje položaj savitljivog tubinga prilikom korištenja konfiguracije s nategom.



**Slika 5-3.** Položaj plovila i savitljivog tubinga u odnosu na ušće bušotine kod konfiguracija savitljivog tubinga s nategom (Håheim et al., 2003)

Osim prethodno opisane konfiguracije moguće je korištenje i konfiguracije „strmog vala“. Pri korištenju ove konfiguracije, za razliku od one s nategom savitljivi tubing zauzima opušteni oblik u kojem je vidljivo područje značajnog savijanja. Glavna prednost korištenja ovakve konfiguracije leži u činjenici da nije ovisna o kompenzatorima vertikalnog kretanja te time eliminira mogućnost pojave problematičnih situacija vezanih uz njihove moguće kvarove. Savitljivi tubing zauzima karakterističan oblik prikazan na slici 5-4 pod utjecajem aktivnih opterećenja koja čine isključivo težina samog tubing i njegovog sadržaja. Opterećenja nastala uslijed djelovanja valova i morskih struja ne sudjeluju u formiranju oblika, ali i ne uzrokuju njegovu značajnu promjenu (Håheim et al., 2003). Korištenjem ovakve konfiguracije stvara se područje značajnih deformacija na dijelu u kojem savitljivi tubing ulazi u lubrikator. S obzirom na mehanička svojstva savitljivog tubinga potrebno je provesti detaljnu analizu kako bi se utvrdile odgovarajuće dimenzije savitljivog tubinga ovisno o očekivanom radijusu savijanja u ovom području kako bi se izbjegle moguće plastične deformacije i oštećenja savitljivog tubinga (Håheim et al., 2003).



**Slika 5-4.** Položaj plovila i savitljivog tubinga u odnosu na ušće bušotine kod konfiguracija „strmog vala“ (Håheim et al., 2003)

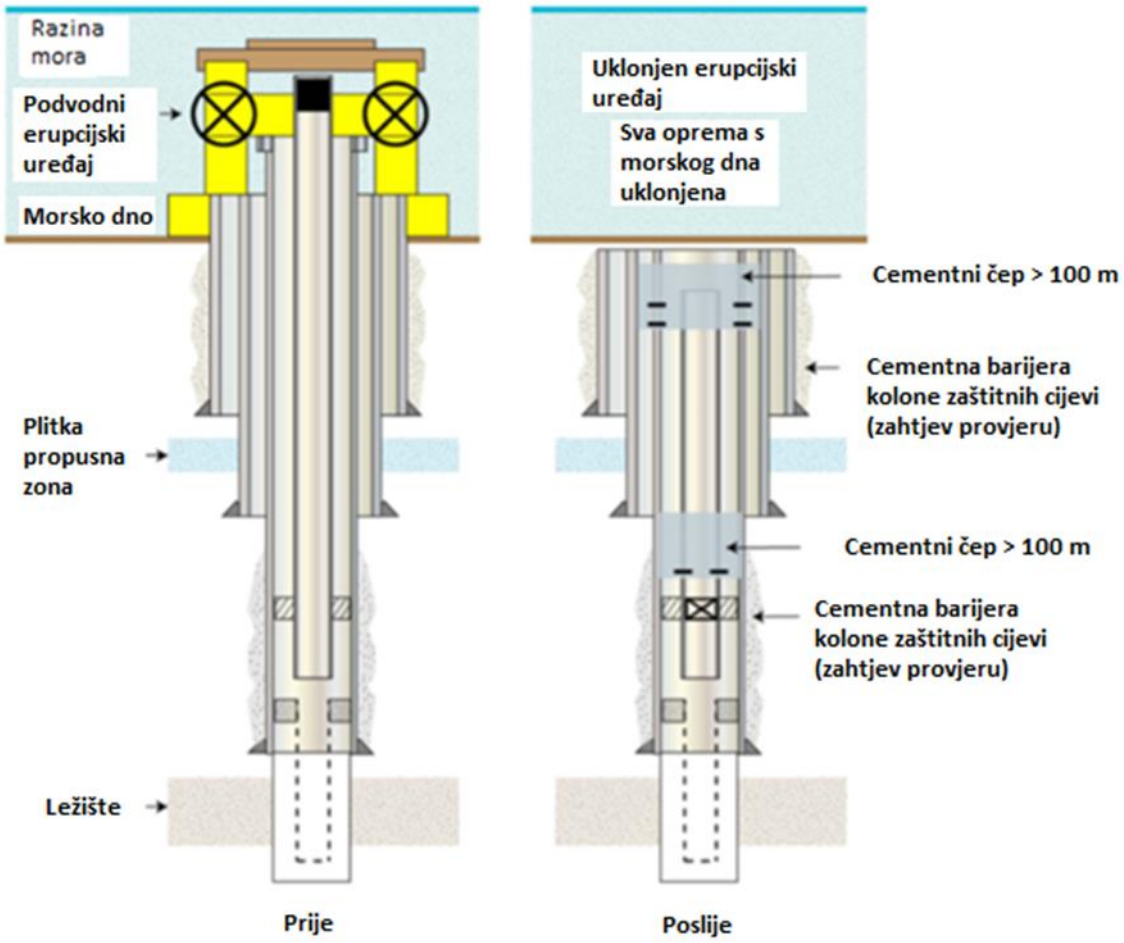
Kako bi određena plovila mogla sudjelovati u obavljanju poslova održavanja bušotina uz korištenje savitljivog tubinga moraju zadovoljavati određene kriterije. Važno je da su plovila dovoljnih dimenzija kako bi se omogućio smještaj sve opreme potrebne za korištenje savitljivog tubinga, odnosno da je paluba plovila dovoljno prostrana. Također, zbog ranije opisane krutosti savitljivog tubinga, posebice prilikom upotrebe konfiguracije s nategom, kompenzatori vertikalnog gibanja plovila su nezaobilazni dio opreme. U osnovne zahtjeve koje plovila moraju zadovoljiti kako bi mogla biti korištena kod ovog postupka održavanja bušotina spadaju i dovoljno veliki otvor u trupu plovila kroz koji se odvija spuštanje i podizanje opreme, napredni sustav dinamičkog pozicioniranja te postojanje dizalice dovoljno velike nosivosti (Håheim et al., 2003).

## 5.2. Postavljanja čepova i napuštanja bušotina bez primjene niza usponskih cijevi

Nakon što davanje iz pojedine bušotine postane ekonomski neisplative ili se iz nekog drugog razloga donese odluka o njihovu napuštanju potrebno je pristupiti radovima kojima će se izolirati kanal bušotine i spriječiti bilo kakvo istjecanje fluida. Prije postavljanja cementnih čepova u kanal bušotine potrebno je provesti niz operacija kojima se bušotina priprema za konačno napuštanje. Upravo se za izvođenje tih operacija koriste plovila opremljena za održavanje bušotina bez niza usponskih cijevi. Slika 5-5 prikazuje izgled ušća i kanala bušotine prije i nakon operacija postavljanja cementnih čepova i uklanjanja opreme.

Raščlanjivanjem operacije napuštanja bušotine moguća je podjela radova ovisno o tome koja ih vrsta plovila može izvoditi. Podjela se može izvesti na sljedeći način (Varne et al., 2017) :

- prva faza pripremnih radova za postavljanje čepova i napuštanje bušotina;
- obavljanje nadzora;
- druga faza pripremnih radova za postavljanje čepova i napuštanje bušotina;
- postavljanje čepova i napuštanja bušotina.




**Slika 5-5.** Izgled bušotine prije i postavljanja cementnih čepova i napuštanja bušotine (Varne et al., 2017)

U dio radova koji je moguće obavljati bez niza usponskih cijevi (te pripadajućih plovila) spadaju prva i druga faza pripremnih radova, dok se radovi nadzora i samog postavljanja čepova i napuštanja bušotina obavljaju korištenjem drugih vrsta plovila (brodova za nadzor i inspekcije te polu-uronjivih platformi). Prva faza pripremnih radova obuhvaća radove uklanjanja kape erupcijskog uređaja, čišćenje bušotinske glave, provjeru

mogućnosti pristupa kanalu bušotine, provođenje ispitivanja integriteta bušotine, zamjenu fluida unutar proizvodnog niza i prstenastog prostora fluidom za gušenje te postavljanje i testiranje dubokih i/ili plitkih čepova, kao i ponovno postavljanje ranije uklonjene kape erupcijskog uređaja (Varne et al., 2017). Nakon obavljanja radova prve pripremne faze plovilo za nadzor i inspekciju obavlja kontrolu te mjeri tlakove unutar prstenastog prostora i proizvodnog niza. Slijedi druga faza pripremnih radova koja obuhvaća ponovno uklanjanje kape erupcijskog uređaja, ponovno testiranje ranije postavljenih dubokih čepova, postavljanje i testiranje čepova u prstenastom prostoru, odvajanje ili rezanje protočnih linija opreme ušća bušotine te na kraju i izvlačenje erupcijskog uređaja same bušotine (Varne et al., 2017). Kada su prva i druga faza pripremnih radova završene na lokaciju dolazi polu-uronjiva platforma koja obavlja završne radove napuštanja bušotine.

U radu *„Plug and Abandonment Campaigns from a Riserless Light Well Intervention Vessel Provide Cost Savings for Subsea Well Abandonments“* opisana su dva primjera korištenja postupka održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi pri operacijama postavljanja čepova i napuštanja bušotina na poljima *Troll* i *Glitne*.

*Troll* je naftno-plinsko polje u Sjevernom moru blizu obala Norveške s dubinama mora između 300 i 355 metara. Postupak održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi korišten je pri postavljanju čepova i napuštanju pet bušotina spojenih na podvodno postrojenje za sabiranje i transport plina (Varne et al., 2017). Plovilo opremljeno za obavljanje održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi obavilo je pripremne radove koji su uključivali prethodno navedene radove uklanjanja kape erupcijskog uređaja, čišćenje bušotinske glave, provjeru mogućnosti pristupa kanalu bušotine, provođenje ispitivanja integriteta bušotine, zamjenu fluida unutar proizvodnog niza i prstenastog prostora fluidom za gušenje te postavljanje i testiranje dubokih i plitkih čepova. Nadalje obavljeno je rezanje protočnih vodova opreme ušća bušotine te izvlačenje vertikalnog erupcijskog uređaja uz ponovno instaliranje kape erupcijskog uređaja (Varne et al., 2017). Nakon obavljanja navedenih radova uslijedili su završni radovi napuštanja bušotine obavljeni korištenjem polu-uronjive platforme (instalacija preventera, izvlačenje tubinga, testiranje kvalitete izolacije, izvlačenje zaštitnih cijevi, postavljanje cementnih čepova te izvlačenje bušotinske glave i cijevi konduktora) (Varne et al., 2017).

Plovilo za održavanje bušotina bez niza usponskih cijevi obavilo je pripremne radove na ukupno pet bušotina za 70 dana (predviđeno vrijeme bilo je 80 dana). Prema

rezultatima i pretpostavkama da je obavljanje ovih radova bez niza usponskih cijevi oko 60 % jeftinije u odnosu na konvencionalno, te da se troši oko 20% vremena manje, izračunato je da je u ovom slučaju ušteda iznosila između 31,5 i 42 milijuna američkih dolara (Varne et al., 2017).

Naftno polje *Glitne* nalazi se u središnjem dijelu norveškog dijela Sjevernog mora. Dubina mora na području polja je prosječno 110 metara te je ono razrađeno sa šest horizontalnih bušotina te jednom utisnom bušotinom za vodu. Radovi koji su obavljani bez niza usponskih cijevi uključivali su kao i u prethodno opisanom primjeru dvije faze. Prva faza radova obuhvaćala je uklanjanja kape erupcijskog uređaja, čišćenje bušotinske glave, provjeru mogućnosti pristupa kanalu bušotine, provođenje ispitivanja integriteta bušotine, zamjenu fluida unutar proizvodnog niza i prstenastog prostora fluidom za gušenje te postavljanje i testiranje dubokih i plitkih čepova. U drugoj fazi pripremnih radova izvršeno je ponovno testiranje dubokih čepova, postavljanje i testiranje cementnog čepa u prstenastom prostoru, i kao posljednje, rezanje protočnih vodova i demontažu i izvlačenje erupcijskog uređaja (Varne et al., 2017). Korištenjem polu-uronjive platforme obavljeni su, kao i u prethodnom primjeru, završni radovi napuštanja bušotine (Varne et al., 2017).

Rezultati obavljanja pripremnih radova korištenjem ovog postupka bili su sljedeći. Prva faza radova obavljena je u roku od 40 dana na sedam bušotina, dok je za obavljanje druge faze radova na istom broju bušotina bilo potrebno 18 dana. Ukupni utrošak vremena za obavljanje pripremnih radova bio je 58 dana, što predstavlja znatnu vremensku uštedu u odnosu na planiranih 142 dana. Uz uštedu vremena, kao važniji podatak vezana je i znatno niža količina utrošenih financijskih sredstava koja je iznosila između 27 i 36 milijuna američkih dolara (Varne et al., 2017).

Prvi opisani slučaj korištenja ovog postupka pri radovima postavljanja cementnih čepova i napuštanja bušotina s polja *Troll* je iz 2011. godine, dok je drugi s polja *Glitne* iz 2013., odnosno 2015. Valja istaknuti značajno poboljšanje i povećanje efikasnosti koje je vidljivo iz usporedbe dvaju opisanih slučajeva. Poboljšanja su najvidljivija promatrajući prosječno vrijeme radova po bušotini, koje je 2011. iznosilo 14 dana, dok je u primjeru iz 2013./15. smanjeno na 8,3 dana (Varne et al., 2017).

Tri su ključna čimbenika omogućila manji utrošak vremena (Varne et al., 2017):

- manipulacija glavom za kontrolu tlaka obavljana je alatom za rukovanje bez vodilica čime je ostvarena ušteda vremena od približno dva sata po spuštanju/podizanju ovog dijela opreme;
- vrijeme testiranja sklopa opreme za kontrolu tlaka bušotine je skraćeno za 10 do 36 sati po bušotini;
- korištena je metoda prenošenja sklopova alata u cjelini, kojom se omogućuje prijenos alata između bušotina (do maksimalno 70 metara udaljenosti) bez da se sklop podiže na plovilo, na način da se sklop podiže 4 metra iznad erupcijskog uređaja te ga se koristeći sustav dinamičkog pozicioniranja plovila prenosi do sljedeće bušotine, pri čemu su ostvarene uštede između 6 i 12 sati po bušotini.

## 5.3. Uklanjanje kamenca primjenom postupka održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi

Postupak održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi može se, kako je ranije navedeno, koristiti za širok raspon radova održavanja bušotina. Jedan od primjera je i obavljanje radova uklanjanja kamenca koji se nakuplja na unutrašnjoj stjenci proizvodnog niza i na taj način smanjuje efektivni promjer istog. Nakupljanje kamenca za posljedicu ima povećanje otpora protjecanju fluidu koji se pridobiva, odnosno smanjenje pridobivenih količina te samim time direktno utječe na ekonomske pokazatelje vezane za pojedinu bušotinu. Kako bi se nakupljeni kamenac uklonio potrebno ga je sastrugati koristeći posebno dizajnirana dlijeta za tu svrhu. Osim dlijeta za obavljanje ove vrste radova koriste se i alat za prikupljanje krhotina te dubinski motori koji omogućavaju pokretanje dlijeta za uklanjanje kamenca i kretanje cijelog sklopa opreme duž potrebnog dijela kanala bušotine. U nastavku će biti opisana dva primjera u kojima je primjena postupka održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi omogućila veće davanje bušotina uz smanjenje troškove radova održavanja.

Prvi primjer primjene postupka održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi za potrebe uklanjanja kamenca opisan je u radu „*Riser Less Well Intervention for Subsea Work Over*“. Bušotina opisana u radu nalazi se na norveškom dijelu Sjevernog mora te je odluka o izvođenju postupka održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi u svrhu uklanjanja izdvojenog kamenca donesena nakon što je utvrđeno postojanje suženja unutar

proizvodnog niza bušotine prilikom pokušaja spuštanja opreme kroz njega. Nakupljanje kamenca, točnije kalcijeva karbonata, već je ranije zabilježeno u bušotini te su također izvođeni radovi njegova uklanjanja pomoću savitljivog tubinga i inhibitora nakupljanja kamenca (Skeie et al., 2011). Kako bi se smanjili troškovi radova uklanjanja kamenca ovaj je put donesena odluka o primjeni postupka bez niza usponskih cijevi, točnije opreme za uklanjanje kamenca kontrolirane električnim kontrolnim vodovima. Otklon bušotine od vertikale, kao i uvjeti visoke temperature i tlaka predstavljali su moguće prepreke te su morali biti uzeti u obzir prilikom planiranja izvođenja radova. Nakon dolaska na lokaciju sklop alata uspješno je spušten i spojen s opremom ušća bušotine. Sklop se sastojao od električno kontroliranog bušotinskog traktora te alata za uklanjanje kamenca opremljenog posebno dizajniranim dlijetom. Alat za uklanjanje kamenca predstavlja električno-hidraulički uređaj kojem je zadatak rotacija dlijeta uz visok okretni moment te mogućnost kontrole njegovog rada s površine (Skeie et al., 2011). Zbog većih količina kamenca koje je bilo potrebno ukloniti, dizajn dlijeta postao je ključan za uspješno obavljanje posla. Korištena su posebno dizajnirana dlijeta sa šest pravilno raspoređenih reznih elemenata impregniranima volframovim karbidom. Dizajn dlijeta omogućavao je jednoliko uklanjanje kamenca ali i istovremeno uklanjanje krhotina kako bi rezna površina ostala čista. Slika 5-6. prikazuje usporedbu standardnih dlijeta za uklanjanje kamenca i posebno dizajniranih, koja su opisana ranije.



**Slika 5-6.** Dlijeta za uklanjanje kamenca, standardna (lijevo) i posebno dizajnirana (desno) (Skeie et al., 2011)

Kamenac je nakon spuštanja opreme na potrebnu dubinu uklanjan naizmjeničnim djelovanjem dlijeta nakon kojeg bi niz alata bio izvučen i uslijedilo bi ispiranje kanala bušotine dok kamenac nije u potpunosti uklonjen. Samo uklanjanje kamenca trajalo je otprilike tri sata, dok je vrijeme utrošeno na cjelokupnu operaciju iznosilo manje od 48 sati (Skeie et al., 2011).

Drugi primjer u kojem je ovaj postupak bio korišten za uklanjanje kamenca opisan je u radu *„Electric Line Riserless Light Well Intervention (RLWI) Methods Key to Increasing Recovery from Subsea Wells“.* U ovom primjeru uklanjanje kamenca bilo je potrebno kako bi se omogućio pristup kanalu bušotine u svrhu izrade novih perforacija, a koji je bio otežan uslijed nakupljanja naslaga kamenca. Zbog osjetljivosti ležišta bilo je nemoguće ispiranje naslaga kamenca utiskivanjem fluida te je odabran postupak uklanjanja izdvojenog kamenca bez primjene niza usponskih cijevi koristeći električne kontrolne vodove (Karlsen et al.,2014). Uklanjanje kamenca omogućeno je korištenjem dlijeta dizajniranih za tu namjenu u kombinaciji s bušotinskim traktorom čime je osigurana preciznost u izvođenju radova. Nakon uklanjanja naslaga kamenca stvorene krhotine (prikazane na slici 5-7.) su alatom za čišćenje iznesene na površinu i poslane na daljnju analizu kako bi im se utvrdio sastav. Radovi su obavljeni u cijelosti u roku od šest dana te je po završetku ovim radova uklanjanjem suženja u kanalu bušotine omogućena izrada novih perforacija i povećanje davanja bušotine za otprilike 150% (Karlsen et al.,2014).



**Slika 5-7.** Krhotine kamenca nakon njegova uklanjanja iz proizvodnog niza (Karlsen et al.,2014)

# 6. PRIHVAĆENOST POSTUPKA ODRŽAVANJA BUŠOTINA BEZ NIZA USPONSKIH CIJEVI U PRAKSI

Kao što je spomenuto, postupak održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi razvijen je u cilju smanjenja troškova održavanja bušotina s ušćem na morskom dnu. Također, jedan od ciljeva bio je i razvoj postupka kojim bi se omogućila veća učestalost obavljanja radova održavanja ove skupine bušotina, posljedično povećavajući ukupnu pridobivenu količinu ugljikovodika iz njih. Unatoč tome što je korištenje ovog postupka započeto prije više od 30 godina, još uvijek postoje brojne predrasude prema njegovom korištenju u većem opsegu (Morrison et al.,2013). Ranije u radu opisane su neke od njegovih primjena pri čemu su ostvareni znatni napretci u vremenskom i financijskom smislu u odnosu na konvencionalni način obavljanja istih poslova održavanja bušotina. Također razvojem novih tehnologija, ali i povećanjem pouzdanosti opreme održavanje bušotina bez niza usponskih cijevi postaje primjenjivo u području većih dubina mora. Unatoč svemu navedenom još uvijek postoje određene sumnje u mogućnosti koje ovaj postupak pruža. Tablica 6-1 prikazuje neke od glavnih predrasuda prema korištenju postupka održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi te objašnjenja istih.

**Tablica 6-1.** Prikaz glavnih predrasuda prema korištenju postupka održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi (Morrison et al.,2013)

| Predrasuda | Stvarnost |
|---|---|
| Postupak održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi može se koristit samo za radove perforiranja i izvođenje karotažnih mjerenja | Višegodišnjim razvojem postupka održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi omogućuje obavljanje i složenih radova poput uklanjanja kamenca, uklanjanja zapreka unutar kanala bušotine i ostalih mehaničkih radova korištenjem električnog kontrolnog voda |
| Nije moguće obavljati radove instrumentacije ukoliko se za njima ukaže potreba prilikom provođenja postupka održavanja bušotine bez primjene niza usponskih cijevi. | Sklop alata korišten kod održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi sastavljen je od pojedinačnih dijelova koji su odvojivi te ih je u slučaju potrebe moguće instrumentirati. |

| Predrasuda | Stvarnost |
|---|---|
| Radovi na održavanju bušotina bez niza usponskih cijevi ne mogu se obavljati tijekom cijele godine. | Radovi na održavanju bušotina bez niza usponskih cijevi obavljaju se tokom cijele godine na području Sjevernog mora i Meksičkog zaljeva. Unatoč ovisnosti o vremenskim prilikama, plovila korištena kod ovog postupka u odnosu na konvencionalna u prednosti su zbog većih manevarskih sposobnosti. |
| Utjecaj morskih struja na vodove nezaštićene usponskim cijevima čini postupak održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi neprimjenjivim u većim dubinama mora. | Zabilježeno je da je utjecaj morskih struja najznačajniji u gornjem sloju mora, odnosno do dubina od 150 do 230 metara, pa se pravilnim planiranjem i simulacijama ponašanja vodova rizik od oštećenja vodova može svesti na minimum. |
| Potrebno je imati konvencionalno postrojenje za održavanje bušotina u pripremi jer je u većini slučajeva postupak održavanja bez niza usponskih cijevi neučinkovit. | Preko 1000 operacija obavljeno je primjenom ovog postupka te je u samo jednom slučaju bila potrebna intervencija konvencionalnog postrojenja za održavanje bušotina zbog nemogućnosti obavljanja radova. |
| Postupak održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi može se koristiti samo u manjim dubinama mora. | Ograničenje dubina u kojima je moguće korištenje ovog postupka održavanja bušotina nije posljedica ograničenja samog postupka, odnosno opreme koja se koristi, već ograničenja povezanih s duljinom kontrolnih vodova korištenih pri izvođenju istoga. Pažljivim rukovanjem postupak se može koristiti i u području većih dubina mora. |

Unatoč svemu postupak održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi postaje sve više prihvaćen unutar naftno-plinske industrije zahvaljujući brojnim prednostima.

# 7. PRIMJERI KORIŠTENJA METODE ODRŽAVANJA BUŠOTINA BEZ NIZA USPONSKIH CIJEVI

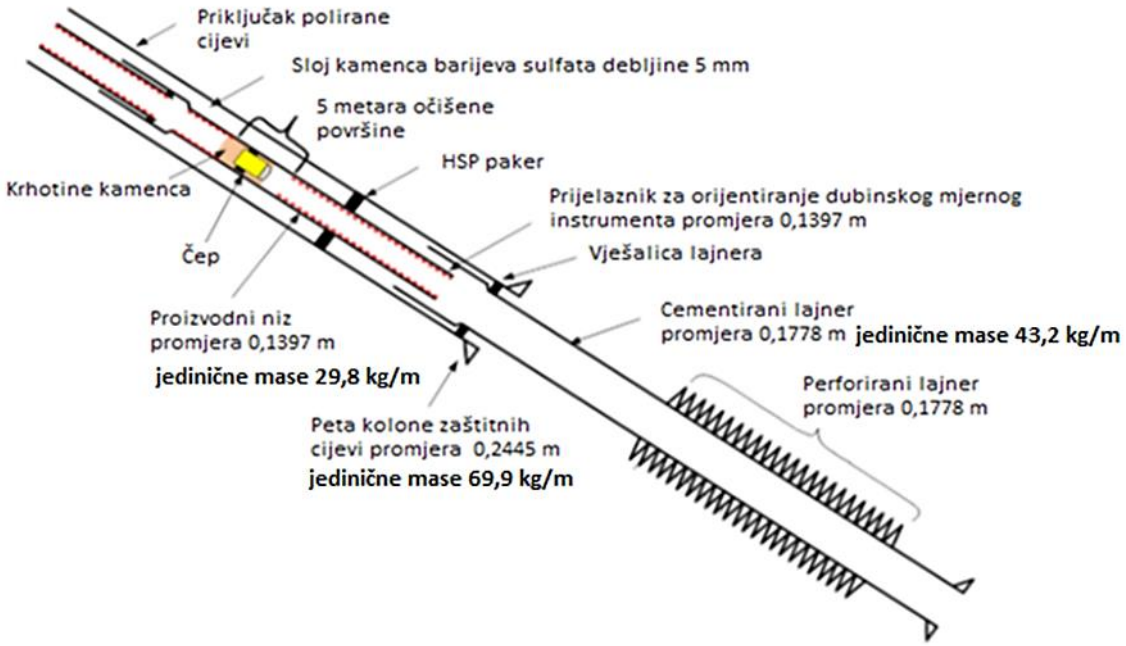
Već ranije spomenuto, sve učestalije korištenje ove metode održavanja bušotina diljem svijeta za posljedicu ima brojne primjere u kojima se njezina primjena pokazala uspješnom. U nastavku će biti opisani neki od primjera korištenja metode održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi u različitim uvjetima te u svrhu obavljanja različitih poslova.

## 7.1. Primjena postupka održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi za čišćenje kanala bušotine i uklanjanje mehaničkog mosta iz bušotine na Sjevernom moru

Bušotina na kojoj je primijenjen ovaj postupak održavanja smještena je na naftnom polju koje se nalazi unutar *Tampen* područja u Sjevernom moru. Dubina mora na području na kojem se nalazi ovo naftno polje iznosi prosječno 310 metara, dok je samo polje razrađeno s ukupno 29 bušotina spojenih na platformu s nategom u nogama. Bušotine su opremljene perforiranim lajnerima promjera 0,1778 metara i kombiniranim nizom povezanih lajnera promjera 0,139 m, 0,1778 m i 0,139 metara. Pridobivanje nafte na polju odvija se eruptivnim režimom uz primjenu utiskivanja vode kao metode za podržavanje ležišnog tlaka. Jedan dio od ukupnog broja bušotina opremljen je vertikalnim erupcijskim uređajem te su potrebni stalni radovi održavanja uslijed kvarova na erupcijskom uređaju. U razdoblju između 2006. i 2012. godine postupak održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi primjenjen je ukupno 17 puta na području ovog naftnog polja (Delot et al.,2012).

Zbog problema s održavanjem integriteta bušotine, odnosno pojave nekontroliranog propuštanja u jednom dijelu erupcijskog uređaja jedna od bušotina morala je biti zatvorena 2008. godine. Radovi na njenom zatvaranju i demontaži i ponovnoj montaži erupcijskog uređaja obavljani su bez primjene niza usponskih cijevi. Kako bi se kanal bušotine osigurao te se moglo pristupiti popravku erupcijskog uređaja bilo je potrebno ugraditi mehanički čep, koji djeluje kao primarna barijera unutar proizvodnog niza zaštitnih cijevi, te također ugraditi čepove u područje vješalica ugrađenog perforiranog lajnera na dnu proizvodnog niza zaštitnih cijevi kako bi se u kanal bušotine u potpunosti izolirao (Delot et al.,2012). Također, prije ugradnje čepova obavljenom bušotinskom karotažom uočene su naslage kamenca barijeva sulfata (jednog od najtvrđih i najotpornijih kamenaca) na

unutarnjim stjenkama proizvodnog niza, koje je bilo potrebno ukloniti. Kako bi se omogućila ugradnja čepa naslage kamenca uklonjene su u duljini od pet metara te je čep uspješno postavljen. Nakon postavljanja čepa ustanovljeno je da svaka manipulacija alatom na žici unutar bušotine uzrokuje struganje preostalih naslaga kamenca iznad postavljenog čepa, te se krhotine kamenca talože povrh mehaničkog čepa što ograničava i otežava njegovo naknadno uklanjanje. Prikaz izgleda kanala bušotine s ugrađenim čepom unutar proizvodnog niza nalazi se na slici 7-1 gdje su crvenom isprekidanom linijom prikazana područja na kojima je istaložen kamenac.



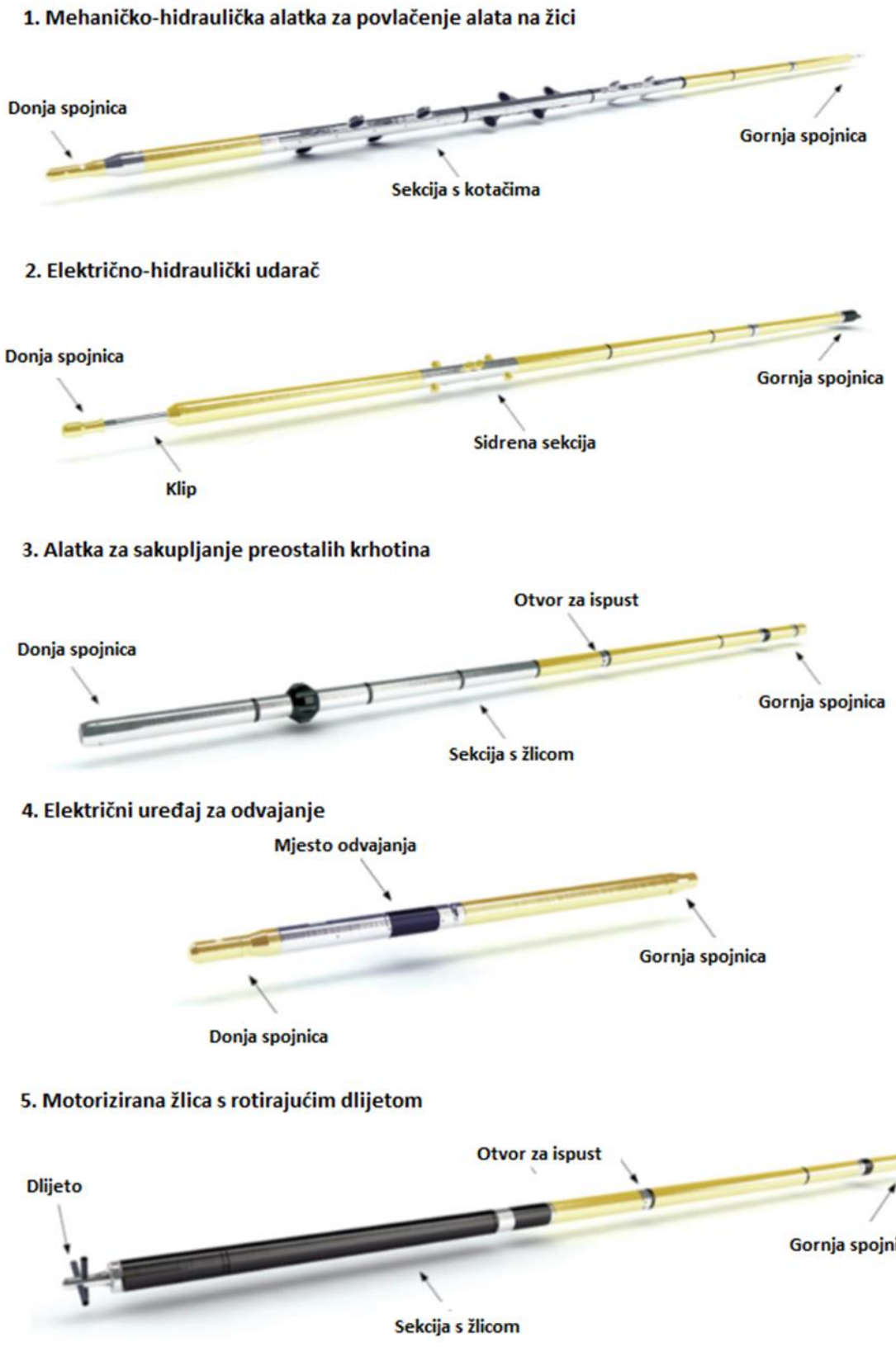

**Slika 7-1.** Konstrukcija kanala bušotine i položaj ugrađenog mehaničkog čepa (Delot et al.,2012)

Nakon popravka erupcijskog uređaja bušotine i njegovog ponovnog postavljanja bilo je potrebno ukloniti postavljene čepove kako bi se kroz bušotinu moglo ponovno početi pridobivati ugljikovodike. Pri prvom pokušaju uklanjanja čepa unutar proizvodnog niza alatka za izvlačenje zaustavila se tri metra iznad dubine na kojoj je čep bio postavljen zbog naslaga krhotina kamenca nataloženih iznad mehaničkog čepa. Nataložene krhotine kamenca nastojalo se ukloniti pomoću žlice ali nakon 21 pokušaja ovaj postupak pokazao se neuspješnim, dapače stanje se pogoršalo jer je svaki pokušaj stvarao još više taloga krhotina iznad čepa. Nakon 100 dana neuspješnih radova debljina taloga krhotina kamenca povećala se na sedam metara te je donesena odluka o obustavljanju svih radova dok se ne pronađe odgovarajuća metoda za njihovo uklanjanje (Delot et al., 2012). Zbog

nedostupnosti konvencionalnih postrojenja za održavanje bušotina savitljivim tubingom, donesena je odluka da će radovi biti izvođeni korištenjem metode održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi te posebno dizajniranog sklopa alata.

Sklop alata koji je odabran za korištenje sastojao se od mehaničko-hidrauličke alatke za povlačenje alata na žici, motorizirane žlice s rotirajućim dlijetom (za čišćenje nataloženih krhotina kamenca), te alata za izvlačenje mehaničkog čepa s mlaznicama za pokretanje preostalih krhotina. Važna karakteristika opisanog sklopa alata bila je mogućnost odvajanja pojedinih dijelova sklopa u slučaju zaglave ili gubitka alata u kanalu bušotine preko dva dodatna električna uređaja za odvajanje, kako bi se u slučaju takve nepoželjne situacije izbjegla potreba za mobilizacijom konvencionalnih postrojenja (Delot et al.,2012). Također, dio sklopa bio je i električno-hidraulički udarač čija je svrha bila izvlačenje mehaničkog čepa.

Radovi su koristeći spomenuti postupak održavanja bez niza usponskih cijevi i opisani sklop alata izvođeni u tri koraka. Prvi je korak ove operacije bio uklanjanje sedam metara nataloženih krhotina iznad mehaničkog čepa koje je moralo biti izvedeno na način da se u svakom spuštanju alata ukloni što veća količina krhotina zbog stalnog taloženja novih krhotina prilikom manipulacije alatom. Također je bilo bitno izbjeći zaglave alata unutar kanala bušotine. Prvi korak ove operacije trajao je do dosezanja vrha cementnog čepa te je u tom vremenu u šest manipulacija alatom na površinu izneseno 53 litre krhotina (Delot et al.,2012). Drugi korak bio je čišćenje prijelaza za spajanje alatki za izvlačenje na mehaničkom čepu te priprema za izvlačenje. U tu svrhu korišteno je dlijeto uz primjenu obrnute cirkulacije te motorizirana žlica (alatka za sakupljanje krhotina) kako bi se područje na koje će se spojiti alatke za izvlačenje očistilo od nakupljenih krhotina kamenca. U drugom koraku operacije koji je obuhvaćao dva spuštanja alata na površinu je izneseno ukupno 15 litara krhotina te je prijelaz u potpunosti očišćen. Treći korak obuhvaćao je iznošenje većih, preostalih krhotina kamenca te izvlačenje samog čepa. Bilo je ključno obaviti uklanjanje krhotina, zahvatiti čep i ukloniti ga bez izvlačenja sklopa na površinu, što se postiglo kombinacijom alata za čišćenje i alata za izvlačenje iz drugog pokušaja. Ukupno vrijeme trajanja radova iznosilo je 24 dana tijekom kojih nisu zabilježeni nikakvi problemi prilikom korištenja postupka održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi (Delot et al.,2012). Slika 7-2. prikazuje opremu koja je korištena pri cjelokupnoj opisanoj operaciji.




**Slika 7-2.** Pojedini dijelovi sklopa alata za čišćenje kanala bušotine i izvlačenje mehaničkog čepa (Delot et al.,2012)

## 7.2. Primjena postupka održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi u teškim uvjetima na području *„West of Shetland“*

Okolišni uvjeti koji vladaju na području *„West of Shetland“* mogu se okarakterizirati kao jedni od najtežih u industriji nafte i plina. Područje se nalazi između Ujedinjenog Kraljevstva i Farskih otoka gdje snažne i nepredvidljive morske struje, vjetrovi i valovi ovaj okoliš čine izrazito teškim za obavljanje bilo kakvih odobalnih aktivnosti vezanih za pridobivanje ugljikovodika. Postupak održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi, kako je i spomenuto razvijen je i najviše se koristi na području Sjevernog mora, te ga je trebalo prilagoditi izvođenju u ovakvim ekstremnim okolišima. Glavna razlika u odnosu na korištenje u Sjevernom moru bile su morske struje, odnosno njihova izmjena s promjenom dubine mora te djelomična neovisnost o vremenskim uvjetima. Također velike brzine morskih struja do 2 m/s predstavljale su još jednu moguću prepreku koju je bilo potrebno savladati kako bi ovaj postupak održavanja mogao biti primjenjiv na ovom području (Løver et al., 2015).

Oprema korištena na ovom području za izvođenje postupka održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi sastojala se od sustava za manipulaciju alatom na žici s lubrikatorom. Sustav je bio dizajniran da izdrži tlakove do 690 bara te je imao promjer alatki od 0,1794 metara (Løver et al.,2015). Nadalje sklop opreme bio je prilagođen pristupu horizontalnim i vertikalnim erupcijskim uređajima te korištenju na eksploatacijskim i utisnim bušotinama.

Obavljanje remontnih radova na razmatranom području bez niza usponskih cijevi započelo je u travnju 2010. na polju *Loyal* smještenom otprilike 175 kilometara zapadno od otočja Shetland. Dubina mora na području ovog polja iznosi 466 m. Neposredno nakon početka radova došlo je do prvih problema uslijed negativnog djelovanja ranije spomenutih jakih i nepredvidivih morskih struja koje je dovelo do problema pri upravljanju robotskim ronilicama te zapetljavanja kontrolnih vodova korištene opreme. Problem je nastao ponajviše zbog velikih brzina morskih struja koje su uzrokovale pomak robotskih ronilica od željene lokacije (150 metara od planiranog položaja) te također rezultirale velikim kutom otklona kontrolnih vodova (Løver et al.,2015). Uslijed velikog kuta otklona kontrolnih vodova došlo je do njihovog kontakta s kobilicom broda. Kontakt kontrolnih vodova i broda doveo je do nastanka oštećenja na površini kontrolnih vodova zbog gibanja

broda i trenja između kobilice i vodova. Slika 7-3. prikazuje oštećenja voda za prijenos kemikalija nastala kao posljedica trošenja materijala zbog kontakta s brodom.




**Slika 7-3.** Oštećenje voda za prijenos kemikalija nastalo trošenjem materijala pri kontaktu voda s brodom(Løver et al., 2015)

Stalno trošenje materijala voda za prijenos kemikalija dovelo je do većeg oštećenja, odnosno do pucanja vlakana za prijenos opterećenja (prikazano na slici 7-4) te izduživanja unutarnje cijevi unutar voda. Izduživanje unutarnje cijevi uzrokovalo je poremećaj u sklopu za kontrolu kretanja vodova te je dovelo do oštećenja kontrolnog voda odnosno njegovog uvijanja prikazano na slici 7-5, pa su radovi morali biti prekinuti dok se ne pronađe rješenje za ovaj problem (Løver et al., 2015).



**Slika 7-4.** Prikaz ispucanih vlakana za prijenos opterećenja na vodu za prijenos kemikalija (Løver et al., 2015)



**Slika 7-5.** Uvijanje kontrolnog voda u sklopu za kontrolu vodova (Løver et al., 2015)

Kako bi se riješio problem velike vučne sile koja je djelovala na vodove kao posljedica djelovanja morskih struja bilo je potrebno razumjeti koji faktori utječu na otklon vodova. Mjerenjima i analizom rezultata mjerenja ustanovljeno je da je glavni parametar koji je moguće mijenjati, a koji ima utjecaj na iznos vučne sile koju morske struje ostvaruju bio vanjski promjer vodova (Løver et al., 2015). Iz tog zaključka bilo je jasno da je, kako bi se uklonili problemi opisani pri izvođenju radova, potrebno smanjiti vanjski promjer voda za prijenos kemikalija. Smanjenje vanjskog promjera voda nije smjelo značiti smanjenje unutarnjeg promjera, odnosno efektivnog promjera za protjecanje kemikalija te je također bilo potrebno prilagoditi vanjsku površinu vodova da bi se smanjilo trošenje. U tu svrhu odabran je vod za prijenos kemikalija s čeličnim ojačanjima i promjerom od 39,6 milimetara, što je u odnosu na prethodno korišteni vod vanjskog promjera 51 milimetar predstavljalo značajno smanjenje. Upravo je smanjenjem vanjskog promjera vučna sila smanjena za 22 %  te su uklonjeni problemi u sklopu za kontrolu kretanja vodova (Løver et al., 2015). Na slici 7-6. prikazani su vodovi za prijenos kemikalija manjeg i većeg vanjskog promjera te kontrolni vod korišten pri radovima.




**Slika 7-6.** Vodovi korišteni pri izvođenju radova prije i nakon prilagodbe (Løver et al.,2015)

Osim ove opisane preinake, još su neki dijelovi opreme i plovila prilagođeni uvjetima rada na ovom području. Neke od prilagodbi obuhvaćale su nove vodilice za instalaciju opreme pri jakim strujama, sustav za kontrolu otklona vodova, instalaciju uređaja za mjerenje brzine morskih struja na dno plovila za lakše predviđanje ponašanja opreme, uklanjanje oštrih dijelova na području kobilice broda i ostalo. Sve navedeno omogućilo je povratak na područje *„West of Shetland“* 2011. godine te uspješno obavljanje potrebnih radova na održavanju bušotina bez niza usponskih cijevi (Løver et al., 2015). Također daljnjim usavršavanjem opreme i posade koja je radove obavljala postignuti su zadovoljavajući rezultati te je prikazano kako je ovaj postupak moguće prilagoditi za rad i u vrlo zahtjevnim područjima.

Oba primjera opisana u ovom poglavlju, kao i oni opisani u prethodnima pokazuju kako je metoda održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi korisna te pouzdana za obavljanje širokog raspona radova vezanih za održavanje bušotina s ušćem na morskom dnu.

# 8. ZAKLJUČAK

Postupak održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi razvijen je kako bi naftno-plinskoj industriji omogućila ekonomski, ali i tehnički efikasniji način održavanja bušotina s ušćem bušotine na morskom dnu. Rastom broja bušotina na moru, a samim time i broja bušotina s ušćem na morskom dnu razvoj i upotreba ovog postupka postaje sve važnija za operatore.

Kao što je prikazano u radu, prednost ovog načina održavanja bušotina su u prvom redu manji troškovi u odnosu na dosadašnji način održavanja bušotina korištenjem poluuronjivih platformi, koji proizlaze iz korištenja posebno dizajniranih plovila specijaliziranih upravo za ovu svrhu. Nadalje, veća mobilnost plovila omogućuje smanjenje neproduktivnog vremena te je njihova dostupnost veća u odnosu na velika bušaća postrojenja korištena prije razvoja ovog načina održavanja. Oprema korištena pri održavanju bušotina bez niza usponskih cijevi  također je prilagođena, ali i prednost i mogućnost njezine prilagodbe ovisi o radovima koje je potrebno obaviti. Pravilnim planiranjem upravo fleksibilnost pri korištenju opreme dolazi do izražaja jer je moguće obavljanje različitih radova održavanja bušotina s istog plovila. Također u radu je prikazano više primjera korištenja ovog postupka održavanja bušotina bez niza usponskih cijevi u različite svrhe, kao i postignuti rezultati koji su u velikom broju slučajeva bili bolji od onih postignutih konvencionalnim načinom održavanja ovog tipa bušotina. Održavanje bušotina na ovaj način moguće je u različitim uvjetima morskih okoliša i morskih struja te se pravilnim planiranjem i uočavanjem potrebnih prilagodbi opreme mogu izbjeći poteškoće. Upravo je pravilno planiranje i prilagodba opreme, ali i redovita obuka posade ključan dio procesa standardizacije ovog postupka održavanja bušotina.

Moguće je zaključiti da je postupak održavanja bušotina s ušćem na morskom dnu bez primjene niza usponskih cijevi omogućio učestalije održavanje ovog tipa bušotina, te je pridonio povećanju ukupnog iscrpka iz određenog ležišta. Stalnim povećanjem učestalosti primjene ovog postupka te povjerenjem u njegove mogućnosti ovaj postupak postaje sve priznatiji način obavljanja radova održavanja bušotina u odobalju pa je nastavak tog trenda moguće očekivati i u budućnosti.

## 9. LITERATURA:

1. DELOT, Q., EIKELAND, T., GUNDERSEN, S. H., SKEIE, N., 2012., World First Riserless Light Well Intervention (RLWI) Technique to Mill and Clean Hard-Packed Debris, and Then Pull a Bridge Plug from a Live Subsea Well Using Electric Wireline, SPE paper 159636 presented at SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 8-10 October 2012., San Antonio, Texas, USA

2. FJÆRTOFT, L., SØNSTABØ, G., 2011., Success From Subsea Riserless Well Intervention, SPE paper 143296 presented at SPE/ICoTA Coiled Tubing and Well Intervention Conference And Exhibition, 5-6 April 2011., Woodlands, Texas, USA

3. HÅHEIM, S., HOEN, C., HEIGRE, B., HEIM, E., WINDSLAND, Ø., 2003., Riserless Coiled-Tubing Well Intervention, OTC paper 15179 presented at Offshore Technology Conference, 5-8 May 2003., Houston, Texas, USA

4. KARLSEN, O. E., ANDREWS, G., 2014., Electric Line Riserless Light well Intervention (RLWI) Methods Key to Increasing Recovery from Subsea Wells, SPE paper 169188-MS presented at SPE Bergen One Day Seminar, 2 April 2014., Bergen, Norway

5. KJÆRSGAARD-RASMUSSEN, J., RASK, N., IVERSEN, M., ARNSKOV, M. M., 2011., Modelling of Cable Forces as a Decision Support Tool for RLWI Operations, SPE paper 146017 presented at SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 30 October–2 November 2011., Denver, Colorado, USA

6. LØVER, T. A., BJERKVIK, O., 2015., Riserless Light Well Intervention Operations in Harsh Enviroment-A Case Study From West of Shetland, OTC paper 25725-MS presented at Offshore Technology Conference, 4-7 May 2015., Houston, Texas, USA

7. MATHIASSEN, E., MUNKERUD, P. K., SKEELS, H. B., 2008., Well Intervention in Deep Waters, OTC paper 19552 presented at Offshore Technology Conference, , 5–8 May 2008., Houston, Texas, USA

8. MORRISON, B., KARLSEN, O. E., 2013., Rigless Intervention: Barriers and Misperceptions About Using Lightweight Intervention Solutions To Increase Oil Recovery from Deepwater, Subsea Wells, OTC paper 24054 presented at Offshore Technology Conference, 6-9 May 2013., Houston, Texas, USA

9. MUNKERUD, P. K., INDERBERG, O., 2007., Riserless Light Well Intervention (RLWI), OTC paper 18746 presented at Offshore Technology Conference, 30 April – 3 May 2007., Houston, Texas, USA

10. SKEIE, T., HJORTELAND, Ø., ARNSKOV, M. M., 2011., Riser Less Well Intervention for Subsea Work Over, SPE paper 143226 presented at Brasil Offshore Conference and Exhibition, 14-17 June 2011., Macae, Brazil

11. VARNE, T., JORGENSEN, E., GJERTSEN, J., OSUGO, L., FRIEDBERG, R., BJERKVIK, O., HALVORSEN, E. C., 2017., Plug and Abandonment Campaigns From a Riserless Light Well Intervention Vessel Provide Cost Savings for Subsea Well Abandonments, SPE paper 185891-MS presented at Bergen One Day Seminar, 5 April 2017., Bergen, Norway

**Izjava**

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

_____

Luka Džepina