

Rotator ulaznih cijevi (tubinga)

Rendulić, Mislav

Undergraduate thesis / Završni 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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:871183>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-15**



Repository / Repozitorij:

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



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

ROTATOR UZLAZNIH CIJEVI (TUBINGA)

Završni rad

Mislav Rendulić

N4109

Zagreb, 2020.

ROTATOR UZLAZNIH CIJEVI (TUBINGA)

Mislav Rendulić

Završni rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za naftno inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

Više od 50% oštećenja u bušotinama opremljenima sustavom s dubinskim klipnim sisaljkaма posljedica je trošenja tubinga, koje može biti mehaničko i korozijsko. Kako bi se objasnila pojava različitih oštećenja tubinga uslijed trošenja, navedeni su faktori koji utječu na nastajanje trošenja. U cilju sprječavanja navedenih vrsta trošenja tubinga, u sustav proizvodne opreme bušotine ugrađuje se rotator tubinga, koji ravnomjerno raspoređuje trošenje unutar tubinga, a sastoji se od površinske i dubinske opreme. Uz rotatore tubinga, moguća je i upotreba rotatora klipnih šipki koji ravnomjerno raspoređuje trošenje po opsegu klipnih šipki. U upotrebi se nalaze i centralizeri klipnih šipki koji osiguravaju razmak između klipnih šipki i tubinga te sprječavaju njihovu interakciju. U radu su navedeni primjeri upotrebe rotatora tubinga te ostvareni rezultati u smislu produljenja perioda između dva kvara na nizu tubinga.

Ključne riječi: niz uzlaznih cijevi (tubing), bušotina, klipne sisaljke, trošenje, rotatori tubinga, rotatori klipnih šipki, centralizeri klipnih šipki

Završni rad sadrži: 47 stranica, 1 tablicu, 30 slika, 35 referenci
Jezik izvornika: Hrvatski
Završni rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Borivoje Pašić, docent RGNF-a
Ocjenivači: Dr. sc. Borivoje Pašić, docent RGNF-a
Dr. sc. Vladislav Brkić, docent RGNF-a
Dr. sc. Sonja Koščak Kolin, docentica RGNF-a

Datum obrane: 17.7.2020

SADRŽAJ

POPIS SLIKA.....	II
POPIS TABLICA.....	III
POPIS KRATICA.....	IV
1. UVOD.....	1
2. UVJETI U BUŠOTINI ZA UPOTREBU ROTATORA TUBINGA.....	3
3. OŠTEĆENJA U BUŠOTINAMA OPREMLJENIM SUSTAVOM ZA PRINUDNO PODIZANJE KAPLJEVINE POMOĆU DUBINSKIH KLIPNIH SISALJKI.....	6
3.1 Faktori koji utječu na trošenje tubinga i klipnih šipki.....	6
3.2 Mehaničko trošenje klipnih šipki i tubinga.....	13
3.3 Korozijsko trošenje tubinga i klipnih šipki.....	15
3.4 Pregled i zamjena oštećenog tubinga.....	18
4. ROTATORI TUBINGA.....	20
4.1 Konstrukcija i način djelovanja rotatora tubinga.....	20
4.2 Dubinska oprema rotatora tubinga.....	29
5. DODATNA OPREMA KOJOM SE PRODULJUJE VIJEKA TRAJANJA KLIPNIH ŠIPKI I TUBINGA.....	32
5.1 Centralizeri klipnih šipki.....	32
5.2 Rotatori klipnih šipki.....	35
6. PRIMJERI I REZULTATI UPOTREBE ROTATORA TUBINGA.....	40
6.1 Primjena rotatora tubinga na polju u blizini Carizzo Springs-a (Texas)....	40
6.2 Primjena rotatora tubinga na naftnom polju u Illinois-u.....	40
6.3 Primjena rotatora tubinga na polju Salt Creek u Midwest-u (Wyoming)...	42
6.4 Primjena rotatora tubinga na polju Big Beaver u Last Chance-u (Colorado).....	43
6.5 Primjena rotatora tubinga na bušotini Sprayberry u Zapadnom Texas-u..	43
7. ZAKLJUČAK.....	44
8. LITERATURA.....	45

POPIS SLIKA:

Slika 3-1. Utezi za dodavanje težine na niz klipnih šipki.....	7
Slika 3-2. Odnos opterećenja bočne sile i dubine bušotine kod sisaljki promjera 38,1 mm...	8
Slika 3-3. Odnos opterećenja bočne sile i dubine bušotine kod sisaljki promjera 57,2 mm...	9
Slika 3-4. Odnos prosječnog broja zamijenjenih klipnih šipki u jednom remontu i broja hodova u minuti klipne sisaljke.....	10
Slika 3-5. Odnos prosječnog broja zamijenjenih klipnih šipki u jednom remontu prije i poslije ugradnje utega.....	12
Slika 3-6. Oštećenje stijenki tubinga uslijed mehaničkog trošenja.....	14
Slika 3-7. Slika pukotine nastale mehaničkim trošenjem.....	14
Slika 3-8. Slika oštećenja tubinga nastalih korozijskim trošenjem.....	16
Slika 3-9. Djelovanje korozije na unutarnju stijenku tubinga.....	16
Slika 3-10. Puknuće uslijed korozivnog djelovanja na istrošenom dijelu tubinga.....	17
Slika 3-11. Uređaj za inspekciju tubinga prilikom njegovog izvlačenja iz bušotine na površinu.....	19
Slika 4-1. Kućište rotatora tubinga.....	21
Slika 4-2. Vješalica tubinga postavljena unutar bušotinske glave (označeno crveno) koja omogućava njegovu rotaciju.....	21
Slika 4-3. Rotator tubinga pokretan ručno.....	22
Slika 4-4. Pokazivačka karta koja pokazuje je li tubing rotiran i za koliko se treba okrenuti.....	23
Slika 4-5. Rotator tubinga s mehaničkim načinom okretanja.....	24
Slika 4-6. Električno pogonjeni rotator tubinga.....	25
Slika 4-7. Prikaz dijela nasjedanja ramena vretena na ležaj.....	26
Slika 4-8. Dvodjelni rotator tubinga koji omogućava prigradnju preventera na prirubnicu eksploatacijske kolone zaštitnih cijevi.....	27
Slika 4-9. Rotator tubinga s već ugrađenim preventerom.....	28
Slika 4-10. Rotator tubinga s modulom dvojne funkcije preventera i cijevnog T komada.....	28
Slika 4-11. Rotacijska glava.....	30
Slika 4-12. Rotacijski sidreni paker.....	31

Slika 5-1. Centralizeri na klipnim šipkama.....	32
Slika 5-2. Broj i raspored centralizera po komadu klipne šipke.....	33
Slika 5-3. Konkavni (lijevo) i konveksni (desno) centralizeri klipnih šipki.....	34
Slika 5-4. Centralizer klipne šipke sa spiralnim rebrima otklonjenima od vertikale posebno namijenjen za bušotine opremljene vijčanim sisaljka.....	35
Slika 5-5. Rotator klipnih šipki s rotacijskim mehanizmom.....	37
Slika 5-6. Senzori za praćenje rotacije glatke šipke.....	38
Slika 6-1. Graf stope povrata novca uloženog ugradnjom rotatora tubinga	42

POPIS TABLICA

Tablica 3-1. Promjena otklona kanala bušotine oko točke skretanja.....	10
---	----

POPIS KRATICA

SAD – Sjedinjene Američke Države

KOP (engl. *kick off point*) - točka skretanja kanala bušotine

DLS (engl. *Dog leg Severity*) - promjena otklona (zakrivljenosti) kanala bušotine

PPS (engl. *Polyphenylene sulfide*) – polifenilen sulfid

PAA (engl. *Polyacrylamide*) - poliakrilamid

PA (engl. *Polyamide*) – poliamid

RFID (engl. *radio-frequency identification*) – sustav slanja informacija radio frekvencijama

1. UVOD

Dubinske klipne sisaljke s klipnim šipkama najraniji je i široko upotrjebljavani sustav za mehanizirano pridobivanja nafte iz bušotine. Prema podacima iz 2011. godine u Hrvatskoj je bilo 1133 aktivnih eksploatacijskih bušotina, od čega su 484 opremljene dubinskim klipnim sisaljka što je nešto više od 40%. U Sjedinjenim Američkim Državama (SAD-u) od 506 000 bušotina koje proizvode sustavima za prinudno podizanje kapljevine, njih 80 do 85% opremljene su dubinskim sisaljka s klipnim šipkama (Matanović i Moslavac, 2011). Prema podacima kompanije Petrochina iz 2012. godine, koja je najveći proizvođač i distributer nafte i plina u Kini, u Kini se nalazilo 118 000 bušotina opremljenih dubinskim klipnim sisaljka (Zhao et al., 2019), što je činilo oko 96% tadašnjeg broja proizvodnih bušotina.

Razlog zašto je spomenuta metoda prinudnog podizanja kapljevine pomoću klipnih sisaljki toliko češće upotrebljavana u odnosu na druge metode, te zašto se upotrebljava kontinuirano već 150 godina je jednostavnost cijelog sustava. Kroz godine upotrebe ova metoda se pokazala kao veoma uspješna. Naposljetku ono što je tu metodu izdvajalo i učinilo ju financijski isplativom bila je njena pouzdanost, što je rezultat dugotrajnog rada s malim operativnim troškovima te velikom autonomijom u radu. Naravno, njena isplativost podrazumijeva neprekidni rad dubinske klipne sisaljke s minimalnim vremenom provedenim u kvaru ili remontu (Lacy, 1992).

Tubing ili kolona uzlaznih cijevi postavlja se u bušotinu s ciljem osiguravanja prostora za protjecanja fluida iz ležišta do površine, i obrnuto. Na temelju prethodnih saznanja i iskustva stečenog prilikom rješavanja kvarova na bušotinama opremljenim sustavom klipnih sisaljki s klipnim šipkama utvrdilo se da više od 50% oštećenja proizlazi iz trošenja tubinga (Clemens et al., 2018). Upravo zbog visine troškova izvlačenja niza tubinga, zamjene oštećenih dijelova te ponovnog vraćanja u bušotinu, popravke tubing svrstava se među najskuplje vrste popravka podzemne opreme kod bušotina opremljenih dubinskim klipnim sisaljka (McCaslin, 1987). U SAD-u 1990. godine bilo je 40 000 popravka oštećenog niza tubinga i 78 000 popravka oštećenog niza klipnih šipki. Tadašnji državni prosjek cijene popravka bio je 3 140 \$ po pojedinoj bušotini. Te brojke pokazuju da je industrija potrošila skoro pola milijarde dolara samo u 1990. godini na popravak oštećenih dijelova niza tubinga i klipnih šipki (Lacy, 1992). Čisto radi usporedbe, radi inflacije taj iznosi danas bi iznosio skoro milijardu dolara.

Trošenje (oštećenje) tubinga i klipnih šipki izaziva dvije vrste oštećenja dubinske opreme ugrađene u bušotinu. Prva vrsta oštećenja je puknuće tubinga ili klipnih šipki i njihovih spojnica uzrokovanih međusobnim trenjem ova dva niza (Hart, 2003). Druga vrsta je oštećenje tubinga koje nastaje zbog pojave korozije. Do korozije dolazi kada niz klipnih šipki uslijed repetitornog zadizanja odnosi protukorozivnu zaštitu s unutarnjih metalnih površina tubinga, čime ona postaje podložna djelovanju korozije te naposljetku i nepovratnom strukturnom oštećenju tubinga (Hart, 2003).

Prvi korak u rješavanju ovog problema je prikupljanje podataka na terenu (Mottram, 1991). Oštećenja nastala na tubingu najčešće se ne može registrirati s površine u tolikoj mjeri kao ona nastala kod klipnih šipki. Razlog tome je što se klipne šipke prilikom većine kvarova podzemne opreme podižu na površinu, a prilikom njihova izvlačenja trošenje istih moguće je vidjeti golim okom na njihovoj površini. S druge strane, oštećenja na tubingu najčešće je teško vidjeti sve dok ne dođe do kvara na istome. To se događa jer oštećenja zbog trošenja uglavnom nastaju na unutrašnjoj stijenci tubinga koja je izložena naizmjeničnom kretanju niza klipne šipke (Lacy, 1992). Trošenje tubinga i klipnih šipki nemoguće je u potpunosti spriječiti, i naposljetku svaka alatka ima određeni radni vijek. Međutim, u cilju ekonomičnosti ovakvog načina podizanja kapljevine, nastoji se njihovo trošenje i oštećenje smanjiti maksimalno koliko je to fizički moguće.

Jedan od načina smanjenja trošenja i oštećenja niza tubinga o kojem će se uvelike pisati u ovom radu je primjena rotatora uzlaznih cijevi (tubinga). Također, postoje dokazi da upotreba rotatora tubinga smanjuje i probleme prouzrokovane izdvajanjem parafina u tubingu (Lacy, 1992). S druge strane, u upotrebi se može naći i rotator klipnih šipki. Njihovom upotrebom produljuje se vijek trajanja klipnih šipki, dok se upotrebom centralizera klipnih šipki produljuje radni vijek i tubinga i klipnih šipki (Hart, 2003). Prilikom podizanja kapljevine vijčanim sisaljkaama također se može koristiti rotator tubinga, premda kod bušotina opremljenih vijčastim nema recipročnog kretanja niza klipnih šipki, već oštećenje tubinga nastaje kao posljedica rotacije klipnih šipki.

Dakako, u upotrebu postoje i neka druga tehnička rješenja poput upotrebe centralizera tubinga unutar zaštitnih cijevi, ojačanih spojnica klipnih šipki, upotreba teških klipnih šipki, primjena kemijskih inhibitora i sl., a čija primjena i uspješnost ovisi od bušotine do bušotine.

2. BUŠOTINE OPREMLJENE DUBINSKIM KLIPNIM SISALJKAMA I PROBLEMI U NJIHOVOM RADU

Najčešće upotrebljavana vrsta tubinga je ona u obliku čeličnih cijevi s navojnim spojevima na krajevima. Također, ova vrsta tubinga upotrebljava se skoro isključivo kod bušotina opremljenih dubinskim klipnim sisaljkama. Cijeli sustav se pokreće s površine pogonskim motorom preko sustava njihalice. Ciklus crpljenja podijeljen je u dva dijela. Usisavanje slojnog fluida i podizanje pri kretanju klipa prema gore i punjenje radne komore pri kretanju klipa prema dolje. Pri kretanju klipa prema gore, fluid koji se nalazi unutar klipa i niza tubinga kreće se prema gore. Kretanjem šipki i fluida prema gore opterećenje uslijed težine stupca fluida i klipnih šipki koncentrirano je ponajviše na gornjim sekcijama klipnih šipki i poliranoj šipki. Pri kretanju prema dolje, klip pada kroz cilindar ispunjen fluidom, koji je usisan tijekom kretanja fluida prema gore, a opterećenje fluidom se time prenosi s klipa na niz tubinga. Dubinske klipne sisaljke dijele se na one koje su ugrađene kao sastavni dio tubinga ili na klipnim šipkama. Kod sisaljki u sastavu tubinga, radna komora se ugrađuje kad i sam tubing, a klip se ugrađuje naknadno na klipnim šipkama. Kod ugradnje na klipnim šipkama, cijela dubinska klipna sisaljka se ugrađuje na nizu klipnih šipki (Matanović i Moslavac, 2011). Još jedan bitan faktor kod bušotina opremljenih dubinskim klipnim sisaljkama je prisutnost sidrenih pakera. Ako tubing nije pričvršćen unutar zaštitnih cijevi sidrenim pakerom, doći će do pomicanja tubinga prema gore ili izvijanja u obliku spirale svaki put kada se putujući ventil u klipu zatvori, a mirujući ventil u sisaljki otvori (Lacy, 1992).

Kako se klipne šipke recipročno kreću unutar niza tubinga, one stvaraju te potom i prate jedan te isti obrazac kretanja. Postepeno, klipne šipke počinju urezivati "put" na unutarnjoj površini niza tubinga te se polako urezuju užljebljenja koja pokazuju pravac kretanja niza klipnih šipki (Lacy, 1992). To je i razlog zašto se prilikom upotrebe dubinskim klipnim sisaljkama preporučuje promjena položaja spojnice klipnih šipki (koji su primarni uzročnici trošenja) u odnosu na tubing unutar kojeg se niz klipnih šipki kreće. A to se ostvaruje ubacivanjem kratkih šipki različite duljine u niz klipnih šipki (Hart, 2003). Kratke klipne šipke su klipne šipke manje duljine nego je to uobičajeno, odnosno duljine od 0,5 do 3 metra, a najčešće se postavljaju odmah ispod glatke šipke. Njihova zamjena obavlja se prilikom izvlačenja klipnih šipki na površinu (Mottram, 1991). Nakon njihove zamjene, spojnice klipnih šipki dolaze u kontakt s unutarnjom površinom tubinga koja još nije bila zahvaćena njihovim djelovanjem te se time produljuje radni vijek tubinga odnosno perioda

između kvarova uzrokovanih oštećenjem tubinga uslijed trošenja. Do korozije dolazi prilikom struganja klipnih šipki o unutarnju stijenk tubinga, pri čemu klipne šipke odnose inhibitore korozije koji se nalaze na unutarnjoj površini niza tubinga (McCaslin, 1987).

Bušotine mogu biti različite konstrukcije i dubine. Tijekom bušenja vertikalne bušotine, može se dogoditi da dlijeto odstupi od projektirane putanje odnosno od vertikalne osi, a razlozi za to mogu biti mnogobrojni. Druge bušotine poput koso usmjerenih ili horizontalnih, namjerno su projektirane i izrađene da odstupaju od vertikalne osi bušotine te se buše pod stalnim ili promjenjivim kutom odklona (www.freepatentsonline.com, 10.12.2019.). U bušotinama koje nemaju veliko odstupanje od vertikale i kod kojih ne dolazi do izvijanja tubinga, kontakt s tubingom ostvaruju samo spojnice klipnih šipki. U koso usmjerenim, horizontalnim i bušotinama kod kojih dolazi do izvijanja, tubing uz spojnicu ostvaruje kontakt i s tijelom klipnih šipki (Lacy, 1992). U prosjeku, 10 do 20% unutarnjeg opsega niza tubinga dolazi u kontakt sa spojnica klipnih šipki (Hart, 2003). Nadalje, duljina područja kod kojeg dolazi do kontakta, ekvivalentno je hodu dubinske klipne sisaljke. Prema tome 7,62 m od ukupno 9,14 m, kolika je duljina tubinga neće imati tragove trošenja ni oštećenja dok će ostalih 30%, koliko iznosi duljina hoda pumpe (1,52 m) imati znakove trošenja. Prema tome, 13% unutarnje površine tubinga izloženo je trošenju uslijed djelovanja kretanja niza klipnih šipki. Ovo praktično znači da se prilikom sanacije oštećenja tubinga uzrokovanog trošenjem, 87% tubinga odbacuje iako nije bio oštećen. Umjesto da je trošenje rasprostranjeno po cijeloj unutarnjoj površini tubinga ono je koncentrirano u uskom području koje čini od otprilike 20% unutarnje površine tubinga (Hart, 2003). Kad bi se tubing mogao rotirati, područje djelovanja klipnih šipki proširilo bi se na veću unutarnju površinu tubinga. Odnosno, kod rotacije tubinga, spojnice klipnih šipki ne bi se mogle užlijebiti u određenom području unutarnje površine tubinga, a kontaktno područje između spojnica klipnih šipki i tubinga konstantno bi se mijenjalo. Instaliranjem rotatora tubinga, višestruko bi se produljio radni vijek dubinske klipne sisaljke te produljio period rada bez potrebe za remontnim radovima i popravcima.

Težina stupca fluida koji se iznosi iz bušotine, kao i viskoznost i gustoća pridobivenog slojnog fluida razlikuje se ovisno udjelu vode u pridobivenom fluidu te udjelu čvrstih čestica. Lakši, manje viskozni ugljikovodici prilikom eksploatacije znaju sa sobom nositi određenu količinu parafina, koji se pod određenim uvjetima može taložiti na vanjskoj površini klipnih šipki i unutarnjoj stijenci tubinga. Nadalje taloženje parafina može dovesti do ograničenja prostora za protok fluida i čvrstih čestica prema površini, što može rezultirati

povećanjem tlaka u tubingu (www.freepatentsonline.com, 10.12.2019.). Instalacijom rotatora tubinga dolazi do konstantne rotacije tubinga te time klipne šipke i tubing nisu orijentirani jedna prema drugom u istoj poziciji nego se spomenuta pozicija redovito mijenja, što rezultira sprječavanjem stvaranja nakupina parafina (Lacy, 1992).

3. OŠTEĆENJA U BUŠOTINAMA OPREMLJENIM SUSTAVOM ZA PRINUDNO PODIZANJE KAPLJEVINE POMOĆU DUBINSKIH KLIPNIH SISALJKI

Kako je već prethodno i spomenuto, većina oštećenja u eksploatacijskim bušotinama opremljenim dubinskim klipnim sisaljkama uzrokovano je trošenjem. Trošenje uzrokuje dvije vrste oštećenja u bušotini. Prva vrsta su puknuća tubinga ili klipnih šipki (ili češće spojnice klipnih šipki) uzrokovana trenjem površina materijala u kontaktu. Ovu vrstu trošenja u literaturama se još naziva i mehaničko trošenje. Druga vrsta su oštećenja uzrokovana trošenjem nastalim zbog struganja klipnih šipki i njihovih spojnica po površini unutarnje stijenke tubinga, čime dolazi do gubitka inhibitora korozije s izložene površine i pojave korozije. U literaturi je ovaj oblik trošenja poznat i kao "korozijsko trošenje" (McCaslin, 1987). Do trošenja ne dolazi samo s unutarnje strane tubinga. Zbog izostajanja sidrenja kod nekih bušotina može doći i do trošenja vanjske površine tubinga, odnosno površine koja je u kontaktu sa zaštitnim cijevima (Hart, 2003).

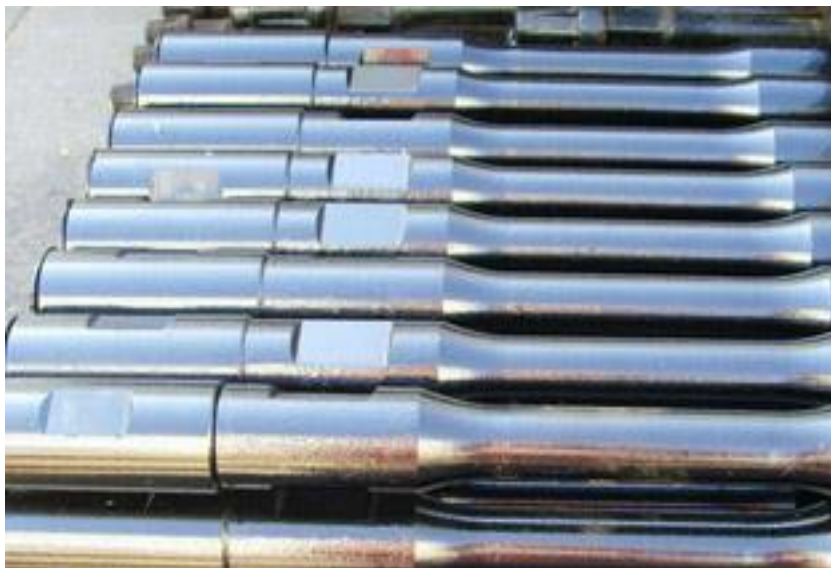
3.1. Faktori koji utječu na trošenje tubinga i klipnih šipki

Nekoliko faktora utječe na intenzitet trošenja tubinga i klipnih šipki. Neki od utjecajnijih faktora su: koeficijent trenja površina koje su u kontaktu, bočna sila, površina koja je izložena trošenju i čvrstoća površina koje se troše (Hart, 2003) te će ovi faktori u nastavku biti detaljnije obrađeni. Navedeni faktori najčešće zajednički djeluju te povećavaju brzinu trošenja na određenoj površini. Stoga, brzina trošenja pojedinog dijela alati direktno utječe na učestalost pojave oštećenja kod bušotina opremljenih dubinskom klipnom sisaljkom. Oštećenja koje uzrokuje trošenje redom su (Hart, 2003):

- ✓ oštećenja na nizu klipnih šipki zbog istrošenih spojnice klipnih šipki ili tijela klipnih šipki;
- ✓ oštećenja na tubingu zbog mehaničkog trošenja;
- ✓ oštećenja niza klipnih šipki uzrokovanih korozijom;
- ✓ oštećenja tubinga zbog korozije.

Kao što je u uvodu već navedeno, postoji mnogo rješenja za pojedina oštećenja dubinske opreme. Međutim pojedina tehnička rješenja uvelike će pomoći kod smanjenja pojave istih, dok na druga oštećenja neće imati utjecaja ili će još više pospješiti njihovo pojavljivanje.

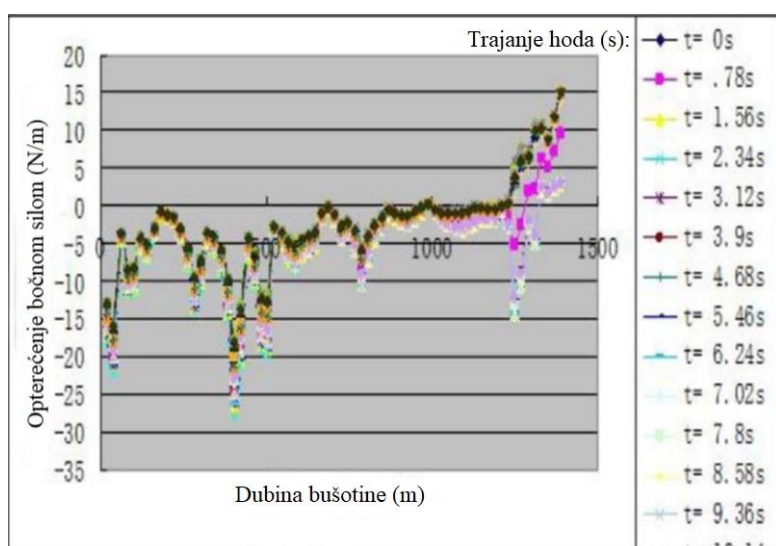
Bočna sila, odnosno sila kojom klipne šipke djeluju na površinu tubinga (Zhao et al., 2019), uvelike ovisi o konstrukciji kanala bušotine odnosno odstupanju putanje kanala bušotine od vertikalne osi (Hart, 2003). Stoga se izradom pravocrtnih bušotina ili maksimalnim smanjenjem zakrivljenosti kanala bušotine usporava brzina trošenja kako tubinga tako i klipnih šipki, iako bušenje idealno pravocrtnih bušotina najčešće nije moguće. Kod postojećih zakrivljenih bušotina, veličinu bočne sile uzrokovane visokim stupnjem zakrivljenosti moguće je smanjiti promjenom proizvodnih parametara kod djelovanja dubinskih klipnih sisaljki. Neki od tih parametara na koje je moguće utjecati su npr. promjena veličine dubinske klipne sisaljke, promjena dubine ugradnje i dr.. Također postoji mogućnost i usporavanja brzine kretanja klipa na klipnim šipkama, a preporučljiva je i upotreba kontrolera pomoću kojih se može kontrolirati rad dubinske klipne sisaljke. Još jedna od mogućih opcija je ugradnja utega (slika 3-1) u niz klipnih šipki (Hart, 2003), koji dodaju težinu u donji dio niza i tako umanjuju rizik od izvijanja šipki u gornji dijelovima kanala bušotine (Mottram, 1991). Moguće je također postaviti i klizne centralizere na klipne šipke koji osiguravaju konstantni razmak između klipnih šipki i tubinga te time smanjuju trenje i trošenje dviju alatki (Mottram, 1991).



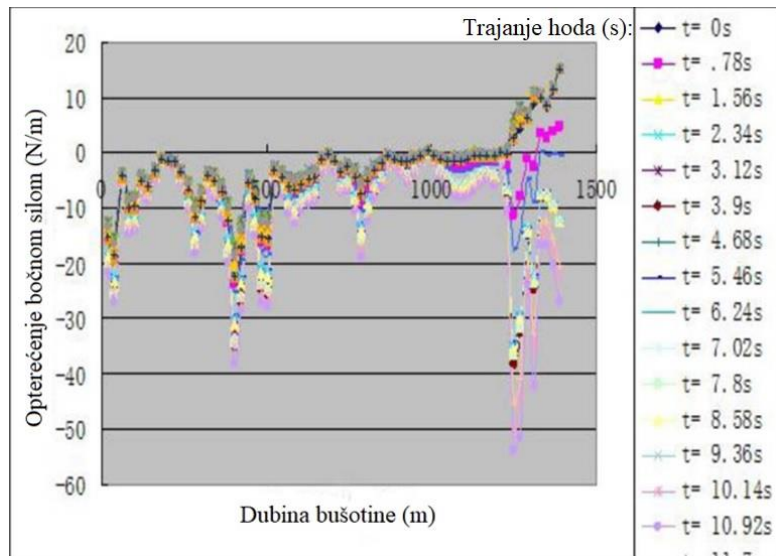
Slika 3-1. Utezi za otežavanje niz klipnih šipki (suckerrodchina.com, 31.3.2020.)

U radu Zhao-a i suradnika (2019.) , prezentiran je osmišljeni matematički model izračuna bočne sile koja nastaje u nizu klipnih šipki kod rada dubinske klipne sisaljke. Rezultati izračuna ovog matematičkog modela pokazali su konstantnu promjenu smjera i veličine bočne sile između klipne šipke i tubing u jednom hodu sisaljke klipnih šipki. Pretpostavljeno je da parametri kao npr. dubina ugradnje klipne sisaljke, duljina hod i

promjer pumpe igraju značajnu ulogu kod trošenja klipnih šipki i tubinga, te je stoga matematički model primjenjivan kako bi analizirao utjecaj tih parametara na bočnu silu. Pa je tako u bušotini dubine 1400 m, kod primjene sisaljke s unutarnjim promjerom cilindra sisaljke 38,1 mm (slika 3-2), maksimalno jedinično opterećenje tubinga bočnom silom klipnih šipki na promatranom metru duljine bit će 28,12 N/m i do njega dolazi na dubini od 400 m, što spada u gornji dio niza klipnih šipki. S druge strane, sisaljka unutarnjeg promjera cilindra sisaljke 57,2 mm (slika 3-3), ima maksimalni iznos opterećenja tubinga bočnom silom klipnih šipki na promatranom metru duljine jednak 52,89 N/m, a do njega dolazi na dubini od 1250 m, što je već dubina bliska onoj na kojoj se nalazi klipna sisaljka. Stoga je vidljivo da pumpe velikog unutarnjeg promjera cilindra sisaljke mogu uvelike uvećati bočne sile i brzinu trošenja tubinga u djelu bližem mjestu gdje je postavljena klipna sisaljka. Zato, u bušotine koje već imaju problema s velikim trošenjem spojnica klipnih šipki i smanjenjem promjera istih, preporučljivo je koristiti otvore sisaljka manjeg promjera (Zhao et al., 2019).



Slika 3-2. Odnos opterećenja bočne sile i dubine bušotine kod sisaljki promjera 38,1 mm (Zhao et al., 2019)



Slika 3-3. Odnos opterećenja bočne sile i dubine bušotine kod sisaljki promjera 57,2 mm (Zhao et al., 2019)

U radu Clarke-a i Malone-a (2016.), izlažu se rezultati i iskustva primjene dubinskih klipnih sisaljki na bušotinama u polju Eagle Ford u vlasništvu kompanije Murphy Oil. Kako je broj bušotina opremljenih dubinskim klipnim sisaljka rastao tako je dolazilo do učestalih grešaka i oštećenja koja su zabilježena te objedinjena u bazu podataka, kao što je i uobičajene prakse rješavanja tih problema. Iskustva dobivena s bušotina na polju Eagle Ford pomogla su u određivanju novih smjernica za opremanje novih bušotina dubinskim klipnim sisaljka.

Od tih smjernica jedna je da se prilikom odabira dubine ugradnje klipne sisaljke nastoji odabrati najveća duljina pri kojoj još uvijek ne dolazi do skretanja bušotine (engl. *kick off point* - KOP). Prema autorima Clarke i Malone (2016.), prvotna praksa je bila ugrađivanje klipne sisaljki na dubinu od oko 9 do 15 metara iznad točke skretanja kanala bušotine. U početku se nije pridavalo preveliku pažnju promjeni zakrivljenosti kanala bušotine s dubinom (engl. *Dog leg Severity* - DLS). Stoga je pumpa postavljena na dio bušotine s promjenom zakrivljenosti kanala bušotine od $3,74^{\circ}/30$ m na dubini od 2193,04 m (tablica 3-1.). Pumpa je bila u funkciji 504 dana prije kvara za koji se ispostavilo da je bio u gornjem dijelu klipne sisaljke te da je uzrokovan velikom bočnom silom u tom predjelu. Nakon popravka, odlučeno je da će se sisaljka ugraditi na dubini od 2183,59 m odnosno u dio kanala bušotine gdje je zakrivljenost kanala bušotine manja od $0,23^{\circ}/30$ m (tablica 3-1.) (Clarke i Malone, 2016).

Tablica 3-1. Promjena otklona kanala bušotine od točke skretanja (Clarke i Malone, 2016)

Mjerena duljina kanala bušotine (m)	Otklon	Azimut	DLS °/30 m
2164,38	1	310,4	0,44
2183,59	1,1	316	0,23
2193,04	1,8	354,4	3,74
2202,79	4,3	15,8	8,45
2212,24	7,1	23,4	9,34
2221,99	9,8	23,5	8,44

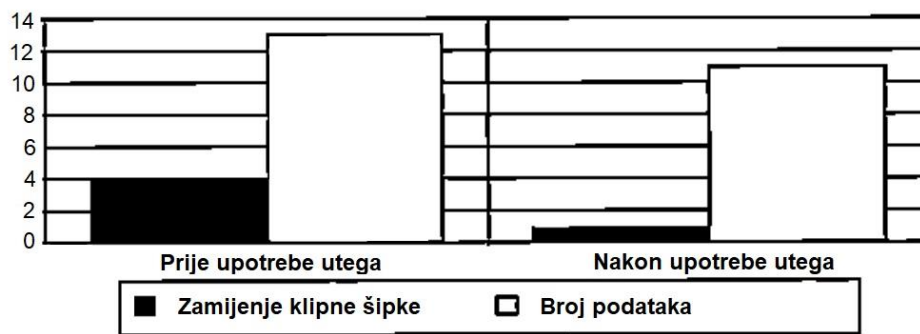
Razlog zašto je sporije kretanje klipa klipne sisaljke povoljnije od brzog, sa stajališta smanjenja trošenja i povećanja radnog vijeka sustava u cjelini, već je ranije spomenuto. U radu Mottram-a (1991.), opisana su iskustva trošenjem klipnih šipki u usmjerenim bušotinama kompanije Husky Oil. Učestalost nastajanja oštećenja uzrokovanih trošenjem i lokacije istih na nizu klipnih šipki, uspoređivani su s nizom parametara kako bi se odredili faktori koji značajnije doprinose oštećenju klipnih šipki. U istom radu korelacija između broja hodova klipne sisaljke i broja zamijenjenih klipnih šipki koje su oštećene povećanim trošenjem pokazuje linearni odnos. Podaci pokazuju da je najviše oštećenja bilo pri od 12,1 do 16 hod/min, dok je taj broj bio minimalan pri 4 hod/min (Mottram, 1991) (slika 3-4).



Slika 3-4. Odnos prosječnog broja zamijenjenih klipnih šipki u jednom remontu i broja hodova u minuti klipne sisaljke (Mottramu, 1991)

Utezi, ili ponekad nazivane i tonuće šipke, dio su podzemne opreme koji osigurava opterećenje neophodno za tonjenje alata unutar fluida koji ispunjava tubing. Njihovim ugrađivanje nastoji se svladati određeno trenje ili tlak koji se javljaju u sustavu. Prilikom hoda klipnih šipki prema dolje, veliko opterećenje ostvaruje se na donji niz klipnih šipki. uslijed težine samih klipnih šipki. Ovakvo opterećenje rezultira savijanje donjeg dijela klipnih šipki, a time i priljublivanje istih uz unutarnju stijenu tubinga (Matanović i Moslavac, 2011; McCaslin, 1987). Rezultat svega navedenog je ostvarivanje bočne sile kojim klipne šipke djeluju na tubing te posljedično brže trošenje tubinga i naposljetku

prijevremeno oštećenje opreme. Prema Mottramu (1991.) i podacima s naftnog polja Aberfeldy u Lloyminsteru u Kanadi, 30% oštećenja u nizu klipnih šipki dogodilo se na donjih 10% klipnih šipki, odnosno neposredno iznad klipne sisaljke. Kako bi se riješio taj problem, odlučeno je da se u niz klipnih šipki ugrade utezi promjera 38 mm (Mottram, 1991). Utezi su višestruko teži po jedinici duljine od klipnih šipki, odnosno jedinična masa utega iznosi 8,9 kg/m što je gotovo trostruko više u odnosu na jediničnu masu klipnih šipki koja iznosi 3,3 kg/m. Stoga će njihova efikasnost u vraćanju klipa na dno prilikom hoda prema dolje biti veća. Također, utezi većeg promjera od klipnih šipki su tromije i kruće alatke te se ne daju lako savinuti. Još jedna prednost je što su utezi većeg promjera otporniji na trošenje u kontaktu s tubingom te im je radni vijek duži od onog kod klipnih šipki . Na primjeru polja Aberfeldy, utezi su primijenjeni na 6 bušotina. Svugdje su postavljeni u donjem dijelu niza klipnih šipki. Broj postavljenih utega varirao je između bušotina od 5 do 18 komada po bušotini, ali u prosjeku ih je bilo 12. Prema podacima dobivenim iz tih bušotina (slika 3-5), upotreba utega smanjila je broj klipnih šipki koje je bilo potrebno zamijeniti prilikom remonta za 77%. Prilikom podizanja niza klipnih šipki na površinu i pregleda utega utvrđeno je da pokazuju minimalne znakove trošenja. Stoga se da zaključiti da se upotrebom utega smanjuje potreba za zamjenom niza klipnih šipki. S druge strane, zbog svoje krutosti, utezi mogu potencijalno nepovoljno djelovati na radni vijek tubinga na dubini na kojoj su postavljeni (Mottram, 1991). Ukoliko bušotina nije vertikalna, utezi i klipne šipke se kod hoda prema dolje priljubljuju na donju stranu tubinga. Zbog svoje veće jedinične mase i površine u stanju su uzrokovati veću štetu na tubing u nego što bi to učinile klipne šipke u istom razdoblju. Oštećenja na tubing u su jednako učestala kao i oštećenja na nizu klipnih šipki. Međutim, zbog česte primjene sisaljki koje se ugrađuje na klipnim šipkama i neučestalim zadizanje niza tubinga na površinu njihova oštećenja teško se primjećuju sve dok ne dođe do oštećenja. Stoga kako ne bi došlo do takvih slučajeva preporučljiva je upotreba centralizera, a ako se to ne pokaže učinkovito i ugradnja rotatora tubinga čime bi se smanjio interval između oštećenja na tubing u koja zahtijevaju remonte radove.



Slika 3-5. Odnos prosječnog broja zamijenjenih klipnih šipki u jednom remontu prije i poslije ugradnje utega (Mottramu, 1991)

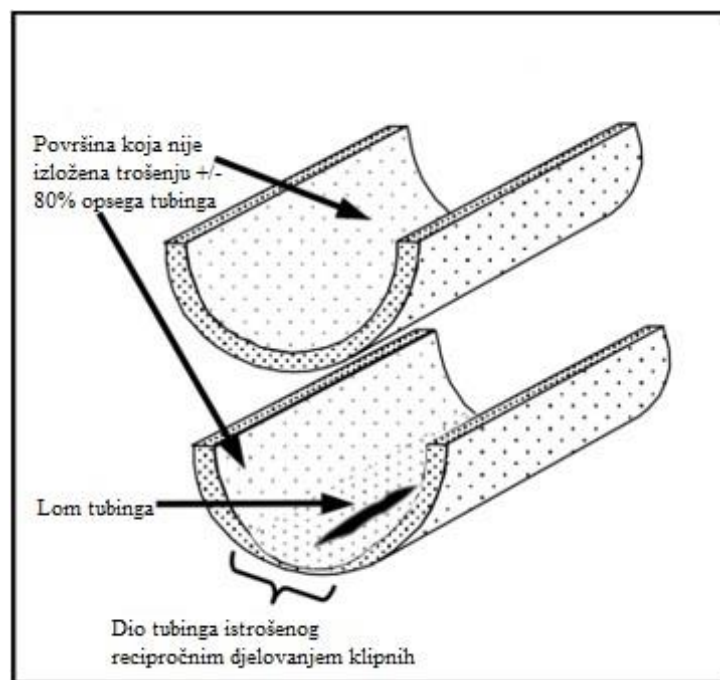
Hrapavost i čvrstoća površina alatki koje se nađu u kontaktu ponajprije ovisi o odabranoj dubinskoj opremi koja je ugrađena u pojedinu bušotinu te tipu materijala od kojih je izrađena. Upotrebom čelika veće kvalitete povećava se čvrstoća tubinga kao i njegov radni vijek. S druge strane, povećanom kvalitetom čelika povećava se rizik od njegovog pucanja pod utjecajem sulfidnih spojeva, najčešće sumporovodika (H_2S). Zbog tog razloga bitno je da slojni fluid ne sadrži topive sulfide, a pogotovo ne H_2S pri niskim pH uvjetima. Hrapavost i čvrstoću tubinga moguće je promijeniti primjenom nekih drugih vrsta tubinga npr. tubing od polimernih materijala ojačanih staklenim vlaknima ili namotani kontinuirani niz cijevi od čelika tzv. savitljivi tubing. Savitljivi tubing od polietilena prema nekim pisanjima produljuje radni vijek tubinga do čak 4 puta, u odnosu na klasični tubing od čeličnih cijevi s navojnim spojevima. Hrapavosti i čvrstoće niza klipnih šipki moguće je promijeniti primjenom različitih vrsti spojnice klipnih šipki ili centralizera klipnih šipki kako bi se smanjila površina koja dolazi u kontakt s tubingom (Hart, 2003).

U praksi je česta upotreba spojnice klipnih šipki od nelegiranog čelika T klase s plastičnim ojačanjima na površini (Hart, 2003). Prema Rockwell C skali, koja je najčešće upotrebljavana kod rangiranja čvrstoće ojačanih čelika, T klase spojnice ocijenjene su od minimalno 16 do maksimalno 23. S druge strane spojnice SM klase, su najčešće ojačane raznim legurama na površini. Legure se sastoje od nikla, titanija i željeza, te se pri niskim temperaturama nanose na spojnicu te potom zagrijavaju. Nakon zagrijavanja, ojačanje od legure se steže te se raspoređuje po cijeloj površini spojnice i stvara kompaktni kontakt metala o metal (books.google.hr, 2.4.2020.). One na Rockwell C skali imaju čvrstoću od 50 do 65, rijetko korodiraju te imaju manji faktor trenja od spojnice T klase (www.petrowiki.org, 31.3.2020.). Spojnice SM klase, ako se pravilno obrade, prebacuju

ravnotežu međusobnog trošenja tubinga i klipnih šipki na stranu tubinga. Dok SM spojnice eliminiraju oštećenja na spojnica klipnih šipki uzrokovana trošenjem ili korozijom, s druge strane povećavaju intenzitet prodiranja spojnice u tubing do čak 30% (Hart, 2003). Dok su klipne šipke punog profila čelika, lakše i jeftinije za zamjenu, tubing je mekši, zbog svoje cilindrične konstrukcije podlozan je probijanju i skuplji je za zamijeniti. Stoga se zaključno može reći da dok SM klase spojnice produžuju radni vijek klipnih šipki, toliko i smanjuju onaj od tubinga.

3.2. Mehaničko trošenje klipnih šipki i tubinga

Mehaničko trošenje je gubitak metalnog materijala zbog trenja pri kontaktu između površina tubinga i klipnih šipki. Mekši od tih dvaju metala pretrpi veću štetu tj. gubitak materijala, a pri većini kombinacija tubinga i spojnice klipnih šipki mekši materijal je tubing. To je zato što spojnice T- klase (koje se najčešće upotrebljavaju) imaju čvrstoću od 16 do 23 po Rockwell C skali čvrstoće, dok normalni tubing kvalitete npr. J-55 ima čvrstoću po istoj skali od 0 do 16. Usprkos tome, terenskim istraživanjima utvrdilo se da će kod bušotina s J-55 tubingom, T-klasom spojnice i problemom mehaničkog trošenja, oštećenje prvo dogoditi kod spojnice klipnih šipki. Razlog tome je koliko se dugo pojedini dio nalazi pod opterećenjem i trošenjem. Točnije, kod tubinga trošenje se javlja po duljini koja je ekvivalentna cijeloj duljini hoda klipne sisaljke, dok se spojnice troši po malom dijelu duljine 10 cm (slika 3-6). Povrh toga, jedan te isti dio spojnice neprestano se nalazi u kontaktu i pod trošenjem, dok trošenje tubinga oscilira, odnosno, ovisno o tome je li klip sisaljke u gornjem ili donjem položaju tijekom hoda, pod opterećenjem se nalaze različiti dijelovi tubinga (McCaslin, 1987). Kao što je spomenuto ranije, najčešće oštećenje kod kojeg dolazi prilikom mehaničkog trošenja je naprslina na tubing (Hart, 2003). U normalnim okolnostima naprslina uzrokovana trošenjem o spojnici klipnih šipki će biti tanka s jedne strane unutrašnje površine tubinga i rasprostranjena na otprilike 20% opsega tubinga. Oštećeni tubing s vanjske strane tubing će imati rascjep duljine od 2,5 do 12,5 cm koji prati uzdužnu os tubinga (Hart, 2003) (slika 3-7).



Slika 3-6. Oštećenje stijenki tubinga uslijed mehaničkog trošenja (Hart, 2003)



Slika 3-7. Slika pukotine nastale mehaničkim trošenjem (production-technology.org/tubing-rotator, 10.12.2019.)

Kretanje niza klipnih šipki, odnosno, najčešće spojnice, u tolikoj mjeri oštećuje tubing da smanjuje debljinu stijenke po cijeloj duljini strane kod koje dolazi do kontakta. Njena debljina je time smanjena do te mjere da dolazi do probijanja otvora u tubingu zbog toga što tlak unutar niza tubinga premašuje već smanjeni dozvoljeni tlak rasprskavanja (Hart, 2003). Prilikom popravka navedenog oštećenja dolazi do opasnosti postojanja oštećenja na nekom drugom komadu tubinga. Ako dođe do previda takvih stvari, ukratko

nakon ugradnje niza u bušotinu doći će do pucanja tog drugog ili drugih komada tubinga. S druge strane, na bušotini se može provest ispitivanje tubinga pod tlakom, prilikom čega, najčešće, u tubingu dođe do pucanja još nekoliko naprslina (Hart, 2003).

Jedne od efikasnijih metoda za smanjenje mehaničkog trošenja u bušotini su upotreba mekih centralizera klipnih šipki pomoću kojih se sprječava kontakt spojnice klipnih šipki i tubinga. Rotatori klipnih šipki također mogu produljiti vijek trajanja klipnih šipki rasprostranjivanjem trošenja centralizera ili spojnice klipnih šipki ravnomjerno po cijelom opsegu (McCaslin, 1987). Nadalje, zaštitni sloj inhibitora korozije na površini metala na kontaktu spojnice klipnih šipki i tubinga djeluje kao lubrikant i smanjuje trošenje materijala. Po mogućnosti, u ranim fazama proizvodnje, površine tubinga i šipki umočene su u naftu koja sadrži mali ili zanemarivi udio slojne vode. Međutim, s godinama crpljenja povećava se udio vode u pridobivenom slojnom fluidu, što vodi do močenja metala vodom. Inhibitori korozije mogu se iskoristiti za poboljšanje uljne moćivosti te smanjenja trošenja između tubinga i klipnih šipki u bušotinama s visokim udjelom slojne vode (McCaslin, 1987).

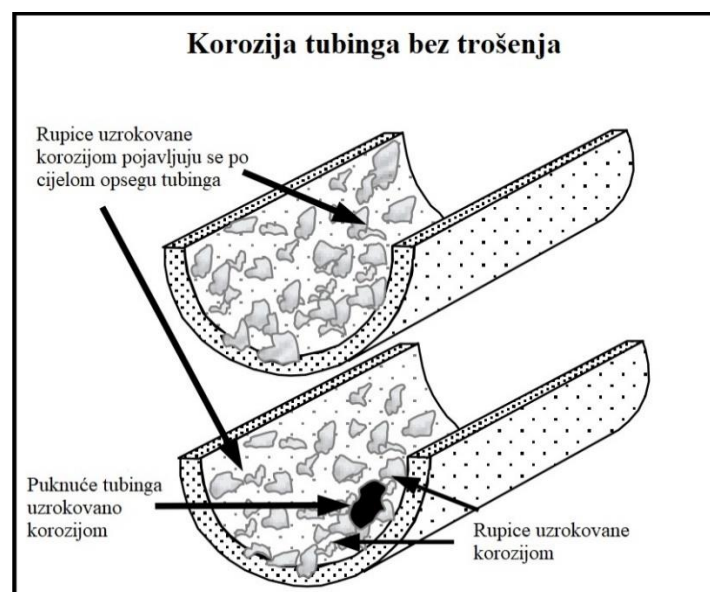
3.3. Korozijsko trošenje tubinga i klipnih šipki

Drugi tip pukotina na tubingu javlja se zbog rupica uzrokovanih korozijom (tzv. rupičasta korozija), koja može biti osobito intenzivna ako slojni fluid koji se crpi sadrži ugljikov dioksid (CO_2) i sumporovodik te veći postotak slojne vode (Zelić i Čikeš, 2006). Korozija, u kombinaciji s mehaničkim trošenjem, može biti mnogo štetnija nego zasebno djelovanje korozije ili zasebno djelovanje mehaničkog trošenja. To je zbog toga što prilikom kontakta spojnice klipnih šipki s površinom tubinga dolazi do odstranjivanja produkata korozije koji bi usporili ili spriječili nastavak korozije. Međutim, njihovim odstranjivanjem s površine, omogućuje se daljnji nastavak procesa, a time i sve brže odvijanje reakcije i ubrzavanje korozije što se nadalje manifestira u obliku pojave rupica na unutarnjoj površini tubinga (McCaslin, 1987; Zelić i Čikeš, 2006) (slika 3-8). Navedene rupice uzrokovane korozijom nastaju kombiniranim djelovanjem spojnice klipnih šipki i nedostatkom ispravnog tretiranja bušotina inhibitorima korozije. Oštećenja se ne mogu spriječiti sanacijom samo jednog uzroka npr. promjenom kemijskog tretmana u bušotini (ako tretman postoji za tu bušotinu), već se istražuje zašto je do korozije došlo tj. zašto inhibitori nisu djelovali (Hart, 2003). Ako do korozije dolazi na cijeloj unutrašnjoj površini tubinga, to se

manifestira u obliku brazdi uzrokovanih korozijom na vanjskoj ili unutarnjoj površini tubinga (slika 3-9). To je naznaka da je potrebno poboljšati program tretiranja bušotine inhibitorima korozije što podrazumijeva ili promjenu vrste inhibitora ili učestalijim tretiranjem bušotine inhibitorima (Hart, 2003).

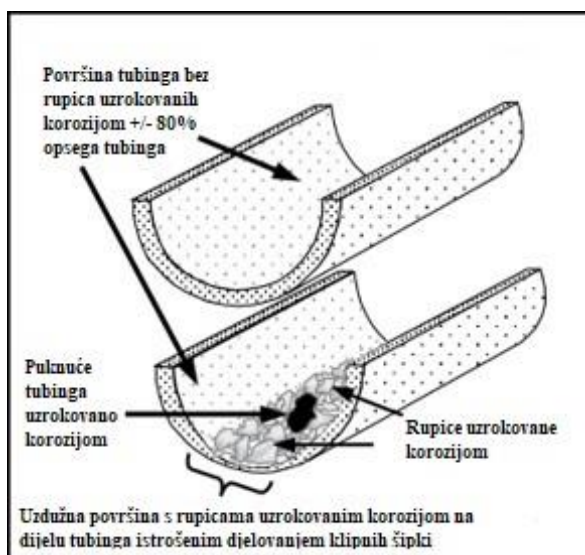


Slika 3-8. Slika oštećenja tubinga nastalih korozijskim trošenjem (www.offshore-mag.com, 31.3.2020.)



Slika 3-9. Djelovanje korozije na unutarnju stijenku tubinga (Hart, 2003)

Ako se korozija unutar tubinga pojavljuje samo na 20% unutarnje površine tubinga gdje spojnica klipnih šipki dolazi u kontakt s tubingom, tada je riječ o spomenutoj kombinaciji korozijskog i mehaničkog trošenja koroziji (slika 3-10).



Slika 3-10. Puknuće uslijed korozivnog djelovanja na istrošenom dijelu tubinga (Hart, 2003)

Kako je već ranije spomenuto, do ovog oblika trošenja dolazi uslijed struganja spojnice ili tijela klipnih šipki o unutarnju stijenku tubinga, čime se fizički odstranjuje inhibitor te izlažu nezaštićene površine unutarnje stijenke tubinga djelovanju korozivnih medija. Tijekom trošenja dijela tubinga u kontaktu sa spojnica, površina koja je pod utjecajem bočne sile niza klipnih šipki se smanjuje pa se time povećava stopa trošenja po kvadratnom centimetru. To znači da dolazi do povećanja stope oštećenja tubinga uzrokovanih trošenjem, koje izgledaju kao rascjep na tubingu. Proces mehaničkog trošenja ubrzava stopu nastanka korozije čija područja djelovanja izgledaju kao ubrazdana područja s rupicama u tubingu. Ovaj tip oštećenja teže je primijetiti jer do njega uglavnom dolazi s unutarnje strane tubinga, dok se na vanjskoj strani može primijetiti samo otvor na tijelu tubinga uzrokovan korozijom. Da bi se utvrdio uzrok nastanka oštećenja najčešće se mora provesti inspekcije unutarnje površine tubinga. Vizualnim pregledom moguće je utvrditi oštećenja ako je otvor nastao blizu jednog od krajeva tubinga sa spojnica ili ukoliko je tubing odrezan blizu mjesta nastanka otvora ili ako je tubing odrezan uzdužno. Nažalost, otvori na tijelu tubinga uzrokovani korozijom često se pripisuju neadekvatnom tretiranju kemijskim inhibitorima korozije, dok je problem ustvari nastao kao posljedica kombinacije prvo mehaničkog, a potom korozijskog trošenja tubinga (Hart, 2003).

Korozijsko trošenje je uglavnom teško razlikovati od mehaničkog trošenja ako se ne obraća pozornost na točan uzrok. Jedan od način da se razlikuje pojedini tip trošenja na konkretnoj bušotini ili polju, je analizom učestalosti pojave oštećenja kao funkciju udjela

vode u bušotini. Obično će korozijsko trošenje postati izraženije pri visokom udjelu vode u bušotini, dok će mehaničko trošenje biti prisutno kod bilo kojeg udjela vode u bušotini (McCaslin, 1987).

Još jedan način razlikovanja korozijskog od mehaničkog trošenja je proučavanjem čestica u slojnom fluidu pridobivenom iz bušotine. Kod bušotina s problemom korozijskog trošenja za očekivati je da pridobiveni slojni fluid na površini sadrži produkte koji se dobivaju korozijom. Produkti koji se pojavljuju kod ovakvih procesa su željezov (II) sulfid (FeS), željezov (III) karbonat (FeCO_3) ili željezov oksid, dok će bušotina kod koje dolazi samo do mehaničkog trošenja sadržavati samo krhotine ostruganog čelika (Hart, 2003).

Još jedno zanimljivo zapažanje uočeno prilikom korištenja tubinga kvalitete J-55 i spojnica klipnih šipki T klase, je da će korozijsko trošenje imati kao posljedicu probijanje tubinga, dok će mehaničko trošenje za posljedicu imati oštećenje na nizu klipnih šipki. Ova pojava je vjerojatno rezultat većeg udjela legura u materijalu za izradu spojnica klipnih šipki, a rezultira time da je veća otpornost spojnica na koroziju naspram samog tubinga. Međutim, ovo pravilo možda ne vrijedi za sve API vrste spojnica T klase koje se nalaze na tržištu, jer kemijski sadržaj materijala za izradu spojnica nije specificiran prema API-u, a otpornost na korozivno trošenje različita je od proizvođača do proizvođača (McCaslin, 1987).

3.5. Pregled i zamjena oštećenog tubinga

Za vrijeme remonta bušotine, provodi se između ostalog i pregled tubinga, odnosno utvrđuje se količina metala poprečnog presjeka tubinga izgubljenog trošenjem uslijed kontakta s nizom klipnih šipki i korozijskim trošenjem. Pregledom tubinga utvrđuje se karakteristični razmjer i oblik trošenja tubinga kao rezultat primjene pojedinog dizajna niza klipnih šipki ili centralizera na njima (Clarke i Malone, 2016). Zamjenom jednog po jednog tubinga ili ispitavanjem niza tubinga pod tlakom ostavlja rizik od vraćanja istrošenog i neadekvatnog tubinga u bušotinu.

Zamjene oštećenog tubinga uključuje zamjenu tubinga koji ima gubitak stijenke veći od 30% od prvotne (nominalne) debljine stijenke. Zatim zamjena tubinga ispod i iznad spojnice klipnih šipki koju je potrebno zamijeniti. Na mjestu zamijenjenog tubinga stavlja se novi tubing ili već rabljeni tubing sa žutom trakom (intermountainpipe.com, 26.2.2020.) koja označava da je tubing koji se namjerava ugraditi prethodno korišten na drugim bušotinama, te da mu je debljina stijenke smanjena do 15% u odnosu na početnu debljinu stijenke kod novog tubinga (Clarke i Malone, 2016).

Tehnologija i oprema koja se koristi za inspekciju tubinga direktna je odgovorna za kvalitetu dobivenih podataka i za odluku kod kojeg komada tubinga će doći do zamjene. Oprema slabije kvalitete očitava samo radijalni gubitak unutarnje površine tubinga, koje je obično uzrokovano korozijskim trošenjem. Ukoliko je to moguće, potrebno je koristiti opremu koja detektira radijalna i longitudinalna oštećenja u tubingu. Longitudinalna oštećenja najčešće se pripisuju mehaničkom trošenju unutarnje stijenke tubinga uslijed djelovanja spojnice klipnih šipki (Clarke i Malone, 2016). Opremu koja se koristi za inspekciju tubinga potrebno je prije upotrebe kalibrirati za određeni promjer tubinga koji se skenira. Uređaj se postavlja na ušće bušotine te se tubing pregledava odmah po izlasku iz bušotine, a skenirani podaci se šalju na računalo (slika 3-11). Za inspekciju su najčešće zadužena dvojica radnik. Jedan je zadužen za pregledavanje prikupljenih podataka te na temelju njih sugerira drugom radniku koje komade tubinga treba izbaciti iz niza tubinga (www.newtechsystems.com, 24.3.2020.).



Slika 3-11. Uređaj za inspekciju tubinga prilikom njegovog izvlačenja iz bušotine na površinu (www.newtechsystems.com, 24.3.2020.)

U istraživanjima Clarke-a i Malone-a (2016.) na polju Eagle Ford prosječni radni vijek tubinga bez pojave oštećenje iznosio je 346 dana. Tubing s radnim vijekom koji je znatno manji od navedenog razdoblja obično je bio u kontaktu s klipnim šipkama bez centralizera ili je spušten natrag u bušotinu bez inspekcije tijekom zadnjeg remonta. Dakako, klipne šipke bez centralizera neće uvijek prouzrokovati oštećenje u tubingu, ali se može doći do korelacije koja opisuje nastajanje istih. (Clarke i Malone, 2016).

4. ROTATORI TUBINGA

Uzimajući u obzir prethodno navedena oštećenja koja potencijalno mogu oštetiti ili smanjiti vijek trajanja tubing ili klipnih šipki, u bušotinu se ugrađuje rotator tubinga. Dok pojam rotatora tubinga uglavnom asocira na površinske uređaje vezane uz ušće bušotine, u biti taj pojam sačinjava kombinacija površinske i dubinske komponente koji tvore jednu cjelinu u kojoj površinska komponenta ne može djelovati bez dubinske i obrnuto.

4.1. Konstrukcija i način djelovanja rotatora tubinga

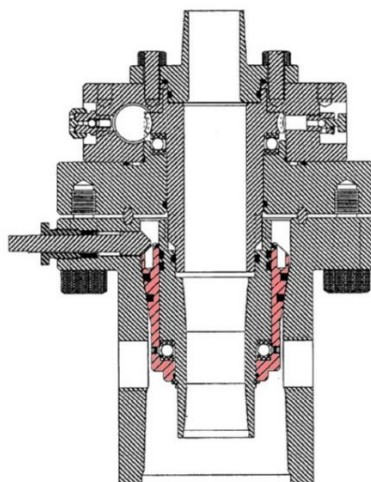
Rotator tubinga postavlja se na bušotinu opremljenu sustavom za mehanizirano podizanje kapljevine pomoću klipne sisaljke, kako bi produljio vremenski period bez oštećenja tubinga i klipnih šipki. Drugim riječima cilj je njegovim postavljanjem spriječiti probleme uzrokovane trošenjem. U sustavu bez rotatora tubinga, umjesto da dolazi do trošenja svih 360° unutarnjeg opsega tubinga, troši se mali dio unutarnje površine tubinga, a ostatak tubinga ostaje neoštećen. Kad bi se tubing mogao okretati, trošenje tubinga uzrokovano kontaktom s nizom klipnih šipki bilo bi raspoređeno po cijeloj unutarnjoj površini tubinga (Lacy, 1992). Osim toga, rotatori imaju za cilj i smanjenje korozijskog trošenja koje je također objašnjeno u prijašnjim poglavljima kao i mehaničko trošenje. Još jedan bitan faktor je cijena ugradnje rotatora tubinga, koja mora biti manja od prosječne cijene popravka oštećenja na tubingu. Drugim riječima, suma nabavne cijene i cijene ugradnje rotatora tubinga na ušće bušotine, mora biti manja od cijene izvlačenja cijelog niza tubinga na površinu i zamjene oštećenih komada tubinga s novim. Također, vrijeme potrebno za ugradnju bitan je faktor, jer što je bušotina duže izvan pogona, cijena ugradnje je skuplja. Dizajn rotatora tubinga mora biti jednostavan kako bi popravak bio što lakši, a korišteni materijali moraju biti lako dostupni. Jednom kada je rotator tubinga postavljen na odgovarajuće mjesto, potrebna je konstantna provjera kako bi se ustanovilo obavlja li rotator tubinga svoju funkciju za koju je i postavljen (Hart, 2003).

Prilikom postavljanja rotatora tubinga, bitno je obratiti pozornost na dvije komponente rotatora, koje imaju zasebne uloge prilikom rotacije tubinga, ali djeluju kao jedna cjelina (pjoperating.com, 10.12.2019.). Prva komponenta je kućište rotatora (slika 4-1), a druga vješalica tubinga koja ostaje kao zasebna cjelina u bušotinskoj glavi (slika 4-2). Za postavljanje rotatora tubinga, prvo je potrebno zamijeniti postojeću vješalicu tubinga s rotirajućom vješalicom tubinga koja omogućava njegovu rotaciju (Lacy, 1992). Donja prirubnica rotatora tubinga (ukoliko se spajanje odvija preko prirubnice), mora biti spojena

na glavu bušotine koja preuzima cijelo opterećenje rotatora (www.freepatentsonline.com, 10.12.2019.).



Slika 4-1. Kućište rotatora tubinga (eotools.com/products, 10.12.2019.)



Slika 4-2. Vješalica tubinga postavljena unutar bušotinske glave (označeno crveno) koja omogućava njegovu rotaciju (patents.google.com/patent/US6834717, 11.12.2019.)

Postoje više mehanizma djelovanja rotatora tubinga. Najjednostavniji način je ručno okretanje od strane radnika. Takav rotator dizajniran je tako da ga jedan radnik može sam lako zarotirati koristeći ručni alat (slika 4-3). Ako se u bušotinu utiskuju kemijski inhibitori korozije, potrebno je prvo zarotirati tubing pa zatim tretirati bušotinu inhibitorima. Takva procedura osigurat će da se inhibitori prime na unutarnju stijenku tubinga gdje je prethodno došlo do oštećenja uslijed djelovanja klipnih šipki i spojnica klipnih šipki. S druge strane, ako se bušotina prvo tretira kemijskim inhibitorima, onda dio tubinga neće dobiti zaštitni

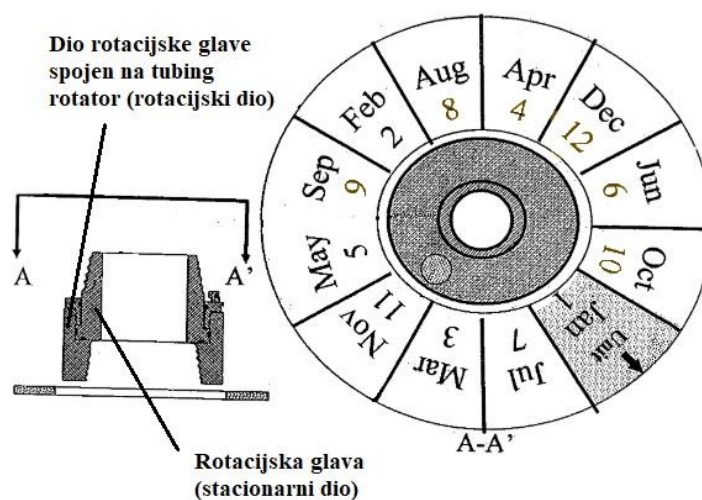
sloj inhibitora jer će se isti sastrugati djelovanjem niza klipnih šipki. Upravo u tome je prednost ručno pokretanih rotatora tubinga naspram onih automatskog djelovanja. Kod automatski pokretanih rotatora, nakon tretmana kemijskim inhibitorima korozije, niz klipnih šipki uspije sastrugati oblog inhibitora u 100% opsega tubinga, što ne pridonosi smanjenju nastanka oštećenja uslijed korozije kao što to čine ručno pokretani rotatori tubinga. Stoga automatski pokretani rotatori, koji koštaju i do 300% više od ručnih, mogu biti manje isplativi u bušotinama koje se tretiraju inhibitorima korozije (www.omega1technologies.com/TSRBrochure, 10.12.2019.).



Slika 4-3. Rotator tubinga pokretan ručno (www.alibaba.com, 31.3.2020.)

Rotator bi trebao imati oznaku ili tzv. pokazivače koji bi pokazivali je li tubing u toj bušotini rotiran (slika 4-4). Pokazivači se obično nalaze na rotacijskoj glavi ili vretenu, a pomiču se s obzirom na kartu rotacije, koju radnik nosi sa sobom. Na karti se nalaze brojevi i mjeseci koji pokazuju u kojem smjeru pokazivač mora biti okrenut nakon rotacije. Karta se postavlja da oznaka na karti (crna strelica) bude usmjerena prema površinskom dijelu sustava (www.omega1technologies.com/TSRBrochure, 10.12.2019.). Također, uporaba karte omogućuje osobi odgovornoj za nadzor da prekontrolira bušotine tj. da provjeri je li na toj bušotini obavljena rotacija tubinga ili ne. Pokazivač se pokreće zajedno s tubingom i pokazuje drugu poziciju svaki mjesec (ili neki drugi period za koji se smatra da je adekvatan). Neki operatori preferiraju da se jednostavno okrene za 90° svaki mjesec (Hart,

2003), obično se pomiče na tjednoj ili dnevnoj bazi. Upotreba ručno pokretanih rotatora tubinga najčešća je kod vijčanih sisaljki (eotools.com/index.php, 10.12.2019.).



Slika 4-4. Pokazivačka karta koja pokazuje je li tubing rotiran i za koliko se treba okrenuti kod sljedeće rotacije (patents.google.com/patent/US20050230099A1, 11.12.2019.)

Mehanički način pokretanja rotatora tubinga najčešći je kod dubinskih klipnih sisaljki (eotools.com/index.php, 10.12.2019.). Kod mehaničke rotacije tubing je pokretan direktno kretanjem pomične motke njihalice, bez ikakve vanjskog izvora napajanja. Pomična motka obično je spojena metalnim užetom na ručku koja pokreće mehanizam za rotaciju tubinga. Ručka djeluje na istom principu kao i nasadni ključ, odnosno omogućuje rotaciju samo u jednom smjeru, dok se u drugom zaustavlja (www.freepatentsonline.com, 10.12.2019.). Kod ugradnje nekih rotatora potrebno je odrediti udaljenost od ručke rotatora tubinga do pomične motke, jer taj limitirajući faktor zna biti odlučujući za uspješnu ugradnju određenih vrsta rotatora (Hart, 2003).



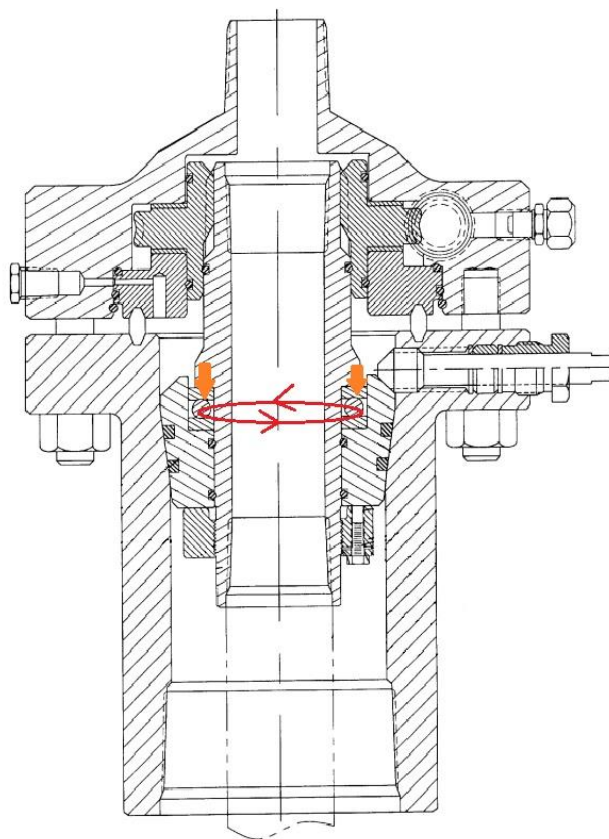
Slika 4-5. Mehanički rotator tubinga (www.youtube.com, 10.12.2019.)

Okretanje tubinga pomoću vanjskog elektromotorom koriste se kod vijčanih sisaljki koje imaju površinski, električno pogonjeni sustav. Prema podacima kompanije Most Oil, elektromotori koji okreću tubing raspoloživi su u varijantama 12 V, 110 V, 230/460 V napona. Postoji i varijanta elektromotora 220 V, koji ima protueksplozijsku zaštitu (eotools.com/index.php, 10.12.2019.). Ovakve vrste rotatora tubinga mogu podnijeti opterećenja od 142,43 kN dok je rotator u dinamičkom stanju rada tj. dok je brzina okretaja veća od 1 okretaja po danu (OPD). Sve ispod navedene brzine tj. manje od 1 OPD podrazumijeva da je rotator u statičkom stanju rada te je u tom slučaju dozvoljeno opterećenje od 560,48 kN. Dozvoljeni radni tlakovi kod ovakvih rotatora tubinga varira od 13 790 kPa do 34 475 kPa te uvelike ovise od promjeru bušotine na koju se montiraju (mostoil.com, 20.1.2020.). Važno je napomenuti da je svaki rotator tubinga dizajniran na posebni zupčanički prijenos, odnosno omjer broja okretaja pogonskog zupčanika (drugim riječima pogonske osovine motora) potrebnih da bi se ostvario jedan okretaj glavnog zupčanika. Ti odnosi mogu varirati od 80:1 pa do 135:1 što primarno ovisi o proizvođaču (Lacy, 1992).



Slika 4-6. Električno pogonjeni rotator tubinga (mostoil.com, 20.1.2020.)

Rotator tubinga mora biti u mogućnosti podržavati težinu cijelog niza tubinga sustavom ležajeva koji istovremeno omogućavaju i njegovu rotaciju. Ležaj rotacijskog vretena preuzima cijelu težinu tubinga, koja se dalje prenosi na kućište rotatora odnosno s kućišta dalje na bušotinsku glavu preko prirubnice. Težina koju ležaj može podnijeti razlikuje se od proizvođača do proizvođača, te dodatnim tehničkim zahtjevima koje mora ispunjavati s obzirom na stanje u bušotini, kao i o promjeru prirubnice preko koje se spaja na glavu bušotine. Prema podacima kompanije National Oilwell Varco, dozvoljeno opterećenje na njihovim rotatorima tubinga može varirati od 30 000 kg za osnovni modeli pa sve do 92 700 kg opterećenja za modele dizajnirane za temperature od 343°C) (pjooperating.com, 10.12.2019.). Sustav je pogonjen zupčanicom, s dovoljno redukcijom kako bi ga se moglo pogoniti sustav s malim momentom torzije. U većini konstrukcija rotatora tubinga, u sredini se nalazi vreteno na koje se spaja tubing. Kako bi se omogućila bolja rotacija, u nekim konstrukcijama rotatorima je na gornjem dijelu dodana rotacijska glava, koja djeluje kao spojница između vretena koje rotira zajedno s tuningom ispod i stacionarnog komada "T" cijevi iznad (Hart, 2003). Velik broj današnjih proizvođača rotatora tubinga odbacilo je rotacijsku glavu kao sponu T-cijevi bušotinske glave i rotatora tubinga. U takvoj konstrukciji se T-cijev spaja direktno prirubnicom na vrh kućišta rotatora, a vreteno rotatora se brtvi u kućištu rotatora tj. ne izlazi izvan gornje prirubnice rotatora. Vreteno je izrađeno s ramenom koji mu omogućuje prenošenje težine niza tubinga s vretena na kuglični ležaj unutar kućišta (slika 4-7) koji apsorbira opterećenje i prenosi rotaciju. Kako bi se osigurala hermetičnost sustava te spriječilo bila kakva komunikacija između tubinga i prstenastog prostora kanala bušotine, ili komunikacija s okolinom u sustavu se nalazi više različitih brtvi (www.freepatentsonline.com, 10.12.2019.).

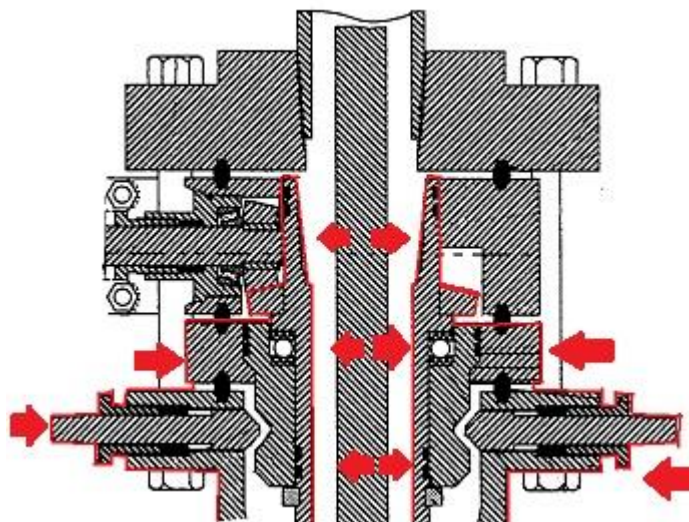


Slika 4-7. Prikaz dijela nasjedanja ramena vretena na ležaj
(patents.google.com/patent/US6543533, 11.12.2019.)

Kod postupaka održavanja bušotine, gdje je potrebno iz bušotine izvući proizvodnu opremu (konkretnije niz klipnih šipki, dubinsku sisaljku, niz tubinga itd.), svako pomicanje niza tubinga tijekom postupka održavanja bušotine, potencijalno može izazvati erupciju. Za rješavanje tog problema postoji nekoliko rješenja, ovisno o odabiranom proizvođaču rotatora tubinga. Kako bi se preventivno zaštitilo od potencijalne erupcije, dio bušotinske glave iznad zaštitnih cijevi se odstranjuje, a ugrađuje se preventer. Tek nakon njegove instalacije, kroz preventer je moguće izvući vješalicu tubingu zajedno s tubingom. Rotator tubinga, koji je montiran na prirubnicu eksploatacijske kolone zaštitnih cijevi onemogućava ranije spomenuti način direktnog spajanja preventera na prirubnicu eksploatacijske kolone. A s obzirom na to da rotator prekriva istu površinu prirubnice koju pokriva i preventer potrebno ga je cijelog izvaditi. Pomicanje takvih rotatora, zahtjeva i pomicanje niza tubinga, što dovodi do opasne situacije koja može imati za posljedicu erupciju (www.freepatentsonline.com, 10.12.2019.). S obzirom na to da je preventer nužno montirati na prirubnicu zaštitne cijevi, vješalica u sklopu rotatora tubinga mora biti kompatibilna s unutarnjom površinom prirubnice zaštitnih cijevi, kako bi mogla odsjedati unutar nje te

ostaviti prostor iznad bušotinske glave slobodan za instaliranje preventera. Nakon što se preventer instalira vješalica tubinga može se nesmetano izvući kroz otvor preventera (patents.google.com/patent/US20050230099A1, 11.12.2019.). Problem može nastati kod vješalica u sklopu rotatora tubinga koje nemaju kompatibilnu veličinu i oblik da se montiraju na određenu vrstu bušotinske glave (www.freepatentsonline.com, 10.12.2019.).

S druge strane, neke vrste rotatora normalno se postavljaju na vrhu prirubnice eksploatacijske kolone zaštitnih cijevi. Kad treba doći do remonta bušotine, samo jedan dio sklopa rotatora se uklanja (slika 4-8), a ostatak ostaje (dio koji ostaje označen je crvenom bojom na slici 4-8.). Oko dijela koji je ostao, montira se preventer te se nakon njegove ugradnje, dio rotatora tubinga zajedno s nizom tubinga izvlači kroz otvor u preventeru (www.freepatentsonline.com, 10.12.2019.).

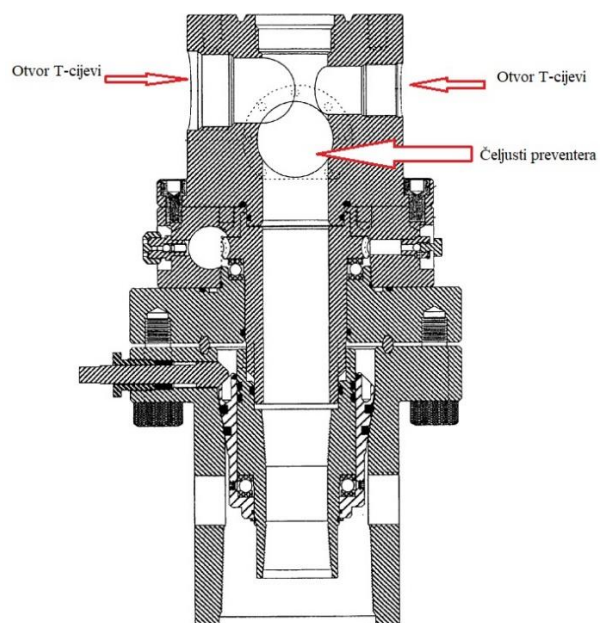


Slika 4-8. Dvodjelni rotator tubinga koji omogućava prigradnju preventera na prirubnicu eksploatacijske kolone zaštitnih cijevi (www.freepatentsonline.com, 10.12.2019.)

U današnje vrijeme, većina proizvođača, uz svoje klasične modele rotatora tubinga, nude i modele s već ugrađenim preventerima (pjoperating.com, 10.12.2019.) (slika 4-9) ili u ponudi rotatora tubinga nude i svoje preventere koji se relativno lako mogu instalirati na iste modele ili preventeri dolaze s dvojnomo funkcijom, odnosno preventer i cijevni T-komad čine jedan sklop (slika 4-10) (patents.google.com/patent/US6834717, 11.12.2019.).



Slika 4-9. Rotator tubinga s već ugrađenim preventerom (pjoperating.com, 10.12.2019.)



Slika 4-10. Rotator tubinga s modulom dvojne funkcije prevetera i cijevnog T komada (patents.google.com/patent/US6834717, 11.12.2019.)

Nadalje, ako u bušotini iz bilo kojeg razloga dođe do zaglave tubinga (uslijed npr. taloženja pijeska ili parafina), može doći do velikih oštećenja na spojnicama niza. Također oštećenja se pritom javljaju i na rotatoru tubinga i njegovim pripadajućim mehaničkim dijelovima zbog javljanja povećane torzije u sustavu, što dodatno povećava silu potrebnu za njegovu rotaciju. Zbog toga je preporučljivo da se u sklopu opreme nalazi limitator momenta torzije, koji je u novijim rotatorima tubinga standardni dio opreme (eotools.com/products, 10.12.2019.). Pomoću limitatora operateri mogu podesiti maksimalni moment torzije na koji žele namjestiti rotator. Limiter je smješten između pogonske osovine s jedne strane te prvog pužastog zupčanika s druge strane te ga je moguće podesiti da se aktivira kada dođe do prethodno određenog momenta torzije. Time ograničava okretni moment koji bi mogao naštetiti osovini, zupčanicima, tubingu i ostalim komponentama ako dođe do zaglave tubinga (www.freepatentsonline.com, 10.12.2019.).

4.2. Dubinska oprema rotatora tubinga

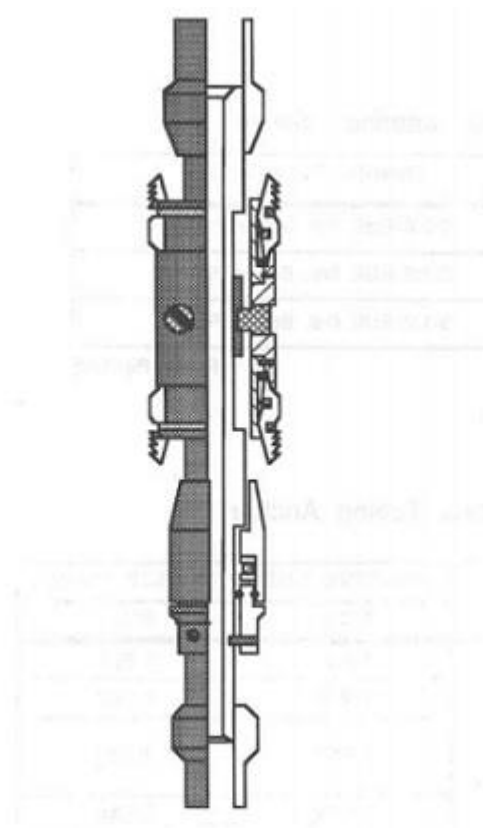
Prvotno, rotatori tubinga osmišljeni su za rotaciju niza tubinga u bušotinama bez sidrenih pakera (Lacy, 1992). Međutim, nesidrenje niza tubinga pomoću sidrenog pakera nosi sa sobom cijeli niz problema poput trošenja klipnih šipki, tubinga i zaštitnih cijevi, smanjenja efektivne duljine hoda klipa. Također, dolazilo je do problema povećanih troškova za pogonjenje sustava, odnosno povećane potrebe za energijom nužnom za pogon sustava (www.upstreampumping.com/article/tubing-anchor-catcher, 20.1.2020.). Stoga je osmišljen rotator koji omogućava tubingu da se rotira i kad je tubing pod nategom. (Lacy, 1992). Imajući na umu takve zahtjeve, izumljene su dvije dubinske alatke.

Prva dizajnirana alatka radila je na principu rotacijske glave, te je osmišljena kako bi se ugradila u sklopu sidrenog pakera. U sklopu alatke se nalazila "J" brava, sustav ležajeva i komplet elastomernih brtvi. (Lacy, 1992). Brtve omogućuju instalaciju rotacijske glave u prijelazu za odlaganje, odnosno debelostjenoj kratkoj cijevi koja ima strojno obrađenu unutarnju površinu koja omogućuje brtvljenje prostora oko rotacijske glave. "J" brava ima radni položaj i rotacijski položaj. Radni položaj omogućuje da se moment torzije prenese kroz rotacijsku glavu kako bi se ili aktivirao ili oslobodio sidreni paker. Rotacijski položaj aktivira ležajeve u sidrenom pakeru i omogućuje stavljanje tubinga pod nateg. (Lacy, 1992) (slika 4-11).



Slika 4-11. Rotacijska glava (pjoperating.com, 10.12.2019.)

Nakon dubinske rotacijske glave izumljen je rotacijski sidreni paker (slika 4-12). U sklopu njega, vreteno se moglo rotirati dok je tubing bio pod nategom. Alatka je uključivala "C" bravu i sustav ležaja, zajedno s posmičnim otpuštanjem u slučaju potrebe. Prednost ovakvih vrsti alatke što omogućuju rotaciju cijelo niza tubinga, uključujući i dijelova u produžnoj cijevi ispod pakera, dubinskog odvajača plina i već prethodno spomenutog prijelaza za odlaganje. Ovo je značajna prednost naspram sustava dubinske rotacijske glave, kada je potrebno radi uvjeta u bušotini postaviti dugu produžnu cijev ispod pakera. Također, rotacijskom sidrenom pakeru nisu potrebno brtve koji bi se naposljetku istrošile i omogućile propuštanje (Lacy, 1992).



Slika 4-12. Rotacijski sidreni paker (Lacy, 1992)

Tijekom ugradnje, prvo se sidreni paker se spušta ispod planiranog mjesta ugradnje te se aktivira, nakon čega se tubing stavlja pod nateg i ugrađuje vješalice tubinga. Tijekom ugradbe vješalice, tubing je moguće osigurati ugradbom klinova, kako bi se spriječio vertikalni pomak tubinga (patents.google.com/patent/US6834717, 11.12.2019.).

5. DODATNA OPREMA KOJOM SE PRODULJUJE VIJEKA TRAJANJA KLIPNIH ŠIPKI I TUBINGA

Uz upotrebu rotatora tubinga, nije neuobičajena uporaba i drugih metoda sprječavanja trošenja klipnih šipki i tubinga, najčešće se radi o centralizerima klipnih šipki i rotatorima klipnih šipki. U svrhu maksimaliziranja dobrih rezultata produljenja vijeka trajanja tubinga i klipnih šipki, spomenute druge metode znaju se koristiti u kombinaciji s rotatorima tubinga, iako mogu biti u upotrebi zasebno, bez instaliranog rotatora tubinga na površini.

5.1. Centralizeri klipnih šipki

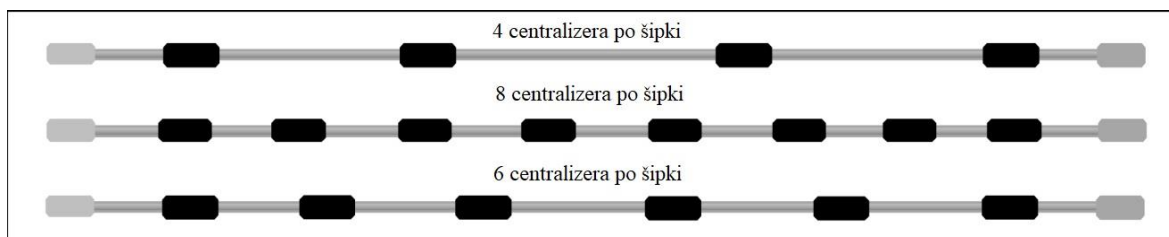
Zbog većeg unutarnjeg promjera tubinga naspram vanjskog promjera klipnih šipki, dolazi do pojave kontaktnog područja prilikom njihove interakcije uslijed recipročnog ili rotacijskog gibanja klipnih šipki. Time se kompletna bočna sila klipnih šipki, oslanja na te male kontaktne površine ili područja. Uvođenjem centralizera (slika 5-1), koje su većeg vanjskog promjera od klipnih šipki, kontaktna površina između njih i tubinga se povećava, a time se bočno opterećenje ravnomjernije raspoređuje unutar tubinga (Hart, 2003). Također, zbog većeg promjera od klipnih šipki, centralizeri sprječavaju njihovu interakciju s tubingom te time smanjuju učestalost pojave oštećenja i troškove koji bi inače nastali popravkom i zamjenom klipnih šipki. Međutim, kontakt metala o metal između centralizera i tubinga naposljetku će ipak uzrokovati trošenje niza tubinga te posljedično njegovo oštećenje (Clarke i Malone, 2016).



Slika 5-1. Centralizeri na klipnim šipkama (www.nov.com, 31.3.2020.)

Količina zaštite koju jedan centralizer može priskrbiti prvenstveno ovisi o volumenu rebara centralizera koji može biti potrošen u interakciji s tubingom. To je volumen koji je dostupan za eroziju, sve do granice kada dolazi do kontakta metala o metal. Drugim riječima to je volumen materijala na centralizeru koji se nalazi na promjeru većem od vanjskog promjera spojnice klipnih šipki (Clemens et al., 2018). Podrazumijeva se da niti jedna bušotina nije savršeno vertikalna, pa je stoga i za pretpostaviti da niz klipnih šipki uvijek ima tendenciju nasloniti se na unutarnju stijenku tubinga, iako se nastoji da promjer centralizera i unutarnji promjer tubinga bude što bliže. Stoga su, ovisno o vrsti centralizera, uz stijenku tubinga uvijek prislonjena dva od četiri rebra centralizera, čime dolazi do trošenja samo tih dvaju dijelova, dok preostala dva rebra ostaju netaknuta na suprotnoj strani. Upravo zbog takvih razloga, preporučljiva je upotreba rotatora klipnih šipki, čime se raspoređuje trošenje centralizera po cijelom njihovom opsegu te produljuje njihov radni vijek (Clemens et al., 2018).

Na Eagle Ford polju u južnom Texasu, zabilježeno je dosta oštećenja tubinga i klipnih šipki te je na temelju prikupljenih informacija napravljena nova strategija upotrebe centralizera klipnih šipki. Za analizu problema i odabir rasporeda centralizera korišten je računalni program koji ima pristup bazi podataka sa svim prijašnjim oštećenjima u sustavima za prinudno podizanje kapljevine. Pritom se uzima u obzir geometrija bušotine, bočno opterećenje i promjer klipnih šipki, a predlaže se koji tip centralizera je najoptimalniji, gdje ih postaviti te koliko komada po šipki je optimalno. Centralizeri se postavljaju po 4, 6 ili 8 komada po pojedinoj klipnoj šipki (slika 5-2). Većina klipnih šipki je opremljena s 4 komada, dok je postavljanje 6 ili 8 komada preporučeno u dionicama kanala bušotine s velikim bočnim opterećenjima i s velikom promjenom zakrivljenosti kanala bušotine. Kod slučaja gdje se postavlja 8 centralizera, moguće ih je postaviti ravnomjerno po dužini klipne šipke. Međutim, mogući je i alternativni razmještaj u stilu grupiranja dva po dva centralizera ravnomjerno raspoređenih po cijeloj duljini klipne šipke. Ovakvim rasporedom omogućuje se veća zaštita krajevima, odnosno spojnica klipnih šipki (Clarke i Malone, 2016).



Slika 5-2. Broj i raspored centralizera po komadu klipne šipke (Clarke i Malone, 2016)

Duljina centralizera, orijentacija rebara na centralizerima te njihov oblik se također razmatra prije ugradnje u bušotinu. Ponovno je bitan volumen centralizera koji se može istrošiti prije nego dođe do kontakta spojnice klipne šipke i tubing te se taj volumen razmatra prije ugradbe. Činjenica je da centralizeri postavljeni na klipne šipke većeg promjera imaju manji volumen koji se može istrošiti zbog manje zračnosti između spojnica klipnih šipki i tubinga. Iz tog razloga klipne šipke promjera 1,9 cm s 4 centralizera imaju veći volumen centralizera koji se može istrošiti od npr. klipne šipke 2,54 cm s također 4 centralizera (Clarke i Malone, 2016).

Centralizeri se mogu podijeliti na centralizere koje su napravljeni lijevanjem u sklopu izrade klipnih šipki u tvornici pa se zatim u gotovom stanju prenose na bušotinu te na centralizere koji se pričvršćuju na klipne šipke od strane radnika na bušotini. Kako je već prethodno spomenuto, najčešće imaju četiri rebra, ravnomjerno raspoređena oko vertikalne osi. Mogu biti konkavnog oblika, čija je odlika da imaju znatno veći volumen raspoloživ za trošenje. Nasuprot tome, postoje oni konveksnog oblika koji imaju manje potrošne površine, ali osiguravaju veću površinu za protok fluida između njih i unutarnje stijenke tubinga (slika 5-3). Također, dostupni su u različitim duljinama i oblicima, te se izrađuju od različitih materijala, a svaki oblik namijenjen je za određene uvjete u bušotini i tip ugrađene dubinske opreme (Clemens et al., 2018). Tako se prilikom odabira centralizera za bušotinu opremljenu vijčanim sisaljka odabiru centralizeri koji će stvarati manji otpor rotaciji niza klipnih šipka u bušotini. Pa tako npr. Weatherford u ponudi ima centralizere sa spiralnim rebrima specifično otklonjenih od vertikale kako bi se omogućila slobodna rotacija te smanjila potrebna snaga pogonskog motora i moment torzije (www.weatherford.com, 31.3.2020.) (slika 5-4).



Slika 5-3. Konkavni (lijevo) i konveksni (desno) centralizeri klipnih šipki (Clemens et al., 2018)



Slika 5-4. Centralizer klipne šipke sa spiralnim rebrima otklonjenima od vertikale posebno namijenjen za bušotine opremljene vijčanim sisaljkama (www.weatherford.com, 31.3.2020.)

Većina centralizera klipnih šipki napravljena je iz polifenilen sulfida (*engl. Polyphenylene sulfide- PPS*), poliakrilamida (*engl. Polyacrylamide - PAA*) i poliamida (*engl. Polyamide – PA*) kao osnovnog polimera. Dok su staklo, aramidna vlakna i ostali aditivi pomiješani s istima, kako bi osigurala veću otpornost na trošenje i čvrstoća (Clemens et al., 2018)

Prethodno su spomenuti centralizeri koji se montiraju od strane radnika na samoj lokaciji bušotine. Jedan primjer za takvu vrstu centralizera su montažni plastični centralizeri. Plastični centralizeri mogu biti montirani bilo gdje na nizu klipnih šipki osim spojnice. Kompanija Husky oil testirala je takvu vrstu centralizera na svojoj bušotini u Lloydminsteru. Rezultati su pokazali zanemarivo malo smanjenje oštećenja klipnih šipki, budući da je dosta centralizera iskliznula s postavljenih mjesta unutar 14 dana (Mottram, 1991). Međutim Clarke i Malone, (2016.), ističu da neki centralizeri imaju problem slabije kvalitete izrade, što je uzrokovalo brzu dotrajalosti, napuknuće ili gubitka cijelog ili dijela centralizera s klipnih šipki, a što je za posljedicu imalo nekoliko neplaniranih remonata bušotina.

Uporabom kliznih centralizera na klipnim šipkama moguće je i sprječavanje problema izvijanja niza tubinga, jer u velikoj mjeri smanjuje trenje između niza klipnih šipki i niza tubinga. Međutim, uporabom centralizera ne smanjuju se oštećenja uslijed korozivnog trošenja tubinga, jer se njihovim gibanjem po stijenci tubinga odnosi izdvojeni inhibitor korozije (Hart, 2003).

5.2. Rotatori klipnih šipki

Kako je u prijašnjim poglavljima i navedeno, rotatori klipnih šipki rotacijom povećavaju njihovu površinu koja je izložena trošenju. Pa će se tako tijelo šipki i spojnice nastaviti trošiti, ali će se površina tijela klipnih šipki i spojnice ravnomjerno trošiti. S druge

strane, spojnice klipnih šipki će se zbog toga prebrzo istrošiti te će trošiti manju površinu na unutarnjoj stijenci tubinga kroz dulji period vremena. Time će se teoretski povećati stopa trošenja tubinga, naspram sustava u kojem se rotatori klipnih šipki ne koriste (Hart, 2003). Stoga se u ovakvim situacijama uz rotator klipnih šipki koriste i centralizeri kako bi napravio odmak od stijenki tubinga, a ako je to moguće i rotator tubinga kako bi se, ako dođe do kontakta to trošenje rasporedilo ravnomjerno po cijelom opsegu tubinga.

Rotator klipnih šipki postavlja se na glatkoj šipki između jarma i obujmice glatke šipke. Kako bi rotator okretao niz klipnih šipki, ugrađen je rotacijski mehanizam koji je spojen metalnim užetom na pomičnu motku njihalice. Recipročnim kretanjem pomične motke njihalice, metalno uže se naizmjenično povlači i otpušta te time povlači i otpušta ručicu mehanizma za ostvarivanje rotacije niza klipnih šipki (slika 5-5) (production-technology.org/ rod-rotator, 31.3.2020.).

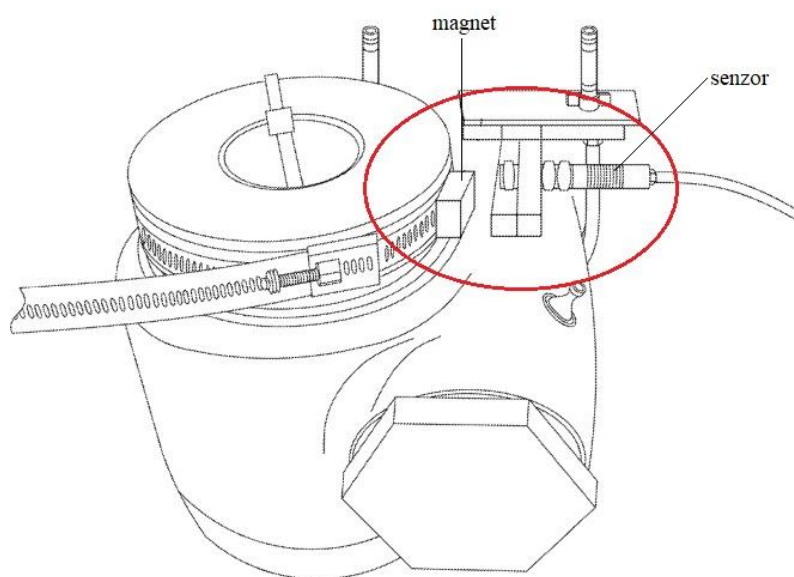
U novije vrijeme, zbog sve više modernih nekonvencionalnih površinskih dijelova sustava za prinudno podizanje kapljevine koji uključuje klipne šipke, instalacija rotatora klipnih šipki postaje sve teža. U nekim situacijama operateri nisu sigurni gdje bi trebali postaviti konvencionalni rotator klipnih šipki na ta takvom nekonvencionalnom dizajnu površinskog sustava, pa se stoga uz rotatore mora instalirati i dodatna oprema jer rotacija klipnih šipki nije inicijalno predviđena. Upotrebom električnog motora kao pokretača rotatora klipnih šipki, umjesto pokretne motke njihalice i metalnog užeta, operateri su u mogućnosti lakše i sigurnije instalirati rotatore na nekonvencionalna postrojenja (www.upstreampumping.com/article/production, 20.1.2020.).



Slika 5-5. Rotator klipnih šipki s mehaničkim rotacijskim mehanizmom
(mivaengineering.ca, 31.3.2020.)

Za razliku od rotatora tubinga koji je fiksno pričvršćen na bušotinsku glavu, rotator klipnih šipki dinamično se kreće gore i dolje, čime se javlja problem kontrole njegova rada. Drugim riječima, kod rotatora može doći do zatajenja ili oštećenja, odnosno može se dogoditi da se ne okreće sa svakim hodom pomične motke njihalice. Kako bi se pratila rotacija glatke šipke, na rotator se postavljaju različite vrste senzora, čiji dizajn ovise o dizajnu rotatora, a ugrađuje ih se po potrebi i ovisno o uvjetima u bušotini. Neki dizajni rotatora uključuju magnete ili više magneta, pri čemu se magneti pričvršćuju oko djela glatke šipke koji rotira, dok se senzor postavlja na statičnom djelu (slika 5-6). Signal koji se očita senzorom dobiva se svaki put kada se magnet na glatkoj šipki poravna s onim na senzoru, što se očitava kao jedan puni okretaj glatke šipke. Oko glatke šipke moguće je postaviti i više senzora, pri čemu bi svaki magnet predstavljao parcijalno okretaj glatke šipke pa tako s 2 magneta, signal bi označavao pola punog okretaja rotatora. Kod nekih dizajna rotatora klipnih šipki moguće je praćenje rotacije niza klipnih šipki preko radijske frekvencije i jednim ili više tiskanih pločica koji šalju informacije radio frekvencijama (engl. *radio-frequency identification – RFID*). Kod nekih rotatora tubinga i povezanog sustava kontrole rotacije niza klipnih šipki dolazi do aktivacije alarma ako ne dolazi do promjene signala ili je ta promjena manja od očekivane. Kontrolni uređaj koji aktivira alarm šalje informacije programskom sustavu koji se nalazi na centraliziranoj lokaciji gdje dolaze i informacije s ostalih bušotina. Informacije se izmjenjuju postojećom radio infrastrukturom, dok neke varijacije dizajna uređaja imaju instalirane programe u opremi kontrolnog uređaja koje određuju je li uređaj operativan te po potrebi odašilju alarm uspoređujući trenutne parametre

rada s unaprijed zadanim parametre od strane operatera (patents.google.com/patent/US9140113B2, 31.3.2020.).



Slika 5-6. Senzori za praćenje rotacije glatke šipke (patents.google.com/patent/US9140113B2, 31.3.2020.)

Kombinirana upotreba rotatora klipnih šipki i centralizera klipnih šipki vrlo je učinkovita prilikom rješavanja problema nataloženog parafina u prostoru između klipnih šipki i tubinga. Rotatori klipnih šipki trebaju biti pomno odabrani, a njihov odabir ovisi o opterećenjima koja se očekuju u bušotini. Ne bi ih se smjelo upotrebljavati ako nije moguća slobodna rotacija niza u bušotini, drugim riječima, ako dođe do zaglave klipnih šipki, odnosno povećanja momenta torzije, dolazi do nakupljanja momenta torzije u klipnim šipkama što stvara opasnost od nagle rotacije klipnih šipki u suprotnom smjeru rotacije, čime može doći do njihovog odvrtanja (production-technology.org/ rod-rotator, 31.3.2020.). Prilikom remonta bušotina na Eagle Ford polju, centralizeri klipnih šipki vizualno su se pregledavali. U gornjim sekcijama niza klipnih šipki, trošenje je bilo ravnomjerno raspoređeno oko klipne šipke. U srednjoj sekciji, tragovi trošenja bili su nejednaki, dok su u najnižoj sekciji centralizeri bili veoma oštećeni, slomljeni ili ih nije bilo jer su otpali u kanalu bušotine. Na temelju toga može se zaključiti da rotatori klipnih šipki nisu efikasni pri rotiranju donjeg dijela niza klipnih šipki u dubljim bušotina. Trenje između zaštitnih cijevi, tubinga i klipnih šipki onemogućuju rotaciju klipnih šipki sve dok ne dođe do akumulacije dovoljnog okretnog momenta. Nakon što se akumulira dovoljan okretni moment dolazi do intenzivne interakcije između centralizera klipnih šipki i tubinga što za

posljedicu ima pojavu mehaničkih oštećenja. Zbog toga se broj hodova pumpe potrebnih za jednu rotaciju niza klipnih šipki mora povećati kako bi se smanjio broj navedenih oblika mehaničkih oštećenja (Clarke i Malone, 2016). Također, rotatore nije preporučljivo koristiti ako se upotrebljavaju klipne šipke od stakloplatike. Eksperimentalno je dokazano da prosječni moment torzije razvijen na rotatorima klipnih šipki nikad ne dosegne dozvoljeni moment torzije čeličnih klipnih šipki, ali isti ostvareni moment torzije može naštetiti stakloplastičnim klipnim šipkama (production-technology.org/rod-rotator, 31.3.2020.).

6. PRIMJERI I REZULTATI UPOTREBE ROTATORA TUBINGA

U početcima primjene ove tehnologije, rotatori tubinga bili su tada još neprovjerena tehnologija te je zbog toga njihova primjena, u početku, bila limitirana na bušotine koje su radile s velikim gubicima uzrokovanih trošenjem klipnih šipki i tubinga, a u kojima alternativne metode za prevenciju trošenja nisu davale rezultate.

6.1. Primjena rotatora tubinga na polju u blizini Carizzo Springs-a Texas)

Prvi funkcionalni model rotatora tubinga instaliran je 23. listopada 1989. na bušotinu blizu Carizzo Springs-a u Texasu. Za to je bilo potrebno prilagoditi navoj na bušotinskoj glavu u prirubnicu kako bi se moglo pričvrstiti kućište rotatora tubinga te nakon toga navrnutu niz tubinga na vješalicu tubinga koja omogućava rotaciju. Uže za pogon rotatora je pričvršćeno na glavu njihalice, baš kao i kod sustava rotatora klipnih šipki. Instalirani rotator rotirao je niz tubinga brzinom od 3 okretaja svakih 24 sata (Lacy, 1992).

Isto operator instalirao je još jedan rotator 5. travnja 1990, na drugu bušotinu također u blizini Carizzo Springs-a, dok je prvi ugrađeni rotator još uvijek bio u upotrebi. Krajem travnja 1990. godine još 6 rotatora tubinga instalirano je na istom polju (Lacy, 1992).

18. svibnja, 1991, operator na razmatranom polju Carizzo Springs-u, obznanio je da je prvi postavljeni rotator smanjio učestalost pojave kvarova uslijed oštećenja tubinga sa 6 mjeseci na 17 mjeseci. Druga ugrađena jedinica rotatora također je smanjila učestalost pojave kvarova dubinske opreme s 4,8 mjeseci na 13 mjeseci. (Lacy, 1992).

Prva ugradnja rotatora rezultirala je uštedom od \$1200 (\$2200 dolara u današnje vrijeme) u prvoj godini po bušotini, s projekcijama uštede za naredne godine od 5 200 \$ (današnjih \$9500) po godini. Drugom ugrađenom jedinica rotatora ostvarena je ušteda \$2120 (današnjih \$3900) u prvoj godini nakon ugradnje, dok su se projekcije uštede u narednim godinama predviđale na razini od \$6320 (današnjih \$11500) po godini. Tadašnja predviđanja operatora za 20 ugrađenih jedinica bila su da će godišnja ušteda zbog smanjenog broja zastoja uslijed oštećenja tubinga iznositi preko \$100 000 (današnjih \$183000) godišnje (Lacy, 1992).

6.2. Primjena rotatora tubinga na naftnom polju u Illinois-u

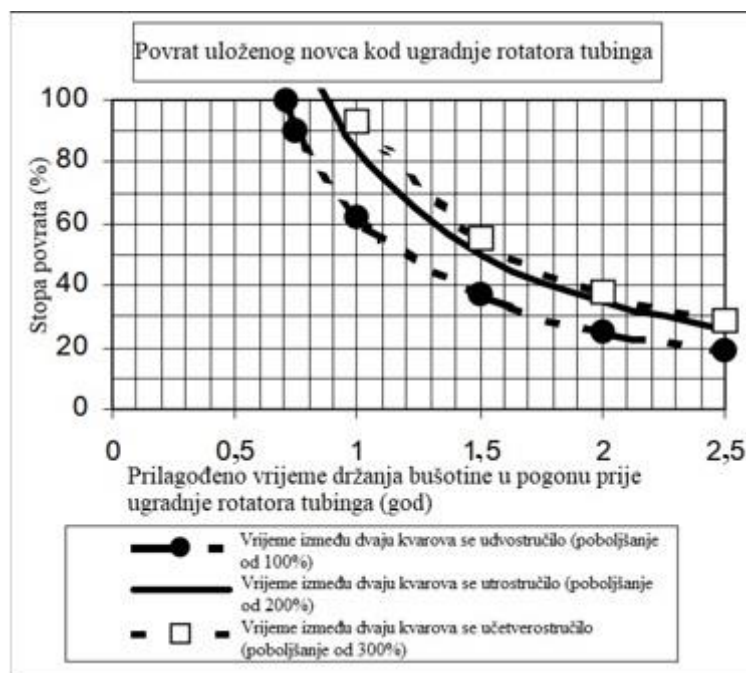
Terensko ispitivanje je obavljeno na naftnom polju s oko 1200 bušotina opremljenih s dubinskim klipnim sisaljka, u cilju smanjenja učestalosti pojave oštećenja dubinske

opreme. Od spomenutih 1200 bušotina, odabrano je onih 25 koje su davale najgore rezultate na kojima je učestalost kvarova bila toliko velika, da bi u nekim slučajevima do oštećenja i kvara, došlo dan nakon puštanja bušotine u pogon.

Na njima su instalirani rotatori tubinga u periodu od 1996. do 1998. (Hart, 2003). Prosječno vrijeme između zastoja rada bušotine uzrokovanog oštećenjem dubinske opreme na bušotini poboljšano je s 1,5 mjeseca na 6,1 mjeseci za sve vrste oštećenja u bušotini, koji nisu samo vezani za trošenje, već obuhvaćaju i oštećenje dijelova klipnih šipki i zaglave klipnih sisaljki ([www.omega1technologies.com/ CaseStudies](http://www.omega1technologies.com/CaseStudies), 10.12.2019.). Broj remontnih radova na 25 razmatranih bušotina smanjio s 203 po godini na 49, što je smanjenje od 76%. Vrijeme između zastoja uslijed oštećenja tubinga uzrokovanih mehaničkim i korozivnim trošenjem poboljšano je s 2,8 mjeseci na 16,2 mjeseca. Broj kvarova dubinske opreme na promatranih 25 bušotina time je smanjen sa 108 na 18 po godini, što čini poboljšanje od 83% (Hart, 2003). Instalirani rotatori tubinga produljili su radni vijek tubinga 4 do 6 puta, a uštede su iznosile od 40% do 100% za bušotine u kojima dođe do oštećenja tubinga barem jednom u dvije godine ([www.omega1technologies.com/ CaseStudies](http://www.omega1technologies.com/CaseStudies), 10.12.2019.).

Ovakvi pozitivni rezultati ostvareni na 25 bušotina, dali su 100% povratna uloženog novca, jer je cijena rotatora i njegove ugradbe bila manja od jednog remonta na bušotini, s time da se u cijenu nije uzelo u obzir uštede zbog manjeg vremena što je bušotina bila izvan pogona. Stoga se dalo zaključiti da su rotatori tubing primjenjivi za svaku prosječnu bušotinu, a ne samo za one "problematične" (www.omega1technologies.com/CaseStudies, 10.12.2019.).

Za primjenu rotatora na ostalim bušotinama, izrađen je graf (slika 6-1) koji pokazuje stopu povrata novca za bušotinu s vremenom ne uzimajući u obzir povećanje prihoda zbog manjeg vremena u kojem je bušotina bila van pogona, što bi znatno poboljšalo ekonomsku isplativost investicije. Iz ovih podataka koji pokazuju produljenje vremena između oštećenja na tubing, naivno bi se moglo zaključiti da bušotine koje su u remontu svakih 18 mjeseci, a nemaju druge veće i učestalije kvarove, da nakon ugradnje rotatora rade 7 godina bez zastoja. To naravno nije slučaj, međutim, cijena popravka se smanjuje, jer dolazi do oštećenja manjeg broja komada tubinga nego inače (Hart, 2003).



Slika 6.1. Graf stope povrata novca uloženog ugradnjom rotatora tubinga (Hart, 2003)

6.3. Primjena rotatora tubinga na polju Salt Creek u Midwest-u (Wyoming)

Operator u Midwest-u (Wyoming) instalirao je 8. veljače, 1991. rotator tubinga u bušotini na polju Salt Creek. Bušotina je imala povijest učestalih nastajanja oštećenja (otvora) u tubing, pri čemu je svake godine još od 1977. godine nastalo barem jedno oštećenje (otvor), s time da je 1979. prijavljeno nastajanje dva oštećenja. Također, bušotina je imala problem taloženja parafina. Problem parafina zahtijevao je od operatora da izdvoji dodatna 2,5 do 3 sata rada na bušotini po tjednu da bušotinu održi operativnom, puštajući kondenzat u bušotinu svaki tjedan i utiskivanje približno 16 000 litara vruće vode u prstenasti prostor bušotine svaka dva tjedna (Lacy, 1992).

S rotatorom tubinga ugrađen je rotator klipnih šipki te tubing s plavom trakom, tj. tubing sa 16-30% istrošenim tijelom tubinga, odnosno 70% minimalno preostalog tijela tubinga (intermountainpipe.com, 26.2.2020.). Na dan 15. ožujka, 1991, klipne šipke su bile izvučene iz kanala bušotine, a debljina stijenke tubinga očitana kako bi bila zabilježena za buduće usporedbe (Lacy, 1992).

Operator je proveo drugo očitavanje debljine stijenke tubinga, 18. listopada, 1991, kako bi usporedili dobivene rezultate s prijašnjima. Nakon 8 mjeseci aktivne uporabe rotatora tubinga, očitavanja su pokazala 5-8% gubitka debljine stijenke tubinga. Operator je procijenio

da će korišteni tubing s plavom trakom (znakom) izdržati još 3 godine. Nakon mjerenja, bušotina se vratila u proizvodnju te nastavila s proizvodnjom bez kvara na tubingu (tekst iz 1992.) (Lacy, 1992).

Operator je također zabilježio drugu prednost instaliranja tubing rotatora na svoje bušotine, a to je izostanak taloženja parafina u bušotini. Zbog toga je operator prestao s utiskivanjem kondenzata u bušotinu te utiskivanjem tople vode u prstenasti prostor bušotine tijekom ožujka, 1991. Time nije više bilo potrebno utrošiti 2,5 do 3 sata rada na bušotini za eliminiranje problema izdvajanja parafina (Lacy, 1992).

6.4 Primjena rotatora tubinga na polju Big Beaver u Last Chance-u (Colorado)

12. travnja, 1991, operator je instalirao rotator tubinga i dubinski sustav sidrenog pakera s rotacijskom glavom. Bušotina je bila dubine 1600 m te koristila tubing promjera od 7,3 cm. Bušotina je imala povijest kvarova svakih 90 dana zbog oštećenja na tubingu. Na tubing je ugrađen sidreni paker sa silom natega tubinga od 89 kN. Rotator tubinga instaliran je da izvrši jednu rotaciju niza svakih 26 sati. Bušotina je 4. siječnja, 1992. još uvijek bila bez kvara (Lacy, 1992).

6.5 Primjena rotatora tubinga na bušotini Sprayberry u Zapadnom Texas-u

Rotacijski sidreni paker instaliran je 11. svibnja, 1991. Bušotina je imala povijest učestalih kvarova tubinga te je od 1. siječnja, 1991, bila 5 puta izvan funkcije zbog tubinga oštećenog djelovanjem klipne šipke (Lacy, 1992).

Rotacijski sidreni paker aktivirana je na dubini od 2200 metara, a stavljen je pod nateg od 53 kN. Sustav je podešen na 3 okretaja svakih 24 sata. Bušotina je bila u uporabi bez zastoja 5 puta dulje u odnosu na rad bušotine prije instalacije rotatora tubinga. Kada je tubing zadignut, otkriveno je da su klipne šipke probile otvor u vretenu sidrenog pakera tubinga, koji se zbog oštećenja nije rotirao. Tubing nije imao nikakva oštećenja. Operator je procijenio da je rotacijom tubinga uštedio kompaniji više od \$40000 (\$73000) u operativnim troškovima u 1991. (Lacy, 1992).

7. ZAKLJUČAK

Zamjena oštećenog tubinga jedna je od najskupljih vrsti popravka podzemne opreme kod bušotina opremljenih dubinskim klipnim sisaljkama. Oštećenja tubinga broje se svake godine u tisućama, a njihovi popravci koštaju naftne kompanije milijune dolara. Trošenje tubinga i klipnih šipki uzrok je dvaju najčešćih oštećenja kod dubinske opreme, a to su lom tubinga uslijed mehaničkog trošenja i korozijsko trošenje koje najčešće djeluje u kombinaciji s spomenutim mehaničkim trošenjem. Promjene nekih faktora u radu dubinske klipne sisaljke uvelike utječu na pojavu trošenja tubinga i klipnih šipki. S druge strane, neka rješenja koja smanjuju mehaničko trošenje tubinga i klipnih šipki, nemaju utjecaj kod pojave korozijskog trošenja tubinga i klipnih šipki. Štoviše, implementacija takvih rješenja može i povećati pojavu korozijskog trošenja.

Kako bi se ravnomjerno rasporedilo trošenje tubinga i klipnih šipki te time produljilo radni vijek tubinga na površinski sustav opreme bušotine ugrađuje se rotator tubinga. Njegovom implementacijom, uz smanjenu potrebu za zamjenom oštećenih tubinga (zbog smanjenja oštećenja tubinga), dolazi i do smanjenja taloženja parafina u prstenastom prostoru između tubinga i klipnih šipki. Kako bi tubinga odražavao vertikalnost u bušotini, osim rotatora tubinga u sklopu površinske opreme ugrađuje se i sidreni paker s rotacijskom glavom ili rotacijski sidreni paker. Njihovom upotrebom poboljšana je pravocrtnost niza unutar bušotine koliko je to moguće s obzirom na konstrukciju bušotine te je sprječeno akumuliranje momenta torzije pri dnu niza tubinga.

Iako rotatori tubinga izvrsno djeluju kod smanjenja oštećenja tubinga, imaju vrlo mali utjecaj na produljenje radnog vijeka klipnih šipki. Kako bi produljio radni vijek istih u površinski sustav bušotine s dubinskim klipnim sisaljkama ugrađuje se rotator klipnih šipki. Navedeni rotator djeluje po istom principu kao rotator tubinga te produljuje radni vijek klipnih šipki. Uz rotatore klipnih šipki i tubinga, ugrađuju se i centralizeri klipnih šipki, koji su dodatna mjera kod nastojanja smanjenja trošenja klipnih šipki i tubinga. Upotreba centralizera najbolja je uz korištenje jednog od gore navedenih vrsta rotatora, a češće su to rotatori klipnih šipki. Implementacija triju gore navedenih metoda, najbolja je kombinacija za smanjenje trošenja tubinga i klipnih šipki.

8. LITERATURA

CLARKE, F., & MALONE, L. (2016.): *Sucker Rod Pumping in the Eagle Ford Shale Field Study*. SPE paper 181214-MS presented at the SPE North American Artificial Lift Conference and Exhibition, 25-27 October, The Woodlands, Texas, USA; doi:10.2118/181214-MS

CLEMENS, L., TOBIAS, P., VIORICA, S., MIKHAIL, P., & HERBERT, H. (2018.) *Sucker Rod String Rod Guide Service Life Estimation*. SPE paper 192546-MS presented at the SPE Annual Caspian Technical Conference and Exhibition, 31. October – 2. November, Astana, Kazakhstan; doi:10.2118/192546-MS

HART, P. E. (2003.) *Manual Tubing Rotation Reduces Rod Pumping Failures by 76%*. SPE paper 80886-MS presented at the SPE Production and Operations Symposium, 22-25 March, Oklahoma City, Oklahoma, USA; doi:10.2118/80886-MS

LACY, R. D. (1992.) *The Rotating Tubing Hanger System: A Unique New System Designed to Extend the Run Time of Rod Pumped Wells*. SPE paper 23977-MS presented at the 1992 Permian Basin Oil and Gas Recovery Conference, 18-20 March, Midland, Texas, USA; doi:10.2118/23977-MS

MATANOVIĆ, D., MOSLAVAC, B. 2011. *Opremanje i održavanje bušotina*. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet

MCCASLIN, K. P. (1987.) *A Study of the Methods for Preventing Rodwear Tubing Leaks in Sucker Rod Pumping Wells*. SPE paper 16198-MS presented at the SPE Production and Operations Symposium, 8-10 March, Oklahoma City, Oklahoma, USA; doi:10.2118/16198-MS

MOTTRAM, R. J. 1991. *Sucker Rod Wear In Directionally Drilled Steamflood Wells*. Petroleum Society of Canada. doi:10.2118/91-02-15

ZELIĆ, M., ČIKEŠ, M. 2006. *Tehnologija proizvodnje nafte dubinskim crpkama*. Zagreb: INA d.d.

ZHAO, R., LI, J., TAO, Z., LIU, M., SHI, J., XIONG, C., , ; HUANG, H., SUN, C., ZHANG, Y., ZHANG, X. (2019.) *Research and Application of Rod/Tubing Wearing Prediction and Anti-Wear Method in Sucker Rod Pumping Wells*. SPE paper 194955-MS

presented at the SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference, 18-21 March, Manama, Bahrain; doi:10.2118/194955-MS

WWW izvori:

ARUN, D. I., CHAKRAVARTHY, P., AROCKIAKUMAR, R., SANTHOSH, B. 2018. Shape memory materials. URL:

[https://books.google.hr/books?id=eJxYDwAAQBAJ&pg=PA20&lpg=PA20&dq=Spray+Metal+Alloy+\(SMA\)+couplings&source=bl&ots=dGZFKI2BN&sig=ACfU3U0Mp0iJN4GKHHjQ38upcnUnsHYw&hl=hr&sa=X&ved=2ahUKEwIU_O6S1cnoAhVknVwKHZA1AnMQ6AEwDHoEAgQKg#v=onepage&q=Spray%20Metal%20Alloy%20\(SMA\)%20couplings&f=false](https://books.google.hr/books?id=eJxYDwAAQBAJ&pg=PA20&lpg=PA20&dq=Spray+Metal+Alloy+(SMA)+couplings&source=bl&ots=dGZFKI2BN&sig=ACfU3U0Mp0iJN4GKHHjQ38upcnUnsHYw&hl=hr&sa=X&ved=2ahUKEwIU_O6S1cnoAhVknVwKHZA1AnMQ6AEwDHoEAgQKg#v=onepage&q=Spray%20Metal%20Alloy%20(SMA)%20couplings&f=false) (2.4.2020.)

BLAND, L. H., 27.6.1995. Tubing rotator and hanger. URL: <http://www.freepatentsonline.com/5427178.html> (10.12.2019.)

BLAND, L. H. 28.12.2004. Tubing rotator. URL: <https://patents.google.com/patent/US6834717> (11.12.2019.)

FETOUI, I. 6.10.2017. Tubing Rotator reduces rod pumping failures. URL: <https://production-technology.org/tubing-rotator/> (10.12.2019.)

FETOUI, I. 1.12.2017. Rotator extend the life of rod-pumped wells. URL: <https://production-technology.org/rod-rotator-extends-the-life-of-rod-pumped-wells/> (31.3.2020.)

HURST, G. W., LEMBCKE, J. J., PAULET, B. A. 22.9.2015. Instrumented rod rotator. URL: <https://patents.google.com/patent/US9140113B2> (31.3.2020.)

MEEK, R. K., DUHN, R. E. 8.4.2003. Well tubing rotator. URL: <https://patents.google.com/patent/US6543533> (11.12.2019.)

SAMAYAMANTULA, J. S. 10.10.2013. Tubing anchor catcher application and operation. URL: <https://www.upstreampumping.com/article/tubing-anchor-catcher/tubing-anchor-catcher-application-and-operation> (20.1.2020.)

THOMAS, M. 20.3.2016. New rotator technology addresses challenges with rod pumping units. URL: <https://www.upstreampumping.com/article/production/2016/new-rotator-technology-addresses-challenges-rod-pumping-units> (20.1.2020.)

THOMPSON, M., HART, P. Tubing saver rotator and method for using same. 20.10.2005.

URL: <https://patents.google.com/patent/US20050230099A1/> (11.12.2019.)

URL: <http://intermountainpipe.com/octg-technical-data/> (26.2.2020.)

Surface tubing rotator. URL: <https://mostoil.com/product-portfolio/surface-tubing-rotator/> (20.1.2020.)

URL: <http://www.omega1technologies.com/CaseStudies.html> (10.12.2019.)

URL: <http://www.omega1technologies.com/TSRBrochure100102Masterpg3install.htm> (10.12.2019.)

Tubing rotators. URL: <https://pjoperating.com/wp-content/uploads/2018/05/Tubing-Rotators-Brochure.pdf> (10.12.2019.)

URL: <https://eotools.com/index.php/component/virtuemart/15/1/artificial-lift/ctr-tubing-rotator-detail.html> (10.12.2019.)

Artificial lift systems. URL: <https://eotools.com/products/Evolution%20Artificial%20Lift%20Systems.pdf> (10.12.2019.)

Sucker rod guides. URL: <https://www.weatherford.com/en/documents/brochure/products-and-services/production-optimization/sucker-rod-guides/> (31.3.2020.)

URL: https://www.petrowiki.org/PEH:Sucker-Rod_Lift#Rod_Couplings (31.3.2020.)

URL: <http://www.newtechsystems.com/welltech.html> (24.3.2020.)

URL: https://www.alibaba.com/product-detail/Wellhead-tubing-rotator_60709710472.html (31.3.2020.)

URL: <https://www.offshore-mag.com/business-briefs> (31.3.2020.)

URL: <https://www.youtube.com/watch?v=ALCIB7v2h9k> (10.12.2019.)

URL: <http://suckerrodchina.com/suckerrod/steel-sinker-bar.html> (31.3.2020.)

URL: <https://www.nov.com/products/new-era-sucker-rod-guides> (31.3.2020.)

URL: <http://mivaengineering.ca/en/miva-rod-rotator/> (31.3.2020.)

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno, temeljem znanja stečenog na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu i služeći se navedenim referencama.

Mislav Rendulić

Mislav Rendulić



KLASA: 602-04/20-01/80
URBROJ: 251-70-03-20-3
U Zagrebu, 30.06.2020.

Mislav Rendulić, student

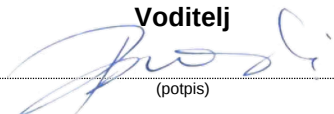
RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju Vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM: 602-04/20-01/80, UR.BR. 251-70-12-20-1 od 23.04.2020. godine priopćujemo temu završnog rada koja glasi:

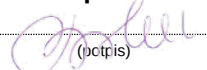
ROTATOR UZLAZNIH CIJEVI (TUBINGA)

Za voditelja ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o završnom ispitu dr. sc. Borivoje Pašić, docent Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

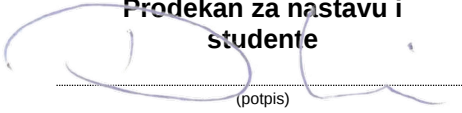
Voditelj


(potpis)
Doc. dr. sc. Borivoje Pašić
(titula, ime i prezime)

**Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite**


(potpis)
Doc. dr. sc. Vladislav Brkić
(titula, ime i prezime)

**Prodekan za nastavu i
studente**


(potpis)
Izv. prof. dr. sc. Dalibor Kuhinek
(titula, ime i prezime)