

Pomoćne alatke i oprema na bušaćim postrojenjima

Ninković, Marko

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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:169:706903>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-08**



Repository / Repozitorij:

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



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

POMOĆNE ALATKE I OPREMA NA BUŠAĆIM POSTROJENJIMA

Završni rad

Marko Ninković

N4248

Zagreb, 2022.

POMOĆNE ALATKE I OPREMA NA BUŠAĆIM POSTROJENJIMA

MARKO NINKOVIĆ

Završni rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Početak dvadesetog stoljeća sirova nafta postala je strateška sirovina na globalnom tržištu te se od tada intenzivno razvijaju bušaća postrojenja. Pomoćne alatke i oprema na bušaćim postrojenjima omogućuju efikasnije i sigurnije rukovanje bušaćim alatkama te zamjenjuju psihofizički naporan rad ljudi tijekom izvođenja strojno-ručnih operacija na podištu bušaćeg tornja, a doprinose i reduciranju oštećenja na bušaćim alatkama. Automatizacijom rada značajno se povećavaju tehničke mogućnosti bušaćih postrojenja, a trenutno se razvijaju i testiraju robotizirani sustavi za rukovanje bušaćim alatkama.

Ključne riječi: konvencionalna bušaća postrojenja, pomoćne alatke na bušaćim postrojenjima, automatizirani sustavi za rukovanje bušaćim alatkama, robotizacija bušaćih postrojenja

Završni rad sadrži: 52 stranice, 33 slike, 5 tablica, 34 reference

Jezik izvornika: Hrvatski

Završni rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta,

Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Borivoje Pašić, izvanredni profesor RGNF-a

Ocjenjivači: Dr. sc. Borivoje Pašić, izvanredni profesor RGNF-a

Dr. sc. Nediljka Gaurina-Međimurec, redovita profesorica RGNF-a

Dr. sc. Luka Perković, izvanredni profesor RGNF-a

Datum obrane: 11. veljače 2022., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

SADRŽAJ

I. POPIS SLIKA.....	I
II. POPIS TABLICA.....	III
III. POPIS KORIŠTENIH OZNAKA S PRIPADAJUĆIM SI MJERNIM JEDINICAMA.....	IV
IV. POPIS KORIŠTENIH KRATICA.....	V
1. UVOD.....	1
2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE KOPNENIH BUŠAĆIH POSTROJENJA.....	4
3. POMOĆNE ALATKE I OPREMA NA BUŠAĆIM POSTROJENJIMA PRI RUKOVANJU BUŠAĆIM ALATKAMA.....	9
3.1. PROCES RUKOVANJA BUŠAĆIM ALATKAMA NA PODIŠTU TORNJA TIJEKOM BUŠENJA.....	9
3.2. PRIJELAZI.....	14
3.2.1 Prijelaz radne šipke.....	17
3.2.2. Vršni pogon i zaštitni prijelazi vršnog pogona tvrtke Sub-drill.....	18
3.3. ZASUN RADNE ŠIPKE I SIGURNOSNI ZASUNI VRŠNOG POGONA.....	20
3.4. ČISTAČI.....	22
3.4.1. Čistači cijevi tvrtke CPP Distribution.....	22
3.4.1.1. <i>Dvojni čistač cijevi tvrtke CPP Distribution.....</i>	<i>23</i>
3.5. NAVRTAČ RADNE ŠIPKE.....	24
3.5.1. Navrtlač radne šipke KS-6600 tvrtke National Oilwell Varco.....	24
3.6. HIDRAULIČKA KLIJEŠTA TVRTKE WEATHERFORD.....	28
3.6.1. Kliješta tvrtke Weatherford za spojnice zaštitnih cijevi koje zahtjevaju velik moment dotezanja.....	28
4. AUTOMATIZACIJA BUŠAĆIH POSTROJENJA.....	31
4.1. KONTROLNO-UPRAVLJAČKI SUSTAVI NA AUTOMATIZIRANIM BUŠAĆIM POSTROJENJIMA.....	32
4.2. SUSTAV ZA PRIJENOS BUŠAĆIH ALATKI IZ HORIZONTALNOG U VERTIKALNI POLOŽAJ.....	33
4.3. SUSTAV ZA RAD S CIJEVNIM ALATKAMA U VERTIKALNOM POLOŽAJU SMARTRACKER KOMPANIJE CAMERON.....	35

4.4. AUTOMATIZIRANI SUSTAV ZA NAVRTANJE/ODVRTANJE NAVOJNIH SPOJEVA NA BUŠAĆ.....	38
4.5. AUTOMATSKI KLINOVI.....	39
4.5.1. Automatski klinovi tvrtke Forum Energy Technologies (FET).....	40
5. PRIMJENA ROBOTIKE NA BUŠAĆIM POSTROJENJIMA – POTPUNO AUTOMATIZIRANO BUŠAĆE POSTROJENJE PACE R801.....	43
6. ZAKLJUČAK.....	48
7. LITERATURA.....	50

I. POPIS SLIKA

Slika 1-1. Toranj za udarno bušenje s drvenom konstrukcijom Edwina L. Drake-a.....	3
Slika 2-1. Bušaće postrojenje sa svojim osnovnim dijelovima.....	6
Slika 2-2. Djelovanje bušaćeg postrojenja kroz tri komponente procesa bušenja.....	7
Slika 2-3. Osnovne komponente niza bušaćih alatki.....	8
Slika 3-1. Kupola radne šipke unutar kupole vrtaćeg stola tijekom prijenosa rotacije na niz bušaćih alatki te bušaća šipka odložena u mišjoj rupi.....	10
Slika 3-2. Kupola radne šipke s zaticima kojima se ostvaruje veza s kupolom vrtaćeg stola (glavnim uloškom vrtaćeg stola).....	10
Slika 3-3. Dodavanje nove bušaće šipke upravo podignute iz mišje rupe na uklinjeni niz bušaćih alatki te njezino navrtanje pomoću lanaca i para ručnih kliješta.....	12
Slika 3-4. Podmazivanje muškog navoja bušaće šipke upravo uvedene u toranj pomoću zračnog vitla prije njezinog odlaganja u mišju rupu.....	13
Slika 3-5. Prijelaz na dlijetu s ženskim tipom navoja na oba kraja tvrtke Sub-drill.....	15
Slika 3-6. Prijelaz kompanije Sub-drill s izrađenim provrtom u koji se ugrađuje protupovratni ventil.....	16
Slika 3-7. Protupovratni ventil s zaklopcem.....	16
Slika 3-8. Prijelaz radne šipke.....	17
Slika 3-9. Vršni pogon Canrig® 1275 AC.....	18
Slika 3-10. Obje varijante zaštitnog prijelaza vršnog pogona tvrtke Sub-drill.....	19
Slika 3-11. Zasun radne šipke.....	21
Slika 3-12. Sigurnosni zasuni vršnog pogona.....	21
Slika 3-13. Čistač bušaćih šipki.....	22
Slika 3-14. Dvojni čistač RNE-21" tvrtke CPP Distribution vanjskog promjera 53,34 cm dostupan za sve vanjske promjere bušaćih alatki.....	23

Slika 3-15. Shematski prikaz navrtača radne šipke KS-6600 tvrtke National Oilwell Varco.....	26
Slika 3-16. Osnovne komponente sustava navrtača radne šipke KS-6600 te njegova implementacija u rad s alatkama na podištu tornja.....	27
Slika 3-17. 14-50 hidraulička kliješta za ostvarivanje velikog momenta dotezanja tvrtke Weatherford.....	30
Slika 3-18. Dimenzije 14-50 hidrauličkih kliješta za ostvarivanje velikog momenta dotezanja tvrtke Weatherford.....	30
Slika 4-1. Kontrolno-upravljački sustav PRECISE™ tvrtke Omron.....	33
Slika 4-2. Sustav za prijenos alatki iz horizontalnog u vertikalni položaj tvrtke TSC.....	35
Slika 4-3. Sustav za rad s cijevnim alatkama u vertikalnom položaju SmartRacker kompanije Cameron.....	37
Slika 4-4. Automatizirani hidraulički sustav za navrtanje/odvrtanje cijevnih alatki kompanije NOV, model AR-3200.....	38
Slika 4-5. Hidraulički automatski klinovi PS-350 tvrtke Forum Energy Technologies.....	42
Slika 5-1. Potpuno robotizirano bušaće postrojenje koje je izradila kompanija Canrig Robotics u službi servisne kompanije Nabors Industries.....	44
Slika 5-2. Električna robotizirana ruka za rukovanje bušaćim alatkama na podištu tornja DR-1500.....	45
Slika 5-3. Električni robotizirani sustav za navrtanje/odvrtanje bušaćih alatki RRN-250.....	45
Slika 5-4. Robotizirani elevator s varijabilnim insertima za prihvat alatki različitog promjera MSE-500.....	46
Slika 5-5. Električni robotizirani sustav za rukovanje alatkama iz horizontalnog u vertikalni položaj s 9 stupnjeva slobode gibanja RPH-3500.....	46
Slika 5-6. Robotizirano bušaće postrojenje PACE R801 kompanije Nabors Industries.....	47

II. POPIS TABLICA

Tablica 3-1. Osnovni tehnički parametri pneumatskog navrtača radne šipke KS-6600.....	25
Tablica 3-2. Osnovni tehnički parametri Weatherfordovih 14-50 hidrauličkih kliješta za ostvarivanje velikog momenta dotezanja.....	29
Tablica 4-1. Osnovni tehnički parametri sustava za rad s cijevnim alatkama u vertikalnom položaju SmartRacker kompanije Cameron.....	36
Tablica 4-2. Osnovni tehnički parametri automatiziranog sustava za navrtanje/odvrtanje cijevnih alatki AR-3200 kompanije NOV.....	39
Tablica 4-3. Osnovni tehnički parametri hidrauličkih automatskih klinova PS-350 tvrtke Forum Energy Technologies.....	41

III. POPIS KORIŠTENIH OZNAKA S PRIPADAJUĆIM SI MJERNIM JEDINICAMA

Oznaka	Fizikalna veličina	Jedinica
l	duljina	mm, cm, m
p	tlak	kPa
Q	težina	N, kN
m	masa	kg
M	zakretni moment	Nm
M_t	moment dotezanja	Nm
n	broj okretaja	o/min
q_v	volumni protok	dm ³ /s
v	brzina	m/s
P	snaga	kW
T	temperatura	°C
α	kut	°

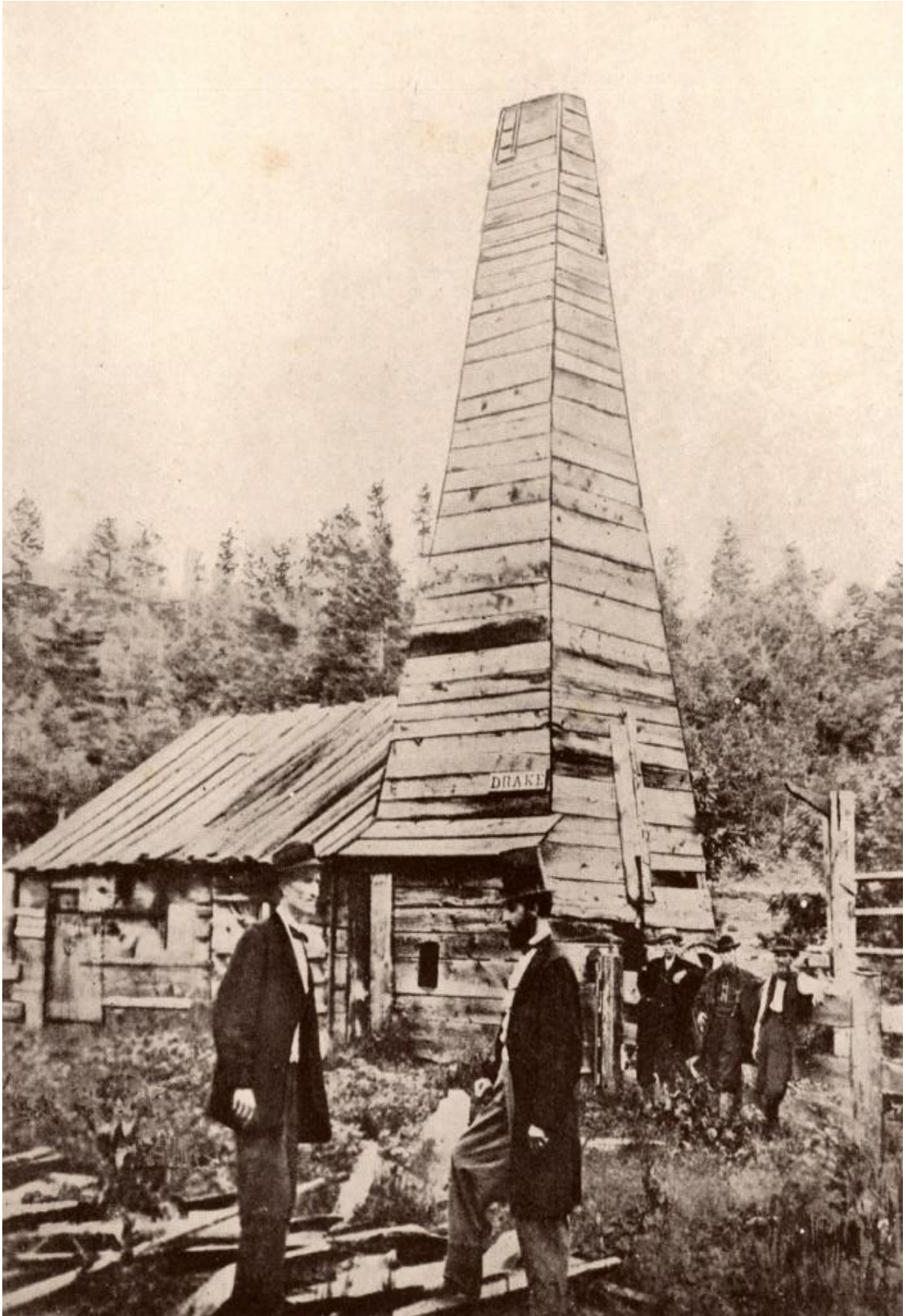
IV. POPIS KORIŠTENIH KRATICA

Oznaka	Značenje
API	Američki naftni institut (engl. <i>American Petroleum Institute</i>)
OEM	oznaka tvrtke proizvođača materijala (engl. <i>Original Equipment Manufacturer</i>)
KS-6600	navrtač radne šipke kompanije National Oilwell Varco (NOV) (engl. <i>Kelly Spinner</i>)
LAN	lokalna računalna mreža (engl. <i>Local Area Network</i>)
SCADA	programska (softverska) podrška kontrolno upravljačkog sustava (engl. <i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>)
ppm	dijelova na milijun (engl. <i>parts per million</i>)
HTV	automatizirani sustav za prijenos alatki iz horizontalnog u vertikalni položaj (engl. <i>Horizontal to Vertical arm</i>)
VPH	automatizirani sustav za rad s alatkama u vertikalnom položaju (engl. <i>Vertical Pipe Handling System</i>)
AR-3200	automatizirani sustav za navrtanje/odvrtanje cijevnih alatki (engl. <i>Automatic Roughneck</i>)
DFR	robotizirana ruka za rad s različitim alatkama (engl. <i>Drill Floor Robot</i>)
RPH	robotizirani sustav za rad s alatkama u vertikalnom položaju (engl. <i>Robotic Pipe Handler</i>)
RRN	robotizirani sustav za odvrtanje/navrtanje cijevnih alatki (engl. <i>Robotic Roughneck</i>)
MSE	robotizirani elevator s varijabilnim insertima za prihvat alatki različitog promjera (engl. <i>multi-size elevator</i>)

1. UVOD

Još od davnina i početaka civilizacije razvijale su se različite tehnike i metode otkopavanja rahlog tla te bušenja alatima kroz čvrstu, kompaktnu stijensku masu sa svrhom prodiranja što dublje u Zemljinu koru u potrazi za ležištima podzemne vode, nafte te resursima općenito. Tehnika izrade bušotina kojom su izrađeni prvi podzemni kanali je udarno bušenje. Korištena je već 347. godine prije Krista u Kini pri izrađivanju kanala bušotine u ležištu slane podzemne vode, a razrušavanje stijene se ostvarilo ponavljanjem udaraca svrdlom pričvršćenim na bambus koje se povremeno zakretalo pri čemu je iznimno važno da je tvrdoća materijala od kojeg je izrađeno svrdlo veća od tvrdoće stijene (searchanddiscovery.com, 2016). Proces udarnog bušenja se vremenom razvijao odnosno tehnološki je napredovao pojavom novih alatki i opreme koje su olakšavale rad ljudi i životinja, doprinosile sigurnosti na bušačem postrojenju te u konačnici povećavale brzinu bušenja i ekonomsku isplativost. Pojavom industrijskih revolucija krajem 18. i 19. stoljeća došlo je do razvoja strojeva, motora, tvornica, električne mreže izmjenične struje i mnogih drugih postrojenja i naprava koje zahtijevaju velike količine energije za funkcionalan rad, što je dovelo do povećane potražnje za energentima, posebice ugljikovodicima – sirovom naftom te prirodnim plinom. Tom procesu je također doprinijelo razvijanje postupaka rafiniranja sirove nafte kao što su atmosferska i vakuumska frakcijska destilacija, alkilacija, hidrodesulfurizacija, izomerizacija i druge, što je u konačnici povećalo broj naftnih derivata od kojih su najvažnije skupine naftni plin, motorni benzin, dizelsko gorivo, mlazno gorivo (kerozin i petrolej), loživo ulje, mazivo ulje, bitumen i naftni koks, parafin, te olefinski i aromatski ugljikovodici kao petrokemijske sirovine. Posve je jasno da bez nekih od spomenutih proizvoda industrija ne može funkcionirati te je iz toga razloga nafta postala strateški resurs na globalnom tržištu. Stoga je u odnosu na potrebe tržišta i povećane potražnje za naftom došlo do razvoja bušačih postrojenja i do izrade prve komercijalne bušotine 1859. godine, dubine 21 metar, na lokalitetu u blizini mjesta Titusville, Pennsylvania. Bušotinu je izradio Edwin L. Drake pri čemu je korišteno njegovo prepoznatljivo bušaće postrojenje (slika 1-1.) s drvenom konstrukcijom tornja koje je koristilo udarnu metodu bušenja izvedenu pomoću parnog stroja. Poznato je da je prilikom izrade te bušotine došlo do zarušavanja stijenki kanala već pri dubini od 4,9 metara, ali tada je Edwin L. Drake odlučio postaviti cijev od lijevanog željeza oko bušačeg alata koja će spriječiti zarušavanje stijenki kanala bušotine prilikom početka njene izrade te pomoći pri centralizaciji niza bušačih alatki u odnosu na željeni smjer bušenja. U naftnoj

industriji današnjice projektanti bušotina ovakav tip cijevi nazivaju konduktorskom cijevi pri dizajniranju zacijevljenja kanala bušotine. Međutim, udarno bušenje je kao tehnološki proces pun nedostataka od kojih je najistaknutija nemogućnost uspostave konstantne cirkulacije fluida za ispiranje krhotina (isplake) iz kanala bušotine tijekom bušenja. Stoga je u praksu uvedeno rotacijsko bušenje koje je 1844. godine osmislio Englez Robert Beart pri kojem se koristi dlijeto na dnu niza bušaćih alatki na koji se prenosi rotacija te se uz opterećenje i cirkulaciju isplake s ciljem uspješnog ispiranja dna ostvaruje napredak dlijeta (cdn.ca, 1979). Komercijalizacija upotrebe rotacijske metode bušenja u naftnoj industriji odvijala se početkom 20. stoljeća, ponajprije u SAD-u, gdje su pioniri u primjeni ove metode, braća Baker, izradili prve bušotine na naftnom polju Corsicana u Texasu. Od toga povijesnog trenutka za naftnu industriju pa sve do vremena današnjice razvijana su i usavršavana sve jača, veća, opremljenija i izdržljivija bušaća postrojenja s primarnim ciljem povećanja najveće moguće dubine bušenja i ubrzanjem procesa bušenja. U drugom i trećem dijelu ovoga rada ukratko je objašnjen i prikazan rad modernog konvencionalnog kopnenog bušaćeg postrojenja odnosno proces modernog rotacijskog bušenja. Također, detaljno je opisan postupak rukovanja bušaćim alatkama na podištu bušaćeg tornja, kako bi se što bolje razumjela potreba za razvojem pomoćnih alatki za rukovanje bušaćim alatkama. Korištenjem pomoćnih alatki na bušaćem postrojenju smanjuje se vrijeme potrebno za izvođenje strojno-ručnih operacija te se smanjuje vremenski period tijekom kojeg ljudi rade u opasnim „crvenim“ zonama podišta tornja. Pomoćne alatke se na bušaćim postrojenjima primjenjuju u svrhu: povećanja efikasnosti rada uštedom vremena (samim time i financijskih sredstava), povećanja sveobuhvatne razine sigurnosti na postrojenju te smanjenja zamora materijala na skupljim dijelovima sustava (npr. prijelaz radne šipke). Pomoćne alatke za rukovanje bušaćim alatkama mogu biti automatizirane (pneumatske ili hidrauličke), a u novije doba i potpuno robotizirane te mogu predstavljati složene sustave sastavljene od nekoliko zasebnih automatiziranih ili robotiziranih ruka za rukovanje. Rad, izvedba i tehničke karakteristike modernih automatiziranih i robotiziranih sustava za rukovanje bušaćim alatkama detaljno su prikazane u četvrtom i petom poglavlju rada.



Slika 1-1. Toranj za udarno bušenje s drvenom konstrukcijom Edwina L. Drakea
(britannica.com, 2015)

2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE KOPNENIH BUŠAĆIH POSTROJENJA

Današnja moderna konvencionalna bušaća postrojenja koncipirana su s osnovnom namjenom izrade bušotina rotacijskom metodom bušenja, a izvedena su tako da budu mobilna pa ih je moguće vrlo efikasno i brzo sastavljati i rastavljati te prevoziti s lokacije na lokaciju. Ovakvim postrojenjima je moguće izraditi bušotine dubine i do 10 000 metara.

Bušotina je rudarski objekt kojem je promjer zanemariv u odnosu na njegovu duljinu. Smatra se da je ona sredstvo pomoću kojega se doseže ležište ugljikovodika, a izrađuje se nizanjem sljedećih operacija (Matanović, 2007):

- spajanjem bušaćih alatki i dlijeta,
- nizanjem bušaćih alatki i spuštanjem dlijeta do dna bušotine,
- radom dlijeta ili krune na dnu bušotine (bušenjem) uz istovremeno iznošenje krhotina razrušenih stijena,
- dodavanjem bušaćih alatki kako dlijeto napreduje u dubinu,
- vađenjem alatki iz bušotine (npr. zbog zamjene istrošenog dlijeta, promjene sastava alatki i sl.).

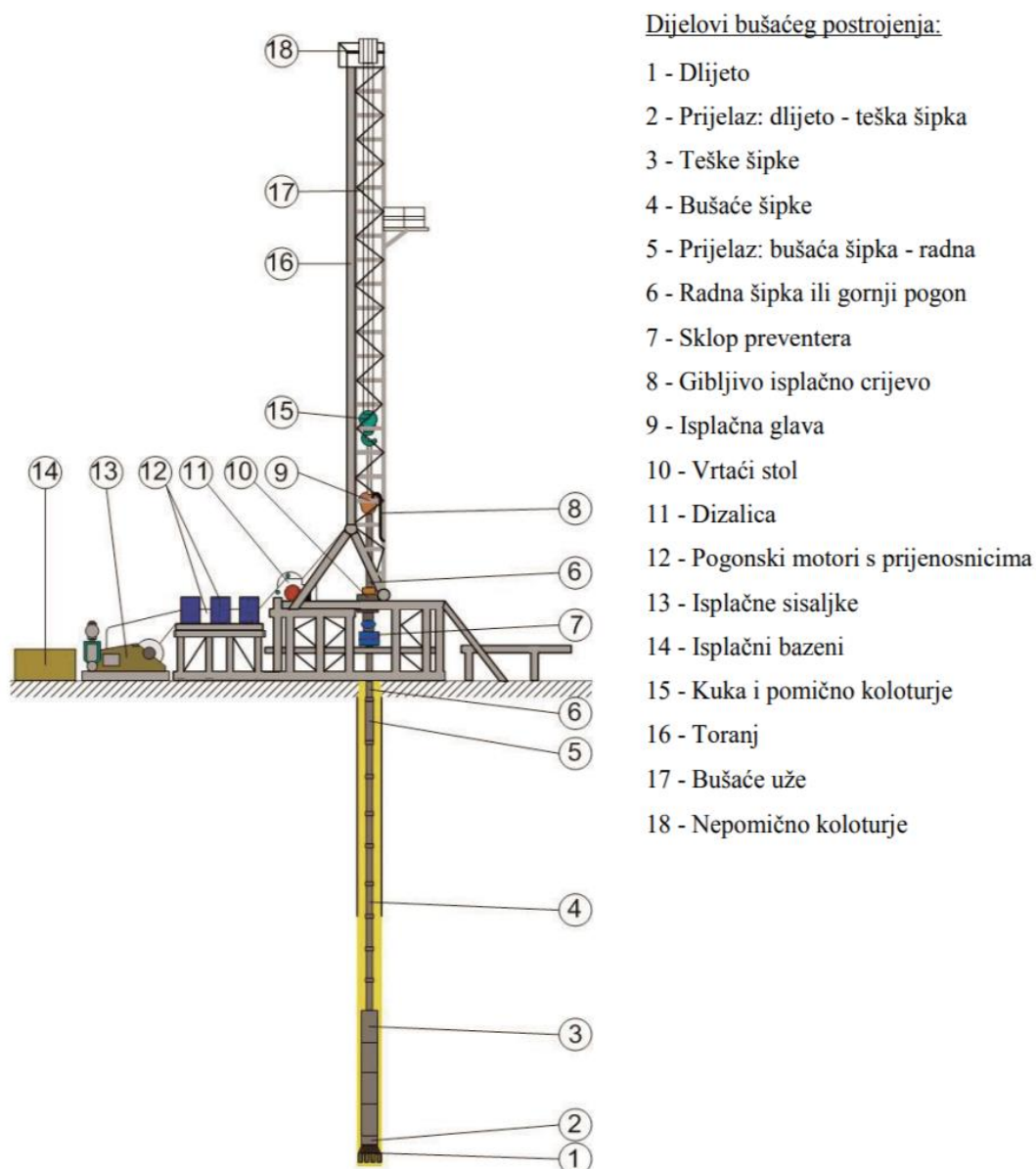
Kako bi se navedene operacije mogle uspješno uzastopno obavljati, bušaće postrojenje je sastavljeno od dijelova koji omogućuju obavljanje pojedine operacije. Bušaće postrojenje se u pravilu sastoji od (Matanović, 2007):

- noseće strukture tornja,
- koloturnog sustava,
- dizalice,
- pogonskih motora,
- prijenosnika,
- vrtaćeg stola,
- isplačnih sisaljki,
- isplačne glave,
- sustava za pripremu i pročišćivanje isplake,
- sustava za zaštitu od erupcije – preventerskog sklopa,
- cijevnih alatki,
- dlijeta, itd.

Ukoliko bušaće postrojenje pravilno funkcionira onda opterećeno dlijeto koje se nalazi na dnu bušaćeg niza i na koji se prenosi rotacija izrađuje bušotinu konstantnog željenog promjera uz uspješno iznošenje krhotina razrušenih stijena s dna na površinu pomoću cirkulacije isplake. Stoga, bušaće postrojenje pogonjeno energijom iz pogonskih motora izrađuje bušotinu kroz tri komponente procesa bušenja:

- rotacija dlijeta na dnu bušotine ostvarena pomoću prijenosa rotacije na niz bušaćih alatki s površine, ili direktno s dubinskog motora postavljenog neposredno iznad dlijeta;
- uspješno iznošenje krhotina razrušenih stijena s dna bušotine na površinu pomoću isplačnog sustava i cirkulacije isplake kroz bušotinu;
- opterećenje na dlijeto ostvareno pomoću krutog alata odnosno teških šipki koje se nalaze na dnu bušaćeg niza neposredno iznad dlijeta. Uobičajeno teške šipke s 75 % vlastite težine ostvaruju opterećenje na dlijeto, dok s preostalih 25 % vlastite težine održavaju niz bušaćih šipki pod konstantnim vlačnim uzdužnim opterećenjem. Povećanje opterećenja na dlijeto ostvaruje se otpuštanjem kočnice bubnja dizalice. Ovaj postupak na postrojenjima novije generacije u potpunosti je automatiziran primjenom automatskog bušaća.

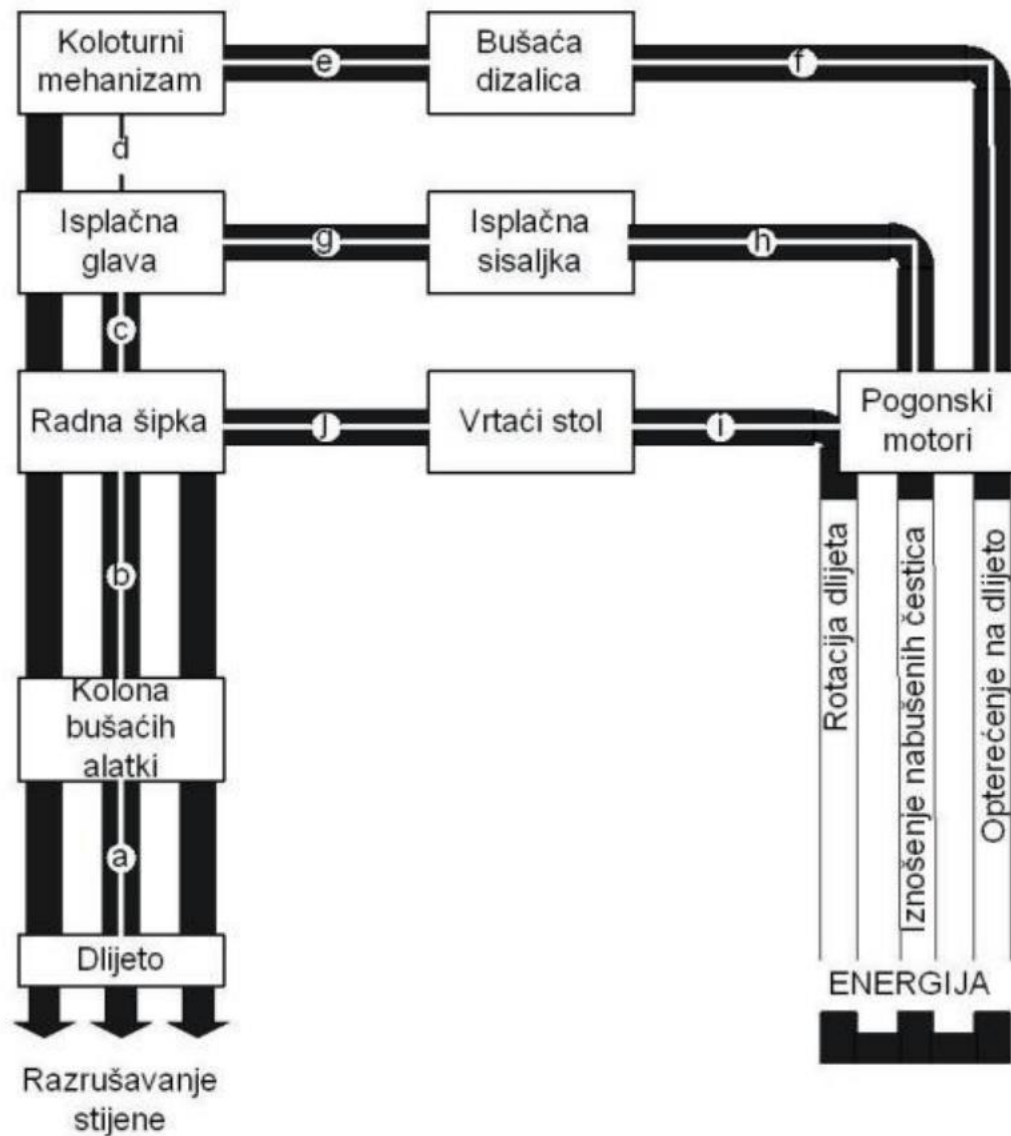
Bušaće postrojenje sa svojim osnovnim dijelovima prikazano je na slici 2-1., a na slici 2-2. nalazi se shematski prikaz djelovanja bušaćeg postrojenja na razrušavanje stijene na dnu bušotine kroz tri komponente procesa bušenja. Osnovne komponente niza bušaćih alatki prikazane su slikom 2-3.



Slika 2-1. Bušaće postrojenje sa svojim osnovnim dijelovima (Matanović, 2007)

Rotaciju dlijeta je moguće ostvariti na tri načina (Matanović, 2007):

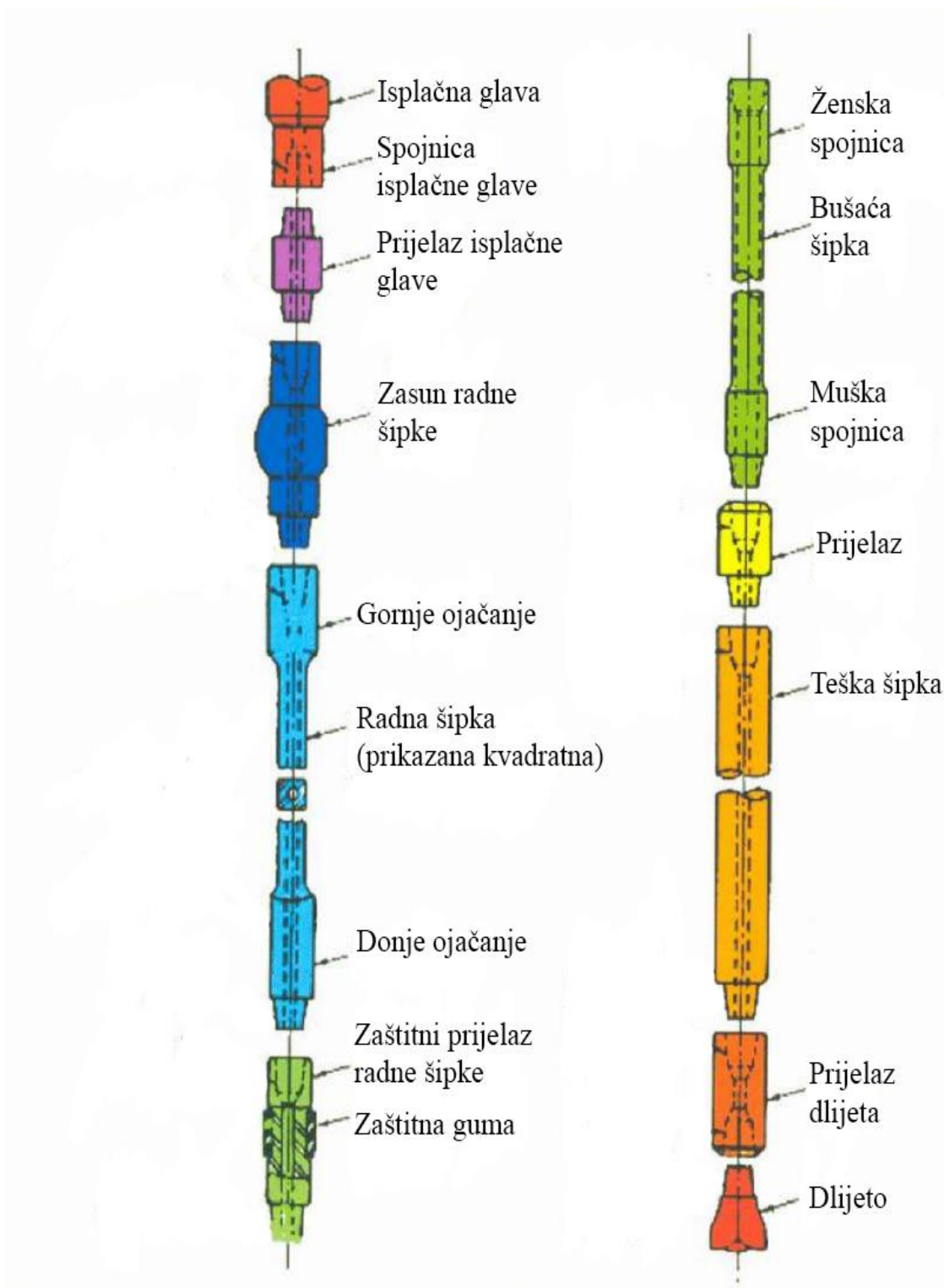
- vrtaćim stolom
- vršnim pogonom i
- dubinskim motorom.



Slika 2-2. Djelovanje bušačeg postrojenja kroz tri komponente procesa bušenja (Matanović, 2007)

Osnovne veličine bušačeg postrojenja su (Matanović, 2007):

- nosivost tornja (na kuki),
- snaga postrojenja, dakle mogućnost dizanja i spuštanja određene količine bušaćih alatki i brzina kojom se to obavlja,
- dobava i radni tlak isplačnih sisaljki,
- brzina vrtnje vrtačeg stola ili indirektno dlijeta,
- dimenzije tornja i njegove podstrukture.



Slika 2-3. Osnovne komponente niza bušaćih alatki (oilfieldfreelancer.com, 2020)

3. POMOĆNE ALATKE I OPREMA NA BUŠAĆIM POSTROJENJIMA PRI RUKOVANJU BUŠAĆIM ALATKAMA

Tijekom 20. stoljeća (koje mnogi u energetici nazivaju stoljećem nafte) zbog sve veće potražnje za naftom dolazi do značajnog tehnološkog razvoja bušaćih postrojenja. Jedan od aspekata razvoja bušaćih postrojenja podrazumijeva razvoj pomoćnih alatki i opreme za rukovanje bušaćim alatkama s primarnim ciljem smanjenja opsega fizičkog rada ljudi (koji je detaljnije opisan u poglavlju 3.1.) te povećanju razine sigurnosti rada na bušačem postrojenju. U bušaču praksu su tijekom 20. stoljeća uvedene inovacije poput navrtača radne šipke (engl. *kelly spinner*), automatskog sustava za odlaganje cijevnih bušaćih alatki unutar bušaćeg tornja u vertikalnom položaju, automatskog sustava za navrtanje/odvrtanje bušaćih alatki, itd. Moderna bušača praksa 21. stoljeća prati stupanj tehnološkog razvoja te se trenutno razvija i testira robotizirano rukovanje bušaćim alatkama.

3.1. PROCES RUKOVANJA BUŠAĆIM ALATKAMA NA PODIŠTU TORNJA TIJEKOM BUŠENJA

Na bušaćim postrojenjima rotaciju dlijeta je moguće postići tehnikom vrtaćeg stola i radne šipke, vršnim pogonom te dubinskim motorom. Vršni pogon je složeni uređaj koji se kreće po vlastitoj vodilici, ovješeno je na kuku pomičnog koloturja te ostvaruje rotaciju niza bušaćih alatki uz istovremeno omogućavanje protoka isplake. Također, omogućuje bušenje u pasovima bušaćih šipki te je stoga značajno efikasniji od vrtaćeg stola i zamjenjuje ga na većini modernih bušaćih postrojenja u vidu prijenosa rotacije na niz bušaćih alatki. Prilikom upotrebe vrtaćeg stola i radne šipke za prijenos rotacije nije moguće bušenje u pasovima od dvije ili tri bušaće šipke, već je moguće ostvariti samo onoliki napredak dlijeta koliko iznosi duljina radnog dijela radne šipke. U tu svrhu je radna šipka dulja od bušaćih šipki (koje su obično duljine oko 9 metara) te njezina duljina iznosi od 11,28 do 16,46 metara, pri čemu je najčešće u primjeni radna šipka duljine 12,19 metara (čiji je radni dio duljine 11,28 metara). Radna šipka je četverostrana ili šesterostrana čelična cijev koja prenosi energiju i rotaciju od vrtaćeg stola do niza bušaćih alatki i dlijeta. Na radni dio radne šipke je postavljena kupola radne šipke koja pravilno odsjeda u kupolu vrtaćeg stola (slika 3-1.) koja je s vrtaćim stolom povezana preko uložaka vrtaćeg stola (veza ostvarena zaticima prikazana na slici 3-2. ili kvadratnim oblikom uložka).



Slika 3-1. Kupola radne šipke unutar kupole vrtaćeg stola tijekom prijenosa rotacije na niz bušaćih alatki te bušaća šipka odložena u mišjoj rupi (Schlumberger Oilfield Glossary, 2021)



Slika 3-2. Kupola radne šipke s zaticima kojima se ostvaruje veza s kupolom vrtaćeg stola (oilfieldteam.com, 2018)

Rotacijom vrtaćeg stola rotira i glavni uložak vrtaćeg stola (kupola vrtaćeg stola), a samim time i kupola radne šipke te radna šipka koja zatim pokreće rotaciju cijelog niza bušačkih alatki koje su na nju navrnute. Ukoliko je primijenjeno opterećenje na dlijeto otpuštanjem kočnice bubnja dizalice i uspostavljena cirkulacija isplake, proces bušenja odnosno dlijeto će napredovati. Prilikom napretka dlijeta i bušačkog niza radna šipka u vrtaćem stolu klizi duž sustava valjčića koji su raspoređeni u skladu s oblikom poprečnog presjeka radne šipke (kvadratna ili šesterokutna raspodjela). Nakon napretka dlijeta za raspoloživu duljinu radnog dijela radne šipke (dijela duljine koji je iznad kupole vrtaćeg stola) potrebno je zaustaviti cirkulaciju isplake prekidanjem rada isplačnih sisaljki, a alatke je potrebno zadignuti iz bušotine namatanjem bušačkog užeta na bubanj dizalice, ukliniti ih u vrtaćem stolu pomoću klinova neposredno ispod ženskog navojnog spoja najgornje bušaće šipke u nizu, radnu šipku odvrnuti od ostatka uklinjenog niza, a zatim manipulirati njome unutar tornja dok je ovješena na kuku kako bi se dovela u položaj za navrtanje nove bušaće šipke odložene u mišju rupu koju treba dodati u niz bušačkih alatki. Uklinjavanje alatki podrazumijeva ručno postavljanje ručnih klinova unutar vrtaćeg stola od strane klinaša koji rade na podištu tornja, a sprječava slobodni pad alatki na dno bušotine i značajno oštećenje dlijeta. Nakon kontroliranog dotezanja ženskog navoja bušaće šipke koju je potrebno dodati u niz i muškog navoja koji se nalazi na zaštitnom prijelazu radne šipke, potrebno je pomični koloturni blok s kukom na kojem u tome trenutku visi isplačna glava, radna te bušaća šipka pomaknuti prema gore, a viseće cijevne alatke centrirati iznad ženskog navoja bušaće šipke koja je s ostatkom niza uklinjena u vrtaćem stolu. Zatim je potrebno dotegnuti muški navoj bušaće šipke koja visi na kuki zajedno s radnom šipkom i isplačnom glavom i ženski navoj bušaće šipke uklinjene u vrtaćem stolu (slika 3-3.).



Slika 3-3. Dodavanje nove bušaće šipke upravo podignute iz mišje rupe na uklinjeni niz bušaćih alatki te njezino navrtanje pomoću lanaca i para ručnih kliješta
(CalculatedRiskFilms, 2014)

Isplačna glava je dio sustava ovješena direktno na kuki pomičnog koloturnog bloka (pomoću stremena) te omogućuje utok isplake u unutrašnjost niza cijevnih bušaćih alatki preko gibljivog crijeva, a izvedena je tako da dopušta rotaciju alatki odnosno radne šipke (pomoću radnog ili „T“ vretena oslonjenog na glavni aksijalni ležaj unutar kućišta isplačne glave), koja se nalazi ispod nje u nizu (nakon spojnice isplačne glave i zasuna radne šipke), a da ona sama ne rotira. Nakon dotezanja navojnih spojeva na bušaćim šipkama, cijeli povezani niz se otklinjuje iz vrtaćeg stola, niz alatki se spušta dok se ne dosegne dno bušotine, kupola radne šipke odsjeda u kupolu vrtaćeg stola te se pokretanjem cirkulacije isplake uz prenošenje opterećenja na dlijeto i rotaciju vrtaćeg stola nastavlja proces bušenja. Navrtanje i odvrtanje navojnih spojeva bušaćih alatki na podištu bušaćeg tornja obavlja se pomoću metalnih lanaca ili konopljinog užeta namotanog na mosure bubnja bušaće dizalice, a njihovo završno dotezanje na optimalan moment dotezanja propisan API standardom obavlja se pomoću ručnih kliješta ili automatskog sustava za navrtanje (automatska kliješta). Tijekom operacija na podištu tornja navojne spojeve na alatkama je konstantno potrebno podmazivati mazivom što doprinosi brtvljenju navojnog spoja te štiti spoj od erozije i korozije (slika 3-4.).



Slika 3-4. Podmazivanje muškog navoja bušaće šipke upravo uvedene u toranj pomoću zračnog vitla prije njezinog odlaganja u mišju rupu (CalculatedRiskFilms, 2014)

Proces bušenja i dodavanja novih bušaćih šipki u niz se zaustavlja nakon što je dosegnuta ciljana dubina bušotine, a zatim se u bušotinu uglavnom na žici spušta karotažna sonda kako bi se utvrdile točne dubine intervala naftonosnih stijena. Nakon analize rezultata mjerenja bušotina se prema procjenama geologa može produbiti, a zatim se ugrađuje proizvodni niz zaštitnih cijevi koji je potrebno pravilno cementirati. Nakon kompletiranja bušotine (ugradnja lajnera, zamjena bušotinskog fluida, postavljanje erupcijskog uređaja na ušće bušotine i sl.) proces bušenja završava te započinje proces opremanja bušotine ugradnjom proizvodne opreme, uspostavlja se komunikacija između ležišta i kanala bušotine (perforiranje) te započinje proizvodnja ležišnog fluida. Dakle, tijekom napredovanja procesa bušenja konstanto je potrebno pravilno, efikasno i što je brže moguće dodavati nove bušaće šipke u niz bušaćih alatki kako se povećava duljina kanala bušotine nizanjem prethodno opisanih postupaka rukovanja s bušaćim alatkama i opremom uz održavanje što veće sigurnosti i zaštite ljudi i bušaćeg postrojenja u cjelini. U modernoj bušaćoj praksi bušotine mogu biti duge i preko 10 000 metara te se postupak dodavanja nove bušaće šipke u niz može ponavljati od nekoliko desetaka puta pa čak i do tisuću i više puta. Proces rotacijskog bušenja stoga podrazumijeva iscrpljujući fizički rad ljudske posade na podištu tornja koji je ponovljive prirode što može rezultirati kroničnim umorom ljudskog organizma i značajnim padom koncentracije te u konačnici smanjenjem efikasnosti procesa bušenja u cjelini i smanjenjem razine sigurnosti na podištu tornja.

Smanjena koncentracija i umor posade na podištu bušaćeg tornja može dovesti do pogrešaka pri rukovanju alatkama i opremom koje mogu rezultirati različitim ozljedama, poput nagnječenja alatom slabog intenziteta sve do pada predmeta s visine opasnog po život. Ponovljiva priroda procesa bušenja očituje se i na alatkama te opremi u vidu zamora materijala koji je pod konstantnim i izmjeničnim vlačnim, tlačnim ili torzijskim naprezanjima, a u slučaju otklonjene osi kanala bušotine pri procesu usmjerenog bušenja na bušaćim alatkama je izraženo i naprezanje uslijed savijanja. Zamor materijala dovodi do povećanog trošenja, erozije, elastičnih i plastičnih deformacija te u konačnici puknuća materijala što rezultira smanjenom efikasnosti i sigurnosti procesa bušenja na podištu tornja. Stoga je alatke potrebno zaštititi od negativnih utjecaja i udaraca, reducirati njihova oštećenja te zamor materijala od kojeg su izrađene što je više moguće tijekom procesa bušenja. Kroz cijelu povijest postojanja bušaće prakse u naftnoj industriji razvijale su se i usavršavale pomoćne alatke i oprema koja će ljudskoj posadi olakšati rad pri rukovanju bušaćim alatkama na podištu tornja kako bi se povećala efikasnost i sigurnost rada, smanjilo vrijeme potrebno za izvođenje strojno-ručnih operacija, a samim time povećala brzina procesa bušenja te njegova profitabilnost u cjelini. Svaka ovakva inovacija uvedena na bušaće postrojenje unaprjeđuje tehnološke karakteristike bušaćeg postrojenja te povećava njegovu „atraktivnost“ za najam i upotrebu. Neke od ovakvih pomoćnih alatki pri rukovanju bušaćim alatkama koje su uspješno implementirane u rad sustava za prijenos rotacije te sam niz bušaćih alatki i na radnom podištu tornja detaljnije su opisane i prikazane u nastavku.

3.2. PRIJELAZI

Prijelazi su kratki komadi odgovarajuće cijevi s navojnim spojevima na oba kraja. Primjenjuju se za međusobno spajanje pojedinih dijelova bušaćih alatki (Matanović, 2007). Prijelaze je potrebno ugraditi u niz bušaćih alatki kadgod je potrebno spojiti dvije cijevi različitog tipa ili dimenzija navoja. Stoga se prijelaz u pravilu ugrađuje između najgornje teške i najdonje bušaće šipke u nizu cijevnih alatki, pošto teške šipke najčešće imaju različiti navojni spoj od bušaćih šipki. Prijelaz se također postavlja između dlijeta i najdonje teške šipke jer dlijeto ima muški tip navoja, kao i donji kraj teške šipke, a uobičajeno su i dimenzije tih navoja različite. Stoga prijelaz na dlijetu (engl. *bit sub*) ima ženski tip navoja na oba kraja (slika 3-5.).



Slika 3-5. Prijelaz na dlijetu s ženskim tipom navoja na oba kraja tvrtke Sub-drill (Sub-drill, 2021a)

Veliki značaj u nizu bušaćih alatki ima prijelaz s ugrađenim dubinskim sigurnosnim protupovratnim ventilom (engl. *float subs*) čija je funkcija zaustaviti protok isplake prema površini kroz niz bušaćih alatki do kojeg može doći ukoliko se proces bušenja odvija kroz zonu povećanog, moguće i neočekivanog ležišnog tlaka. Dubinski protupovratni ventil često može spriječiti ulazak i nakupljanje krhotina razrušenih stijena unutar sastava krutog alata pri dnu kanala bušotine. Također, ugrađeni dubinski sigurnosni protupovratni ventil mora osigurati neometani protok isplake prema dnu bušotine tijekom uobičajenog rada, kako bi došlo do zadovoljavajućeg porasta dinamičke komponente tlaka prilikom suženja pri protjecanju kroz mlaznice dlijeta čime se osigurava potrebna brzina isplake na dnu kanala bušotine za uspješno podizanje krhotina razrušenih stijena. Prijelazi u koje se ugrađuju dubinski sigurnosni protupovratni ventili najčešće su izrađeni s provrtom pri dnu ženskog navoja u kojeg odsjedaju brtvene gume protupovratnog ventila. Na slici 3-6. prikazan je prijelaz kompanije Sub-drill u koji je moguće ugraditi protupovratni ventil s zaklopcem i bočnim gumenim brtvenim elementima (prikazan slikom 3-7.). Ventil je namjenski dizajniran za primjenu u nizu bušaćih alatki kroz koje protječe visoko abrazivni fluid. Dubinski sigurnosni protupovratni ventil često se ugrađuje u prijelaz na dlijetu te tako pruža dodatnu zaštitu pri dnu bušaćeg niza od erupcije (koja je moguća ukoliko je

ležišni tlak veći od tlaka stupca isplake u prstenastom prostoru) te sprječava djelovanje tlaka prema površini i ušću bušotine unutar bušaćeg niza dok posada odvrće/navrće navojne spojeve na bušaćim alatkama.



Slika 3-6. Prijelaz kompanije Sub-drill s izrađenim provrtom u koji se ugrađuje protupovratni ventil (Sub-drill, 2021a)



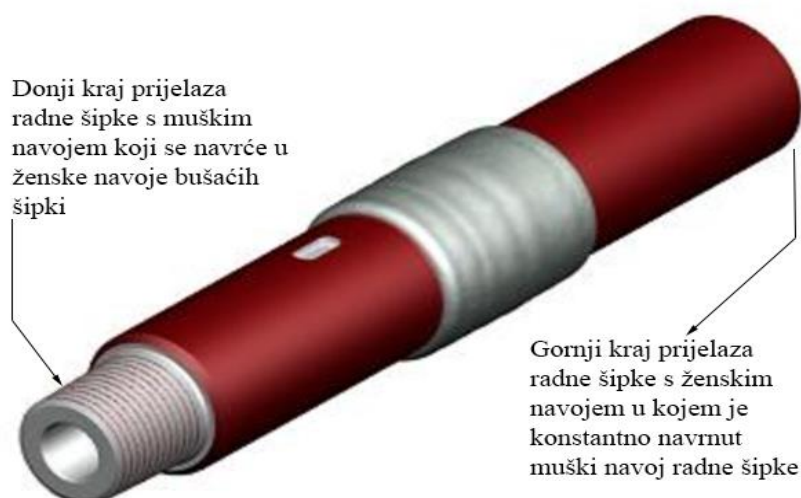
Slika 3-7. Protupovratni ventil s zaklopcem (oiltools.kz, 2021)

Tip prijelaza označava se na njegovom tijelu (utor za označavanje). Potrebno je voditi točnu evidenciju dimenzija prijelaza postavljenih u niz bušaćih alatki te znati na kojoj se dubini nalaze u bušotini. Takvu evidenciju je obvezno imati kako bi se znao točan vanjski i unutarnji promjer niza bušaćih alatki na određenoj duljini osi bušotine u slučaju da je potrebno spuštati alatke za instrumentaciju u bušotinu pri zaglavi ili lomu bušaćih alatki. Također, u upotrebi su i prijelazi za podizanje bušaćih alatki koji nisu sastavni dio niza, već se koriste pri rukovanju teškim i bušaćim šipkama s odlagališta u toranj i obratno. Izrađeni su tako da omogućće prihvat elevatorom, ako to na samoj bušaćoj alatki nije predviđeno. U tom slučaju primjenjuju se tako izrađeni prijelazi za podizanje da ne treba mijenjati elevator pri prijelazu s bušaćih na teške šipke ili obratno. S obzirom na to da je na

njima kratkotrajno zavješeni cijeli niz alati, njihove je navojne spojeve s bušaćim alatkama potrebno pravilno dotegnuti kliještima za dotezanje. Problem kod ovih prijelaza nastaje kada nisu izrađeni iz standardom predviđenih materijala, uz loše izrađene navojne spojeve. Dok ih se ne koristi, njihovi navoji bi trebali biti zaštićeni štitnicima uz prethodno čišćenje i podmazivanje, te smješteni na za to predviđenom prostoru podišta tornja.

3.2.1. Prijelaz radne šipke

Prijelaz radne šipke (engl. *kelly saver sub*) je kratka cijev s ženskim navojem na jednom kraju koji se navrće na muški navoj radne šipke, i muškim navojem na drugom kraju koji se navrće u ženski navoj bušaće šipke (slika 3-8.). Dakle, na prijelaz radne šipke je navrnut cijeli niz bušaćih alati osim radne šipke na koju je on sam navrnut. Nakon što je ostvaren napredak dlijeta te je potrebno dodati novu bušaću šipku u niz, odvrtne se navojni spoj između muškog navoja prijelaza radne šipke i ženskog navoja bušaće šipke uklinjene u vrtačem stolu. Zatim se doteže navojni spoj između muškog navoja prijelaza radne šipke i ženskog navoja bušaće šipke odložene u mišjoj rupi. Na ovaj način je upotrebom prijelaza radne šipke ostvareno minimalno trošenje muškog navoja na samoj radnoj šipci jer se njegova veza s ženskim navojem prijelaza gotovo nikada ne prekida, već je u konstantnoj upotrebi muški navoj prijelaza radne šipke. Zamjena potrošenog prijelaza radne šipke predstavlja minornu investiciju finansijskih sredstava i vremena u odnosu na zamjenu i kupovinu nove radne šipke koja je kapitalna investicija na bušaćem postrojenju. Slijedom navedenog, prijelaz radne šipke je potrošna pomoćna alatka uvedena u bušaću praksu s ciljem smanjenja trošenja, zamora materijala i oštećenja skupljih alati sustava.



Slika 3-8. Prijelaz radne šipke (ebicoilfield.com, 2015)

3.2.2. Vršni pogon i zaštitni prijelazi vršnog pogona tvrtke Sub-drill

Na gotovo svim bušaćim postrojenjima novije generacije umjesto radne šipke u upotrebi je vršni pogon. Vršni pogon je integrirani transmisijki sklop koji omogućuje rotaciju niza bušaćih alatki uz istovremeni protok isplake te bušenje u pasovima bušaćih šipki prethodno spojenih pomoću automatiziranih sustava za navrtanje/odvrtanje cijevnih alatki te odloženih u vertikalnom položaju u za to predviđen skladišni prostor (engl. *fingerboard*) unutar tornja pomoću automatiziranih sustava za rad s alatkama u vertikalnom položaju koji se često sastoje od više upravljivih teleskopskih ruku za rukovanje bušaćim alatkama. Vršni pogon se sastoji od integriranog pogonskog motora, mijenjačke kutije, isplačne glave, sklopa za navrtanje/odvrtanje cijevnih alatki te elevatora. Sustav se kreće po vodilicama koje ujedno služe i za poništavanje reaktivnog okretnog momenta, a unutar tornja je centriran u odnosu na vertikalnu os bušotine te ovješeno na kuki pomičnog koloturnog bloka. Primjena vršnog pogona značajno smanjuje prijenos torzijskih vibracija na niz bušaćih alatki u odnosu na primjenu radne šipke i vrtaćeg stola. Na slici 3-9. prikazan je električni (elektromotorni) vršni pogon Canrig® 1275 AC kompanije Canrig Drilling Technology snage 846 kW kojim se može pouzdano prenositi rotacija na bušaći niz težine do 7 355 kN.



Slika 3-9. Vršni pogon Canrig® 1275 AC (klondike.no, 2021)

Zaštitni prijelazi vršnog pogona (engl. *top drive saver subs*) tvrtke Sub-drill, prikazani slikom 3-10., dostupni su u dvije varijante (Sub-drill, 2021b):

- s glatkim cijevnim dijelom (dijelom koji nije navoj),
- s cijevnim dijelom na kojem su izrađeni utori.

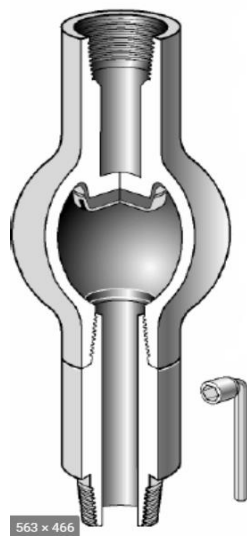
Upotrebom zaštitnog prijelaza između vršnog pogona i ostatka niza bušaćih alatki smanjuje se trošenje elemenata na vršnom pogonu, a samim time i troškovi popravka opreme i održavanja. Odabrana varijanta prijelaza koja se koristi na određenom bušaćem postrojenju ovisit će o tehničkim zahtjevima i specifikacijama vršnog pogona. Svi zaštitni prijelazi vršnog pogona tvrtke Sub-drill izrađeni su u skladu s OEM specifikacijama materijala te su dostupni svi tipovi navoja – API, NOV Grant Prideco, VAM, Tenaris, itd.



Slika 3-10. Obje varijante zaštitnog prijelaza vršnog pogona tvrtke Sub-drill (Sub-drill, 2021b)

3.3. ZASUN RADNE ŠIPKE I ZASUNI VRŠNOG POGONA

Iznad radne šipke, tj. između nje i prijelaza isplačne glave, postavlja se zasun radne šipke (engl. *upper kelly valve*). Zasun radne šipke (slika 3-11.) je specijalni zasun koji se lako raspoznaje po kuglastom proširenju tijela. Moguće ga je zatvoriti ukoliko dođe do neželjenog proboja slojnog fluida iz bušotine kroz bušaću alatku, a također sprječava djelovanje bušotinskog tlaka na isplačnu glavu, gibljivo crijevo i stojku. Za njegovo zatvaranje primjenjuje se poseban ključ, kojeg posada čuva na odlagalištu unutar radnog podišta tornja. Sigurnosni ventil (engl. *lower kelly valve*) postavlja se između donjeg dijela radne šipke i ostatka niza bušaćih alatki. Kada je radna šipka zadignuta iznad vrtaćeg stola, pri dodavanju bušaćih ili teških šipki tijekom napretka procesa bušenja, nije moguće lako dosegnuti zasun radne šipke u slučaju neželjenog dotoka slojnog fluida iz bušotine kroz šipke. U tom slučaju se, za sprječavanje neželjenog dotoka navrće u spojnicu bušaću šipke protupovratni ventil (engl. *safety valve*) koji će onemogućiti istjecanje slojnog fluida iz bušaćih alatki na površinu. Sigurnosni protupovratni ventili moraju na bušaćem postrojenju biti dostupni za sve promjere alatki od kojih je sastavljen bušaći niz. On je pogotovo u primjeni kada je radna šipka s zasunima i isplačnom glavom odložena u kosoj rupi tijekom spuštanja ili izvlačenja niza bušaćih alatki iz bušotine. Navrtanjem radne šipke u ženski navoj protupovratnog ventila ostvaruje se navojni spoj te je moguće protiskivati fluid u bušotinu, ali će se zbog djelovanja protupovratnog ventila izgubiti mogućnost registriranja tlaka u bušaćim šipkama pri zaustavljenoj cirkulaciji isplake (isključene isplačne sisaljke). Zasun radne šipke se na odobalnim postrojenjima u pravilu postavlja ne samo iznad, već i ispod radne šipke s primarnim ciljem sprječavanja istjecanja isplake iz radne šipke prilikom njezinog zadizanja nakon što je odvrnuta od ostatka niza bušaćih alatki uklinjenih u vrtaćem stolu. Zasun radne šipke je alatka koja povećava kontrolu nad ušćem bušotine, doprinosi sigurnosti na radu budući da minimalizira količine izlivenne isplake na radno podište tornja te tako smanjuje njegovu skliskost, a također doprinosi i zaštiti morskog okoliša na odobalnim postrojenjima od zagađenja isplakom koja može biti obogaćena raznim kemikalijama i aditivima.



Slika 3-11. Zasun radne šipke (drillingmanual.com, 2021)

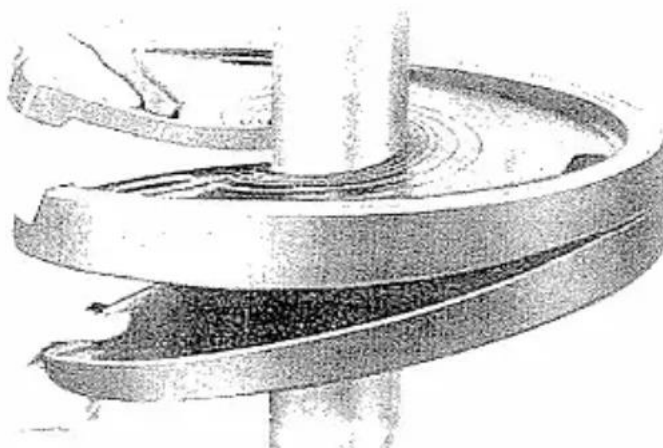
Na postrojenjima novije generacije koja koriste vršni pogon za prijenos rotacije na niz bušaćih alatki instaliraju se dva sigurnosna zasuna, jedan iznad, a drugi ispod vršnoga pogona (slika 3-12.). Oba zasuna su najčešće kuglasta te jednakih dimenzija. Također, oba zasuna su najčešće nedostupna za ručnu aktivaciju tijekom procesa bušenja pošto se na postrojenjima koja koriste vršni pogon najčešće buši u pasovima bušaćih šipki koji su obično duljine 27 metara. Stoga je za upravljanje gornjim sigurnosnim zasunom uvijek omogućena daljinska kontrola, a donji zasun se aktivira ručno. Budući da su tijekom izvlačenja ili spuštanja alatki u bušotinu sigurnosni zasuni vršnoga pogona još uvijek ovješeni na kuki, nije potrebno ručno navrtati sigurnosne protupovratne ventile u ženske navoje bušaćih šipki koji se prilikom upotrebe radne šipke na bušaćim postrojenjima moraju pravilno skladištiti na podištu tornja.



Slika 3-12. Sigurnosni zasuni vršnoga pogona (tiptopm.com, 2021)

3.4. ČISTAČI

Čistači cijevi su gumeni prstenovi koji se postavljaju oko bušaćih alatki i učvršćuju unutar bušaćeg stola, te služe za brisanje isplake s njih tijekom izvlačenja iz bušotine (slika 3-13.). Oni istovremeno sprječavaju upadanje krupnijih predmeta i nečistoća u bušotinu (Matanović, 2007).



Slika 3-13. Čistač bušaćih šipki (Matanović, 2007)

3.4.1. Čistači cijevi tvrtke CPP Distribution

Čistači cijevi (engl. *pipe wipers*) tvrtke CPP Distribution izrađeni su od gumene smjese koja je elastična čak i pri izrazito niskim temperaturama te se mogu koristiti kod primjene isplake na bazi vode kao i kod primjene isplake na bazi ulja. Uobičajeno se postavljaju oko bušaćih šipki na bušaćim postrojenjima, te tubinga na remontnim postrojenjima. Njihova primarna namjena je čišćenje bušaćih šipki ili tubinga od krhotina, isplake ili paker fluida kako bi se omogućilo što sigurnije rukovanje bušaćim alatkama te održavalo radno podište tornja čistim u svrhu minimaliziranja njegove skliskosti. Svi gumeni čistači cijevi tvrtke CPP Distribution ojačani su teškim metalnim prstenom od opružnog čelika kako bi se čistač što manje deformirao pri kontaktu s predmetom koji potencijalno upada u bušotinu te tako što vjerojatnije zaustavi njegov pad. Predmet ili alatka koja je izrađena od čvrstog materijala, a upala je u bušotinu može izazvati značajne probleme tijekom bušenja (npr. zaglava i oštećenje dlijeta) te ju je zatim potrebno izvaditi iz kanala bušotine što je proces koji se vrlo lako zakomplicira te može zahtijevati puno vremena i u konačnici značajan gubitak financijskih sredstava pošto je potrebno zaustaviti proces bušenja (cppdist.com, 2021).

3.4.1.1. Dvojni čistač cijevi tvrtke CPP Distribution

Dvojni čistač (engl. *dual split pipe wipers*) cijevi tvrtke CPP Distribution prikazan slikom 3-14. ima dvije gumene brisajuće površine koje uklanjaju bušaći fluid iznimno efikasno te osiguravaju gotovo čistu cijev na podištu tornja pri izvlačenju alatki iz bušotine. Svi dvojni čistači su ojačani čeličnim prstenom u svrhu povećanja izdržljivosti. Donja i gornja brisajuća površina čistača razmaknute su dovoljno da se spriječi zadržavanje čvrstih čestica, a opet je cijela jedinica dovoljno tanka kako ne bi ometala rad sustava za prijenos rotacije. Dvojni čistači mogu biti ukalupljeni u jednu jedinicu koristeći specijalnu gumenu smjesu otpornu na vrlo niske temperature kako bi se osigurala fleksibilna dvostruka brisajuća površina čak i pri izrazito hladnom vremenu. Ovakav dvojni dizajn čistača je dokazao svoju izdržljivost i efikasnost u primjeni te ga je moguće vrlo lako zamijeniti tijekom procesa bušenja bez potrebe za odvajanjem bušaćih alatki na radnom podištu tornja.



Slika 3-14. Dvojni čistač RNE-21" tvrtke CPP Distribution vanjskog promjera 53,34 cm dostupan za sve vanjske promjere bušaćih alatki (cppdist.com, 2021)

Čistači cijevi tvrtke CPP Distribution dostupni su u raznim veličinama i bojama te se mogu izraditi od specijalnih gumenih smjesa kako bi se što više udovoljilo potrebama bušača i prilagodilo uvjetima na određenom bušaćem postrojenju. Unutarnji promjer čistača može biti specifično određen u odnosu na vanjski promjer bušaće alatke (cppdist.com, 2021).

3.5. NAVRTAČ RADNE ŠIPKE

Kako je prethodno opisano, dotezanje navojnih spojeva na bušaćim alatkama moguće je ostvariti pomoću metalnih lanaca ili konopljinog užeta na jednom kraju namotanih na mosure bubnja dizalice, dok se njihov drugi kraj namotava oko spojnice bušaće alatke. Potrebno je ostvariti zadovoljavajuće trenje između užeta ili lanca i tijela spojnice bušaće alatke kako bi se spojnica počela kretati zajedno sa užetom ili lancem prilikom njegovog namatanja na mosuru. Završno dotezanje na zadovoljavajući moment dotezanja (engl. *make-up torque*) koji je za standardne cijevi propisan API standardom obavlja se pomoću ručnih kliješta. Pomoćne alatke koje su uvedene u bušaću praksu s ciljem olakšavanja fizičkog rada posade i ubrzanja procesa dotezanja i odvrtnja navojnih spojeva na bušaćim alatkama ili zaštitnim cijevima tijekom procesa bušenja jesu navrtač radne šipke, pneumatska (zračna) te hidraulička kliješta.

3.5.1. Navrtač radne šipke KS-6600 tvrtke National Oilwell Varco

Navrtač radne šipke (engl. *kelly spinner*) KS-6600 tvrtke National Oilwell Varco (shematski prikazan slikom 3-15.) je integrirani dio sustava za rukovanje alatkama na podištu tornja pogonjen vanjskim pneumatskim (zračnim) motorom. Dakle, navrtač radne šipke je zrakom pogonjena alatka koja se postavlja između prijelaza isplačne glave i zasuna radne šipke. Prilikom instalacije navrtača radne šipke KS-6600 donji muški navoj prijelaza isplačne glave i gornji ženski navoj zasuna radne šipke potrebno je dotegnuti s navojima na navrtaču radne šipke momentom dotezanja 67 791 Nm. Navrtač radne šipke služi za automatizirano navrtanje navojnih spojeva na bušaćim alatkama. Također, može se koristiti za polagano rotiranje bušaće šipke s navrnutom krunom u svrhu izrađivanja mišje ili kose rupe. Alatka ima dva ulaza zraka pod tlakom, jedan za navrtanje, a drugi za odvrtnje navojnih spojeva, koje kontrolira bušač putem konzole bušaća. Stoga upotreba značajno opasnijih lanaca ili konopljinog užeta nije potrebna. Osnovni tehnički parametri navrtača radne šipke navedeni su u tablici 3-1.

Glavne komponente navrtača radne šipke KS-6600 (National Oilwell Varco, 2007):

- lančani zatezači za poništavanje reaktivnog momenta (kako se ne bi rotirao navrtač radne šipke već same alatke čije se navojne spojeve želi odvrtni ili navrtati);
- lančane poveznice potrebne za fiksiranje lančanih zatezača za poništavanje reaktivnog momenta na braniku stremena;

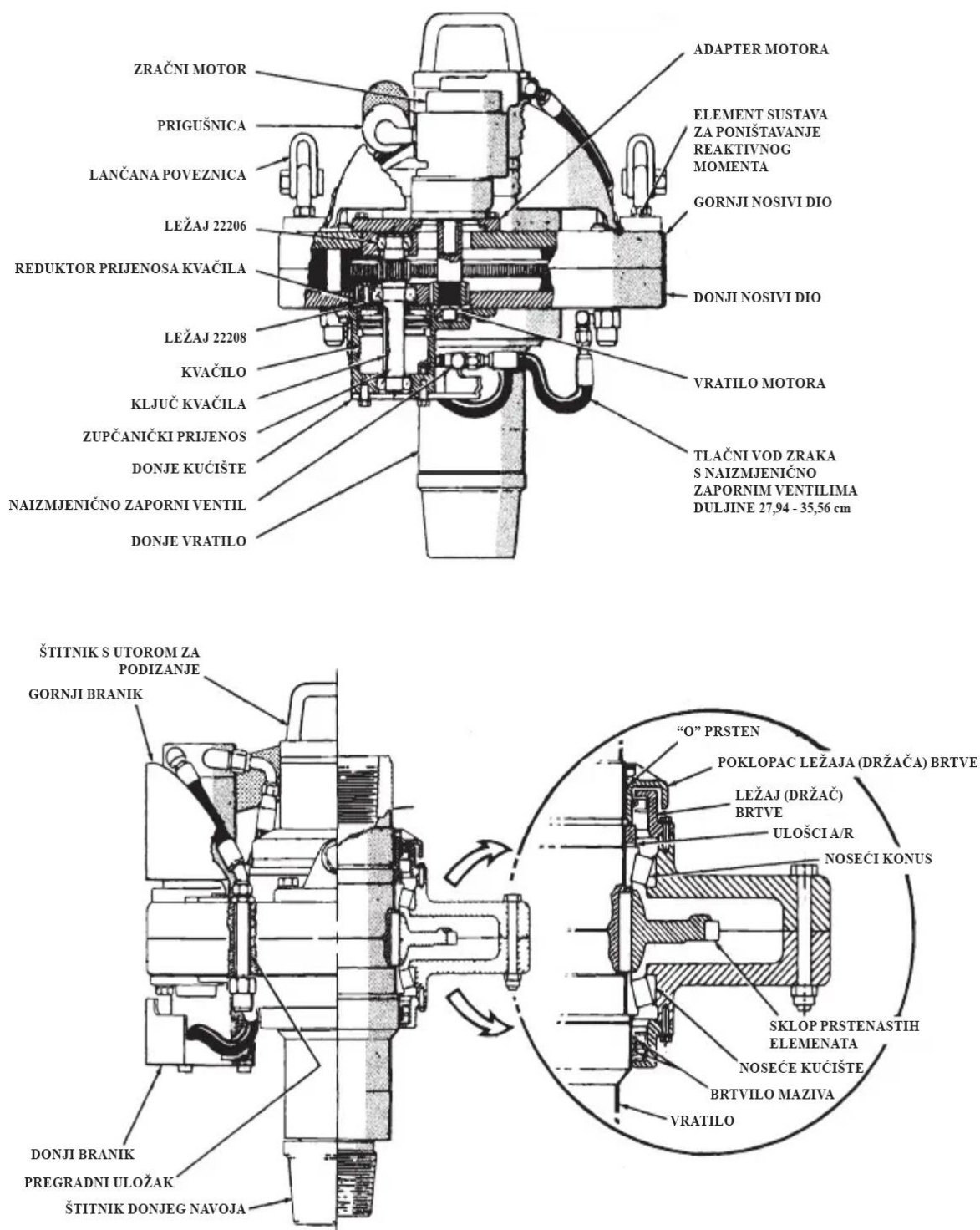
- glavni zračni vod – dostupan u duljinama od 18,9 m do 23,5 m. Može biti izveden s metalnim prstenovima pomoću kojih se glavni zračni vod fiksira za vanjski obod gibljivog crijeva te se tako kreće zajedno s njim prilikom zadizanja ili spuštanja pomičnog koloturja. Ovaj zračni vod povezuje navrtlač radne šipke sa sustavom glavnih ventila na stojci. Zračni vod ima dvije linije kroz koje zrak prolazi, jednu za odvrtnanje, a drugu za navrtanje navojnih spojeva;
- sustav glavnih ventila na stojci;
- spremnik s mazivom koji se postavlja u dovodni vod zraka;
- filter s automatskim čišćenjem koji se postavlja u dovodni vod zraka;
- kontrolni ventil postavljen na bušačevoj konzoli korišten za kontroliranje (otvaranje i zatvaranje) sustava glavnih ventila na stojci;
- kontrolni vod – vod koji povezuje kontrolni ventil na bušačevoj konzoli sa sustavom glavnih ventila na stojci;
- regulator tlaka zraka koji treba podesiti na tlak od 620 kPa;
- ostala oprema koju kupac mora osigurati za pravilno uklapanje navrtčača radne šipke u svakodnevni rad, a prikazana je na slici 3-16.

Navrtlač radne šipke KS-6600 prilikom kupovine dolazi s detaljnim uputama za instalaciju, sastavljanje i rastavljanje, pravilan rad i održavanje svake komponente njegovog sustava.

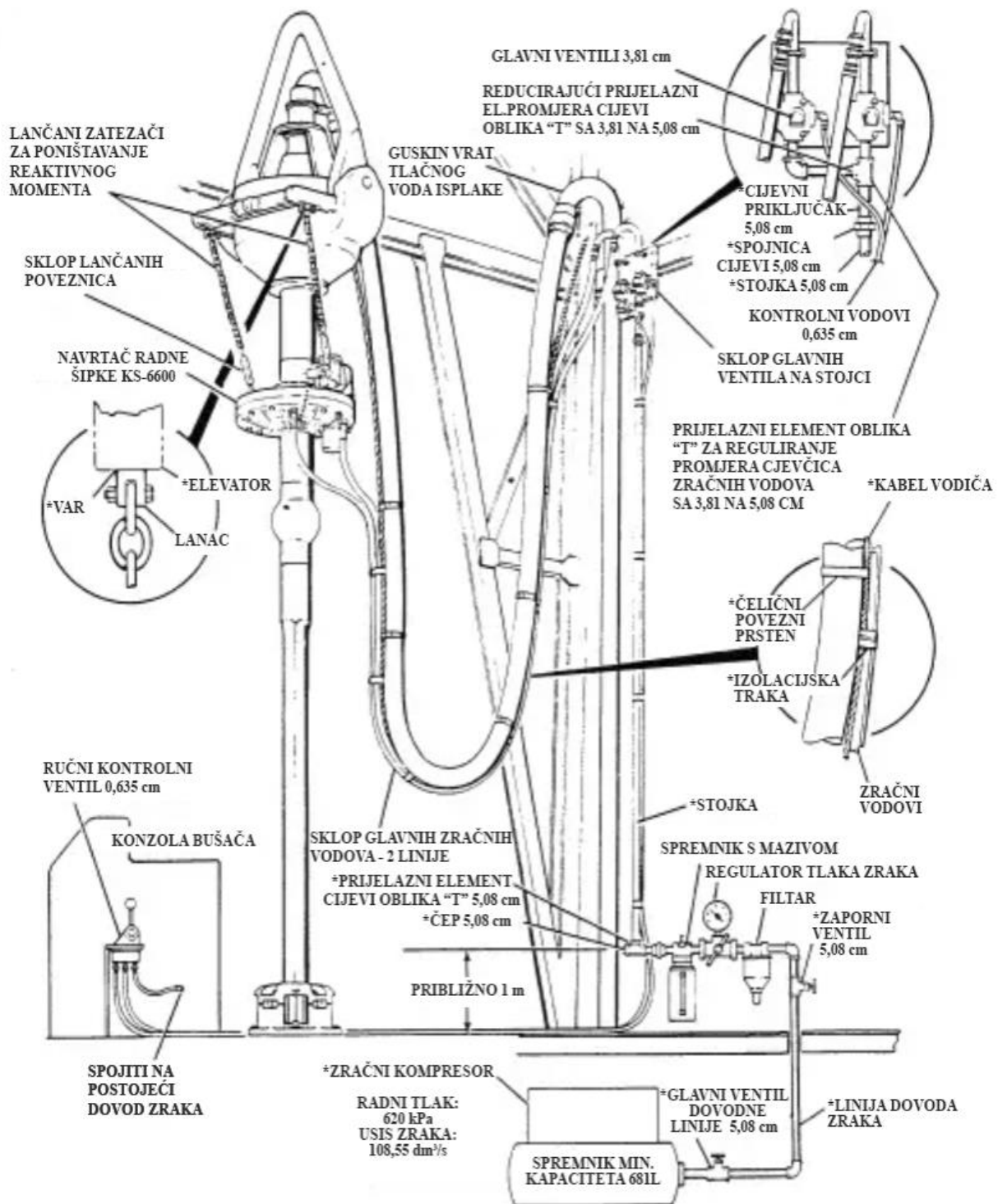
Tablica 3-1. Osnovni tehnički parametri pneumatskog navrtčača radne šipke KS-6600 (National Oilwell Varco, 2007)

Parametar	Vrijednost
Navojni spoj	6 5/8" API Reg. LH
Ukupna težina	4933 N
Oznaka maziva i kapacitet spremnika	SAE 40 oil, 5 l
Visina	978 mm
Vanjski promjer	711 mm
Masa	504 kg
Izvedba pri radnom tlaku od 620 kPa	
Maksimalni zakretni moment koji sustav može ostvariti pri navrtanju	1627 Nm
Brzina rotacije osovine	110 o/min

Usis zraka	108,55 dm ³ /s
Mogućnost rotacije	ulijevo i udesno



Slika 3-15. Shematski prikaz navrtača radne šipke KS-6600 tvrtke National Oilwell Varco (National Oilwell Varco, 2007)



Legenda:

x cm - predstavlja duljinu promjera određene komponente sustava u centimetrima

* - komponente sustava koje kupac mora osigurati za pravilno uklapanje navrtčača radne šipke KS-6600 u svakodnevni rad te nisu osigurane od strane proizvođača

Slika 3-16. Osnovne komponente sustava navrtčača radne šipke KS-6600 te njegova implementacija u rad s alatkama na podištu tornja (National Oilwell Varco, 2007)

3.6. HIDRAULIČKA KLIJEŠTA TVRTKE WEATHERFORD

Tvrtka Weatherford proizvodi kliješta raznih tehničkih izvedbi, koja se mogu koristiti za odvrtnje i navrtanje spojnica na zaštitnim cijevima, standardnih spojnica, spojnica koje zahtjevaju veliki moment dotezanja, premium spojnica, itd. Kliješta tvrtke Weatherford nude opciju potpuno automatiziranog rada pomoću daljinske kontrole ili poluautomatiziranog rada te su u potpunosti kompatibilna s Weatherfordovim mehaniziranim sustavima za pozicioniranje kliješta (PowerFrame® i PowerScope® sustavi).

3.6.1. Kliješta tvrtke Weatherford za spojnice zaštitnih cijevi koje zahtijevaju velik moment dotezanja

Weatherford 14-50 hidraulička kliješta velikog momenta dotezanja za spojnice zaštitnih cijevi (engl. *Weatherford 14-50 high-torque casing tong*) sposobna su ostvariti 67 790 Nm momenta dotezanja prilikom ugradnje zaštitnih cijevi vanjskog promjera od 16,83 do 35,56 cm, a prikazana su na slikama 3-17. i 3-18. Kliješta imaju jedinstveni ograđeni rotacijski dio koji gotovo hermetično obuhvaća površinu tijela cijevi i spojnice prilikom dotezanja kako bi se ostvarila što veća distribucija sila preko što veće kontaktne površine u svrhu ostvarivanja efikasnog zahvata tijela cijevi ili spojnice, uz minimalne deformacije i ogrebotine tijela cijevi. Kliještima je moguće rukovati potpuno automatizirano pomoću daljinske kontrole ili poluautomatizirano. Kliješta se često upotrebljavaju za dotezanje spojnica zaštitnih cijevi izvan bušaćeg tornja u svrhu uvođenja već spojenog pasa od dvije cijevi u toranj pomoću automatiziranog sustava što može smanjiti vrijeme potrebno za ugradnju zaštitnih cijevi i do 50% (engl. *offline casing makeup operations*).

Prednosti upotrebe hidrauličkih kliješta (Weatherford, 2014):

- eliminiraju potrebu za upotrebom ručnih kliješta prilikom ugradnje zaštitnih cijevi te tako doprinose sigurnosti u radu posade na podištu tornja;
- hidraulično pogonjeni rotacijski elementi kliješta (navrtač izrađen od sustava rotacijskih valjaka) zahvaćaju površinu vanjskog oboda cijevi ili spojnice bez gnječenja, što smanjuje troškove popravka opreme;
- prilikom odvrtnja i navrtanja navojnih spojeva naprezanja materijala uslijed smicanja i savijanja su minimalna, što smanjuje deformacije zaštitnih cijevi te doprinosi njihovoj pouzdanosti i dugotrajnom integritetu bušotine;

- integrirani sustav automatskog zaključavanja ne dopušta rad kliješta dok svi njeni elementi nisu u pravilnom položaju za rad te tako doprinose sigurnosti u radu posade na podištu tornja;
- kliješta su kompatibilna s Weatherfordovim JAMPro™ sustavom za kontrolu momenta dotezanja;
- zbog višenamjenskog dizajna, kliješta se mogu upotrebljavati na gotovo svim vrstama bušaćih postrojenja;
- opcionalni Micro-Grip® sustav zahvaćanja obuhvaća zaštitnu cijev i spojnicu hermetično, što minimalizira oštećenja na površini cijevi koja naknadno mogu uzrokovati smanjeni integritet zacijevljenja kanala bušotine, posebno u slučaju povećane izloženosti cijevi djelovanju korozivnih medija (npr. sumporovodika).

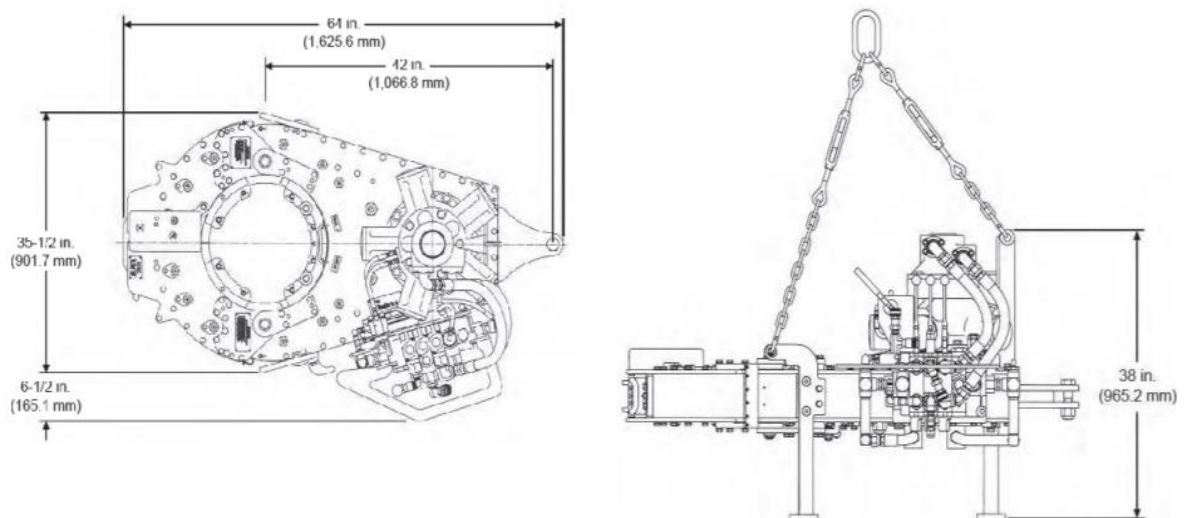
U tablici 3-2. prikazani su osnovni tehnički parametri Weatherfordovih 14-50 hidrauličkih kliješta za ostvarivanje velikog momenta dotezanja.

Tablica 3-2. Osnovni tehnički parametri Weatherfordovih 14-50 hidrauličkih kliješta za ostvarivanje velikog momenta dotezanja (Weatherford, 2014)

Parametar	Vrijednost
Primjenjive na cijevima vanjskog promjera	16,83-35,56 cm
Dimenzije kliješta	1067 × 1626 × 965 mm
Masa	909 kg
Maksimalan konstanti moment dotezanja	67 570 Nm
Tlak radnog fluida	20 700 kPa
Protok radnog fluida	2,77 dm ³ /s
Broj okretaja pri maloj brzini	6 o/min
Broj okretaja pri velikoj brzini	30 o/min



Slika 3-17. 14-50 hidraulička kliješta za ostvarivanje velikog momenta dotezanja tvrtke Weatherford (Weatherford, 2014)



Slika 3-18. Dimenzije 14-50 hidrauličkih kliješta za ostvarivanje velikog momenta dotezanja tvrtke Weatherford (Weatherford, 2014)

4. AUTOMATIZACIJA BUŠAĆIH POSTROJENJA

Automatizirane alatke se nameću kao potreba na bušaćim postrojenjima u 21. stoljeću zbog sve veće potrebe za bušenjem u nepristupačnim, klimatski nepovoljnim te odobalnim područjima. Također njihova upotreba značajno povećava efikasnost rada i razinu sigurnosti bušaćih postrojenja u cjelini. Proces mehanizacije i automatizacije pomoćnih alatki za rukovanje bušaćim alatkama odvijao se postepeno, a najviše je ovisio o volatilnoj cijeni nafte na svjetskom tržištu koja najviše pogađa rad bušaćih servisnih kompanija. Neki od primjera takvih alatki su pneumatski klinovi (kompanija Byron-Jackson, 1945.), sustav za automatizirano navrtanje bušaćih šipki (kompanija National Oilwell Varco, 1975.), automatizirani sustav za odlaganje bušaćih šipki u uspravnom položaju unutar tornja (kompanija Byron-Jackson, 1949.) i sl. U modernoj bušaćoj praksi današnjice aktualan je proces potpune automatizacije i robotizacije bušaćih postrojenja kako bi se ona učinila što više autonomnima u svrhu značajno smanjenog potrebnog opsega fizičkog rada ljudi unutar zona opasnosti na podištu tornja. Prilikom kontinuiranog rada na podištu tornja ljudi su izloženi konstantnim opasnostima od udaraca, nagnječenja oštrim rubovima teškog alata, pada predmeta s visine, itd. Također, proces automatizacije bušaćih postrojenja omogućiti će rad i značajno povećati njegovu efikasnost u pustinjskim i arktičkim područjima gdje je fizički rad ljudi značajno otežan. Automatizacijom bušaćih postrojenja moguće je pravilnije održavati željeni režim bušenja zbog preciznije kontrole nad opterećenjem i brojem okretaja dlijeta, smanjiti vrijeme potrebno za manevriranje bušaćim alatkama te efikasnije (uz precizniju kontrolu momenta dotezanja) navrtati ili odvrtati navojne spojeve na bušaćim alatkama. Napretkom tehnike bušaćih postrojenja omogućuje se obavljanje sve kompleksnijih operacija bušenja kao što je izrada bušotina u dubokim morima, ležištima s uvjetima visokog tlaka i visoke temperature te nekonvencionalnim ležištima. Proces automatizacije i robotizacije bušaćih postrojenja zahtjeva značajna početna kapitalna ulaganja, ali u konačnici i značajno smanjuje operativne troškove rada postrojenja. Zbog manjih dimenzija automatizirana i robotizirana bušaća postrojenja imaju smanjen utjecaj na okoliš i jeftiniji trošak transporta. Proces rukovanja bušaćim alatkama moguće je automatizirati u cjelini pomoću automatiziranih sustava za uvlačenje cijevnih alatki u toranj, automatiziranih sustava za rukovanje cijevnim alatkama unutar tornja, automatskih sustava za navrtanje/odvrtanje cijevnih alatki te automatskih klinova.

4.1. KONTROLNO-UPRAVLJAČKI SUSTAVI NA AUTOMATIZIRANIM BUŠAČIM POSTROJENJIMA

Proces automatizacije bušačih postrojenja podrazumijeva korištenje kontrolno-upravljačkog sustava. Kontrolno-upravljački sustav se nalazi u kabini bušača odakle bušač ima objedinjeni nadzor nad operacijama i procesima tijekom bušenja. Bušač sjedi na bušačkoj stolici kontrolno-upravljačkog sustava, ima uvid u kompletnu shemu procesnog dijela postrojenja s prikazom parametara procesa bušenja (od kojih su najvažniji opterećenje na dlijeto, broj okretaja dlijeta i dobava isplačnih sisaljki koji određuju režim bušenja). Parametri procesa bušenja su prikazani na računalnim zaslonima osjetljivima na dodir te bušač pomoću komandnih ručica upravlja vršnim pogonom, isplačnim sisaljka, automatiziranim sustavima za rukovanje alatima i dodavanje alatki, automatiziranim sustavima za navrtanje/odvrtanje navojnih spojeva na alatima, automatskim klinovima, bušačom dizalicom, preventorskim sklopom, itd. Komunikacija između senzora koji se nalaze na sustavima postrojenja i kontrolno-upravljačkog sustava najčešće se odvija putem LAN mreže. Nadzor nad operacijama i procesima te pohrana podataka tijekom bušenja omogućeni su SCADA (engl. *Supervisory Control and Data Acquisition*) programskom podrškom. Kontrolno-upravljački sustav pruža objedinjeni nadzor nad mjernim instrumentima koji značajno pridonosi efikasnosti i sigurnosti procesa bušenja jer su mjerni instrumenti i njihova ispravnost rada te brzina odziva ključni za optimiziranje parametara procesa bušenja u realnom vremenu (pogotovo onih koji određuju režim bušenja), kontrolu tlaka u bušotini, kao i za pravovremenu aktivaciju alarma. Pravovremena aktivacija alarma je ključna pri mogućim akcidentnim situacijama na bušačem postrojenju jer može signalizirati povećanu koncentraciju prirodnog plina u zraku na podištu tornja i nastanak eksplozivne smjese ili povećanu koncentraciju vrlo otrovnog plina sumporovodika u zraku na podištu tornja (koncentracija sumporovodika od 100 ppm izaziva kašalj, iritaciju očiju te gubitak osjetila mirisa, a već pri koncentraciji od 500 ppm može biti izrazito smrtonosan). Kontrolno-upravljački sustav PRECISE™ tvrtke Omron prikazan na slici 4-1. sadrži dvije komandne ručice, četiri računalna zaslona, sigurnosne sklopke i ostale komande. Kontrolno-upravljački sustavi na automatiziranim bušačim postrojenjima u pravilu se sastoje od nekoliko modula (Lovreković i Pašić, 2020):

- sustav nadzora nad procesom bušenja;
- sustav za bilježenje i pohranjivanje podataka vezanih uz operacije bušenja;

- sustav za bilježenje i pohranjivanje podataka vezanih uz operacije rukovanja alatkama i
- alarmnog sustava.



Slika 4-1. Kontrolno-upravljački sustav PRECISE™ tvrtke Omron (Omron Oilfield & Marine, 2014)

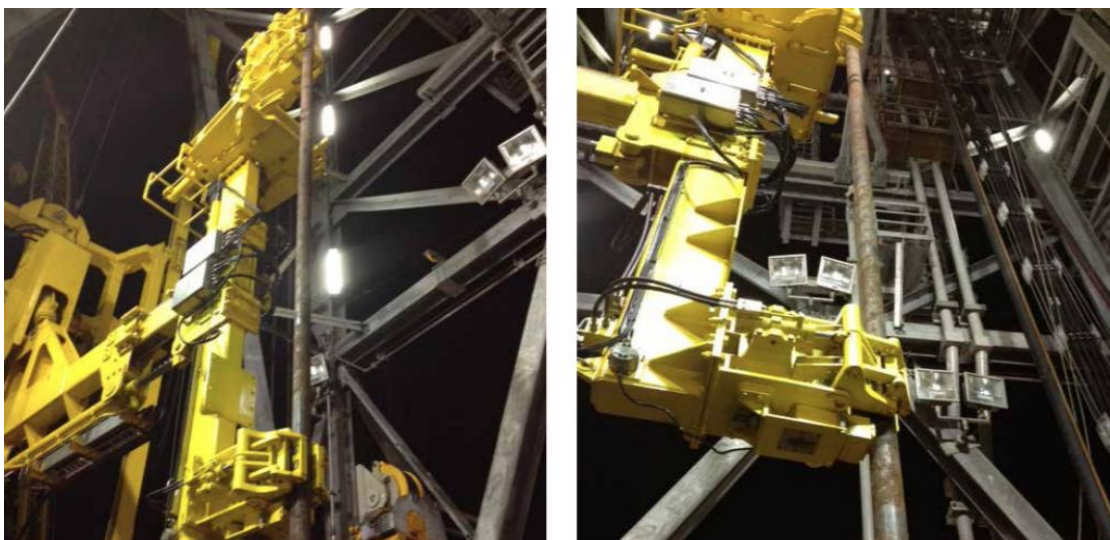
4.2. SUSTAV ZA PRIJENOS BUŠAĆIH ALATKI IZ HORIZONTALNOG U VERTIKALNI POLOŽAJ

Sustav za prijenos bušaćih alatki iz horizontalnog u vertikalni položaj (engl. *horizontal to vertical arm – HTV*) koristi se za prihvaćanje bušaćih alatki koje se nalaze na rampi za uvlačenje te njihovo zakretanje u vertikalni položaj pomoću hidrauličke ruke i centriranje iznad otvora kanala bušotine ili mišje rupe u svrhu dotezanja navojnih spojeva te njihovog dodavanja u niz bušaćih alatki ili pomoću drugih sustava spajanja u pasove od dvije, tri (najčešće) ili čak četiri bušaće šipke te skladištenja u za to predviđenu platformu („češalj“) unutar bušaćeg tornja. Na slici 4-2. prikazan je HTV sustav tvrtke TSC.

Osnovne tehničke karakteristike sustava za prijenos alatki iz horizontalnog u vertikalni položaj tvrtke TSC su (T-S-C, 2015):

- robusan dizajn za efikasan rad, kvalitetu i sigurnost;

- kretanje po vodilicama (šinama) koje se oslanjaju na podište tornja, a pričvršćuju za njegovu rešetkastu konstrukciju;
- kućište montirano između vodilica koje „nosi“ i podržava teleskopsku ruku (operativni dio sustava), čije je kretanje omogućeno lančano-zupčaničkim prijenosom ili užetom i pomičnim koloturjem;
- sustav kojim je teleskopska ruka pričvršćena za kućište je pomičan, odnosno ruka se može u odnosu na kućište primicati i odmicati kako bi se što efikasnije moglo rukovati cijevnim alatkama na radnim podištima raznih dimenzija;
- pomični krajevi na samoj teleskopskoj ruci koji zahvaćaju cijevni alat;
- omogućeno je precizno i polagano umetanje navoja jedne alatke u navoj druge što doprinosi očuvanju kvalitete navoja, reducira oštećenja, omogućuje pravilnije dotezanje navojnih spojeva, i sl. (engl. *tubular stab in function*);
- hidraulično aktiviran sustav (pokretanje rada tlakom tekućine);
- kontrola i upravljanje: iz kabine operatora, iz kabine bušača, s konzole na radnom podištu tornja ili radio kontrola, rezervno ručno upravljanje locirano na samom sustavu;
- sigurnosne karakteristike: zaštita od preopterećenja, automatsko spuštanje tereta u slučaju opasnosti, engl. *fail to safe braking* (kočenje sustava automatski nastupa kada na kočnicu ne djeluje tlak hidrauličkog ulja što je korisno prilikom kratkog spoja, poremećaja u radu izvora energije i sl.) na svim pokretnim dijelovima sustava, blokatori brzine na krajevima šina;
- Sustavom za prijenos alatki iz horizontalnog u vertikalni položaj tvrtke TSC moguće je manipulirati cijevnim alatkama promjera od 7,30 do 50,80 cm, maksimalne težine 98,07 kN.



Slika 4-2. Sustav za prijenos alatki iz horizontalnog u vertikalni položaj tvrtke TSC (T-S-C, 2015)

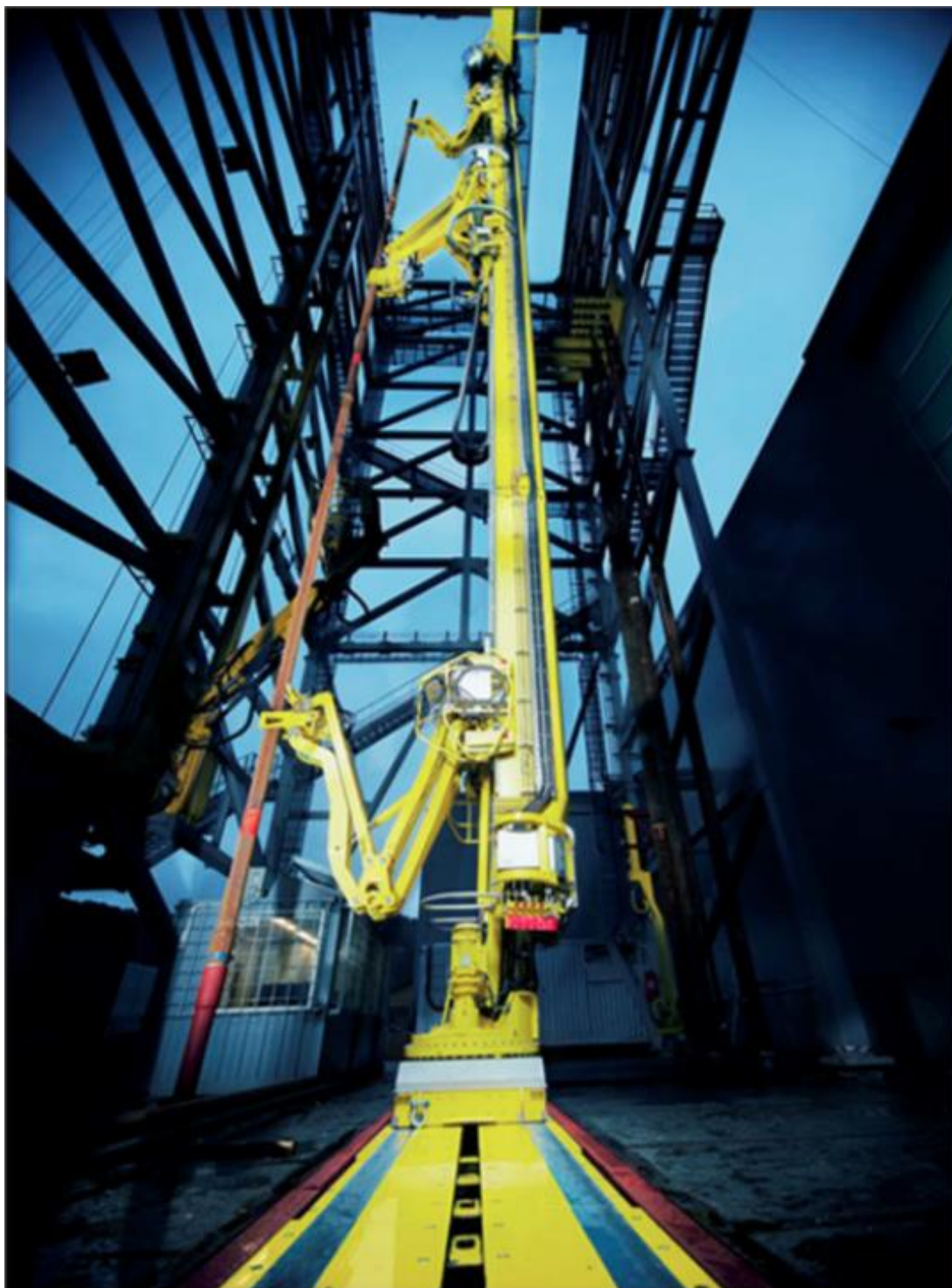
4.3. SUSTAV ZA RAD S CIJEVNIM ALATKAMA U VERTIKALNOM POLOŽAJU SMARTRACKER KOMPANIJE CAMERON

Sustav za rad s cijevnim alatkama u vertikalnom položaju (engl. *vertical pipe handling system – VPH*) SmartRacker kompanije Cameron primarno je namijenjen za rad na odobalnim postrojenjima (poput poluuronjivih platformi i bušačih brodova) s pasovima bušačih alatki sastavljenim od tri ili četiri alatke (slika 4-3.). Sustav SmartRacker koristi se za preuzimanje alatki koje se nalaze u horizontalnom položaju na rampi za uvlačenje ili pokretnoj traci te njihovo zakretanje u vertikalni položaj (stoga nije potrebna instalacija posebnog HTV sustava) te pozicioniranje alatki iznad mišje rupe kako bi se spojile u pasove. Također, sustavom je moguće rukovati spojenim pasovima bušačih šipki koji se nalaze u vertikalnom položaju unutar tornja iz skladišnog prostora („češlja“) do otvora kanala bušotine i obratno tijekom izvlačenja ili spuštanja niza bušačih alatki, kao i rukovanje prijelazima, manjim dlijetima i drugim objektima. S jedinstvenim načinom dizajna prihvatnih ruku kojima se obuhvaćaju cijevne alatke moguće je rukovati gotovo svim vrstama alatki, uključujući bušaće šipke, teške šipke, spiralne teške šipke, tubing te zaštitne cijevi. Ovakav sustav je u potpunosti automatiziran primjenom robotiziranog kontrolno-upravljačkog sustava pomoću kojega se odvija nadzor i upravljanje operacijama rukovanja u realnom vremenu. Na taj način sustav štiti postrojenje i posadu u cjelini od incidenata tijekom rada te se posve sigurno samostalno kreće po šinama na kojima je postavljen na radnom podištu tornja, čime je postignuta mobilnost sustava. Sve glavne

funkcije sustava omogućene su izmjeničnom strujom ili hidraulički te je stoga sustav jednostavan za upotrebu i održavanje, a i dalje iznimno robusan, sadrži zaštićeni sustav preciznih senzora te efikasan za primjenu na tehnički najzahtjevnijim projektima odobalnog bušenja. Robotizirani kontrolno-upravljački sustav ima opciju polaganog i preciznog umetanja navoja jedne alatke u navoj druge pomoću senzora, što doprinosi kvaliteti navojnih spojeva u nizu bušaćih alatki te reducira oštećenja navoja. Prihvatnim elementima kojima se zahvaćaju bušaće alatke moguće je obuhvatiti sve vrste cijevnih alatki vanjskih promjera od 8,89 do 35,56 cm te ih stoga nije potrebno često mijenjati tijekom procesa bušenja. Donja i gornja prihvatna ruka mogu se vertikalno pomicati po visini sustava čime je omogućeno rukovanje pasovima različitih duljina. Uz korištenje SmartCat sustava za uvlačenje bušaćih alatki u toranj kompanije Cameron, korištenjem sustava SmartRacker moguće je spojiti 20 navojnih spojeva na bušaćim alatkama po satu. U tablici 4-1. navedeni su osnovni tehnički parametri sustava SmartRacker (Schlumberger, 2016a).

Tablica 4-1. Osnovni tehnički parametri sustava za rad s cijevnim alatkama u vertikalnom položaju SmartRacker kompanije Cameron (Schlumberger, 2016b)

Parametar	Vrijednost
Maksimalna masa kojom je moguće manipulirati prihvatnim rukama sustava	10 000 kg
Maksimalna masa koju je moguće pokrenuti na šinama kojima se sustav kreće po radnom podištu	30 000 kg
Vanjski promjeri cijevnog alata koje je moguće obuhvatiti prihvatnim rukama sustava	7,30 – 50,8 cm
Maksimalna duljina jedne cijevne alatke kojom sustav može rukovati	15 m
Maksimalna brzina kretanja sustava po šinama	0,5 m/s
Temperatura pri kojoj sustav neometano radi	-20 – 40 °C



Slika 4-3. Sustav za rad s cijevnim alatima u vertikalnom položaju SmartRacker kompanije Cameron (Schlumberger, 2016a)

4.4. AUTOMATIZIRANI SUSTAV ZA NAVRTANJE/ODVRTANJE NAVOJNIH SPOJEVA NA BUŠAĆIM ALATKAMA

U modernoj bušacoj praksi za ponovljivi postupak odvrtnja i navrtanja cijevnih (bušaćih) alatki koriste se automatizirani sustavi. Primjenom automatiziranog sustava za odvrtnje/navrtanje bušaćih alatki značajno se smanjuje vrijeme potrebno za izvođenje strojno-ručnih operacija na podištu tornja pošto posada ne sudjeluje direktno u odvrtnju/navrtanju bušaćih alatki čime se povećava sigurnost, efikasnost i profitabilnost rada postrojenja. Automatizirani hidraulički sustav AR-3200 kompanije NOV (slika 4-4.) izveden je kao složeni trodijelni sklop koji se sastoji od (Lovreković i Pašić, 2020):

- stezaljke – tijekom procesa navrtanja/odvrtnja pridržavaju uklinjenu cijev i sprječavaju njenu rotaciju;
- navrtača (engl. *spinner*) – sustav rotacijskih valjaka kojima se prenosi zakretni moment te navrće/odvrće cijev s uklinjenog niza cijevnih alatki;
- rotirajućeg ključa (engl. *torque wrench*) – smješten iznad stezaljke u svrhu prijenosa većeg momenta torzije kojim se dodatno doteže cijev na uklinjeni niz.



Slika 4-4. Automatizirani hidraulički sustav za navrtanje/odvrtnje cijevnih alatki kompanije NOV, model AR-3200 (NOV, 2013a)

Ovakvi sustavi često dolaze s ugrađenim sustavom senzora koji imaju mogućnost prepoznavanja promjera i položaja cijevne alatke te je stoga gotovo nemoguće navojne

spojeve nepravilno dotegnuti. Sustav je moguće postaviti na šine kojima se može kretati po radnom podištu bušačeg tornja čime se značajno povećava mogućnost rada s alatkama. Sustav je kompaktan te ne zauzima puno prostora što je na radnim podištima bušačih tornjeva vrlo poželjno. U tablici 4-2. navedeni su osnovni tehnički parametri automatiziranog sustava za navrtanje/odvrtanje cijevnih alatki AR-3200.

Tablica 4-2. Osnovni tehnički parametri automatiziranog sustava za navrtanje/odvrtanje cijevnih alatki AR-3200 kompanije NOV (NOV, 2013b)

Parametar	Vrijednost
Ukupna masa sustava	5490 kg
Brzina navrtanja pri momentu od 2711 Nm	100 o/min
Maksimalni moment navrtanja	135 582 Nm
Maksimalni moment odvrtanja	162 698 Nm
Mogućnost rada s cijevnim alatkama vanjskog promjera	8,89-24,77 cm

4.5. AUTOMATSKI KLINOVI

Na prilično velikom broju današnjih bušačih postrojenja u primjeni su još uvijek ručni klinovi. Ručni klinovi su izvedeni tako da s unutrašnje strane imaju nazubljene elemente kojima se prihvaćaju za vanjsku površinu cijevne alatke koju je potrebno ukliniti, dok su s vanjske strane izvedeni pod nagibom, konusnog oblika tako da pravilno odsjedaju u vrtači stol. Prilikom zadizanja niza bušačih alatki klinovi se postavljaju oko bušaće cijevi koju se želi ukliniti u vrtačem stolu, a zatim se niz spušta te se prenošenjem opterećenja postiže aktivacija klinova. Zatim se uklinjena šipka može sa sigurnošću otpojiti od ostatka niza te se može nastaviti s ostalim potrebnim operacijama na podištu tornja. Deaktivacija klinova se postiže zadizanjem niza uklinjenih bušačih alatki dok klinaši pridržavaju ručke klinova, a zatim ih ručnim podizanjem uklanjaju iz vrtačeg stola.

Nedostatci upotrebe ručnih klinova (keystoneenergytools.com, 2019):

- povećana mogućnost nezgoda tijekom rada – kao i kod svakog procesa bušenja, ručno podizanje klinova tijekom bušenja je ponovljiva operacija te se tako povećava mogućnost nezgoda na podištu tornju za članove posade jer postoji

mogućnost da se tijekom rada poskliznu, ozljede leđa zbog nepravilnih tehnika podizanja ručnih klinova te su konstantno izloženi oštrim rubovima teškog alata;

- tradicionalni ručni klinovi zahtijevaju rad dva ili tri klinaša što dovodi do dodatne gužve na radnom podištu koje je već krcato bušaćim alatima i pomoćnom opremom;
- ručno podizanje klinova nije jednostavan zadatak za klinaše, konstanto se ponavlja tijekom bušenja te tako može poprilično povećati vrijeme potrebno za izradu kanala bušotine do ciljane dubine.

Prednosti upotrebe automatskih klinova (keystoneenergytools.com, 2019):

- automatski klinovi su hidraulično ili pneumatski pogonjena alatka te se njome upravlja iz bušačeve kabine ili s podišta tornja putem kontrolnog ventila, pedale ili upravljačkog sustava;
- jedan set automatskih klinova može se koristiti za uklinjavanje bušaćih šipki, teških šipki, teških bušaćih šipki, zaštitnih cijevi ili tubinga;
- dizajn – većina automatskih klinova dizajnirana je tako da ne premašuje dimenzije vrtaćeg stola što rezultira u više radnog prostora za posadu na podištu tornja, a dostupni sustavi daljinske ili mehanizirane kontrole drže posadu izvan opasnih zona na podištu tornja;
- smanjen opseg fizičkog rada jer ne postoji potreba da klinaši podižu klinove.

4.5.1. Automatski klinovi tvrtke Forum Energy Technologies (FET)

Automatski klinovi tvrtke FET koriste se za sigurno i efikasno uklinjavanje i održavanje bušaćih šipki te tako istovremeno omogućuju članovima posade siguran rad tijekom izvođenja različitih operacija koje je potrebno provoditi u kanalu bušotine (npr. karotažna mjerenja). Pomoću automatskih klinova osigurava se automatsko, snažno i efikasno zahvaćanje vanjskog oboda bušaće šipke te se tako članove posade drži izvan zona neposrednih opasnosti. Sustav automatskih klinova kompanije FET minimalizira moguća oštećenja cijevi i samih klinova pri naglim pokretima alatom ili pri preopterećenju. Klinovi su tijekom rada konstantno postavljeni, gotovo kompletno (cijelim volumenom), unutar vrtaćeg stola te se tako smanjuje zatrpanost podišta tornja alatima. Klinovima se može upravljati daljinski, jednostavni su, brzo se postavljaju, te dolaze s rezervnim nosivim dijelovima što doprinosi maksimizaciji vremena tijekom kojeg postrojenje aktivno

izrađuje kanal bušotine. Tvrtka FET nudi hidraulične automatske klinove različitog dizajna kako bi se omogućilo uklinjavanje niza cijevnih alatki koje mogu biti do 55,88 cm vanjskog promjera, maksimalne težine 14 710 kN. Omogućena je laka zamjena sklopa nosivih elemenata i uložaka inserata kako bi se sa samo jednim okvirom (kućištem) klinova moglo raditi s cijevnim alatkama različitih vanjskih promjera. Svi automatski klinovi tvrtke FET proizvedeni su u skladu s najvišim standardima industrije, uključujući i API standard.

Tehničke karakteristike automatskih klinova tvrtke FET (objedinjujući sve dostupne modele) su (FET, 2021):

- rad s cijevnim alatkama vanjskog promjera do 55,88 cm;
- efikasno i sigurno uklinjavanje niza cijevnih alatki maksimalne težine 14 710 kN;
- kompatibilnost sa standardnim API vrtačim stolovima;
- maksimalni moment zaustavljanja od 162 700 Nm;
- posebno dizajnirani i patentirani sustav stezaljki;
- dostupne povratne informacije, pomoću hidraulične izvedbe, o potencijalnim „proklizavanjima“ uklinjenih alatki;
- centralni sustavi podmazivanja;
- dostupni različiti tipovi adaptera za vrtače stolove.

Hidraulički automatski klinovi PS-350 tvrtke Forum Energy Technologies prikazani su na slici 4-5., a veličine vanjskih promjera bušaćih alatki koje je moguće ukliniti ovim setom klinova i maksimalna nosivost klinova navedeni su u tablici 4-3.

Tablica 4-3. Osnovni tehnički parametri hidrauličkih automatskih klinova PS-350 tvrtke Forum Energy Technologies (FET, 2021)

Parametar	Vrijednost
Omogućen rad s vertikalnim nizom cijevnih alatki vanjskog promjera	6,03-35,56 cm
Maksimalna nosivost	3432,33 kN



Slika 4-5. Hidraulički automatski klinovi PS-350 tvrtke Forum Energy Technologies (FET, 2021)

Ukoliko se automatski klinovi aktiviraju hidraulički, odnosno za njihovo aktiviranje se koristi tekućina kao radni fluid, onda ona mora ispunjavati sljedeće tehničke zahtjeve (Lovreković i Pašić, 2020):

- sposobnost hlađenja sustava;
- zaštita od nečistoća i korozije;
- mala sklonost oksidaciji i stvaranju pjene.

5. PRIMJENA ROBOTIKE NA BUŠAĆIM POSTROJENJIMA – POTPUNO AUTOMATIZIRANO BUŠAĆE POSTROJENJE PACE R801

Servisna kompanija Nabors Industries posjeduje potpuno automatizirano bušaće postrojenje PACE R801 (slika 5-1.). Nabors Industries je jedan od svjetskih lidera po broju bušaćih postrojenja. U vlasništvu kompanije se nalazi preko 400 bušaćih postrojenja u 20 zemalja širom svijeta. Stoga je kompanija i svjetski lider u inovacijama i unaprijeđivanju tehnike bušaćih postrojenja. Tijekom 2021. godine Nabors Industries je postala prva servisna bušaća kompanija koja je potpuno automatizirano bušaće postrojenje stavila u aktivan rad. Trenutno se testira postrojenje PACE R801 u Midland Countyu, Texas (slika 5-6.) koje ja za Nabors Industries izradila njihova podružnica Canrig Robotics. Potpuno automatizirano bušaće postrojenje PACE R801 sastoji se od robotiziranih sustava za rukovanje bušaćim alatkama kao što su automatizirane rampe za smještanje bušaćih alatki unutar bušaćeg tornja te robotiziranih sustava za rukovanje bušaćim alatkama unutar bušaćeg tornja poput (Nabors, 2021a):

- električne robotizirane ruke za rukovanje bušaćim alatkama na podištu tornja (engl. *electric drill floor robot – DFR*) (slika 5-2.);
- električnog robotiziranog sustava za navrtanje/odvrtanje bušaćih alatki (engl. *electric robotic roughneck – RRN*) (slika 5-3.);
- robotiziranog elevatora s varijabilnim insertima za prihvat alatki različitog promjera (engl. *multi-size elevator – MSE*) (slika 5-4.);
- električnog robotiziranog sustava za rukovanje alatkama iz horizontalnog u vertikalni položaj te rad s alatkama u vertikalnom položaju unutar tornja s 9 stupnjeva slobode gibanja (engl. *electric robotic pipe handler – RPH*) (slika 5-5.).



Slika 5-1. Potpuno robotizirano bušaće postrojenje koje je izradila kompanija Canrig Robotics u službi servisne kompanije Nabors Industries (Energid, 2021)



Slika 5-2. Električna robotizirana ruka za rukovanje bušaćim alatkama na podištu tornja DR-1500 (Nabors, 2021b)



Slika 5-3. Električni robotizirani sustav za navrtanje/odvrtanje bušaćih alatki RRN-250 (Nabors, 2021c)



Slika 5-4. Robotizirani elevator s varijabilnim insertima za prihvat alatki različitog promjera MSE-500 (Nabors, 2021d)



Slika 5-5. Električni robotizirani sustav za rukovanje alatkama iz horizontalnog u vertikalni položaj s 9 stupnjeva slobode gibanja RPH-3500 (Nabors, 2021e)



Slika 5-6. Robotizirano bušaće postrojenje PACE R801 kompanije Nabors Industries (MRT, 2021)

Potpuno automatizirano bušaće postrojenje PACE R801 kompanije Nabors Industries trenutno je u fazi testiranja u Midland Countyu, Texas. Na ovom postrojenju obavlja se značajan broj operacija tijekom bušenja potpuno autonomno. Bušać iz kontrolne sobe sa sigurne udaljenosti nadgleda operacije na podištu tornja. Travis Purvis, potpredsjednik globalnog bušenja Nabors Industries-a rekao je „*Robotizirano bušaće postrojenje PACE R801 ne zahtjeva manji broj radnika od tradicionalnih postrojenja Nabors Industries-a pošto koristi složenije izvedenu tehniku koju je potrebno intenzivno održavati, već će primjena ovakvog postrojenja radnicima omogućiti fizički lakši posao te pružiti šansu za dodatnim obrazovanjem i napredovanjem. Prognoze cijena nafte i plina te projekcije potreba tržišta govore nam da će potreba za bušenjem biti sve više kroz 2021. i 2022. godinu, što je vidljivo po rastu broja aktivnih bušaćih postrojenja u SAD-u. Želimo što više vremena provesti testirajući robotizirano postrojenje PACE R801 kako bismo se uvjerali u njegovu pouzdanost. Permska dolina je izabrana za mjesto gdje se po prvi puta testira revolucionarna tehnika izrade bušotina kako bismo naglasili njenu važnost u naftno-plinskom sektoru današnjice.*“ (MRT, 2021)

6. ZAKLJUČAK

Tijekom 19. i 20. stoljeća ugljikovodici su postali gotovo najbitniji strateški resursi na globalnom tržištu, a fosilna goriva izvori energije kojima se pogone strojevi i industrija općenito. Pošto je naftu potrebno proizvesti iz podzemnih ležišta koja se nalaze na različitim dubinama, razvoj tehnološkog procesa bušenja i bušaćih postrojenja postao je jedan od primarnih ciljeva naftnih kompanija. Tijekom 20. stoljeća bušaća postrojenja postaju robusne, iznimno teške i velike čelične konstrukcije s obiljem bušaćeg i pomoćnog alata, s kojima se mogu izrađivati bušotine na moru i kopnu dubine preko 10 000 metara. Ugradnjom prijelaza, zasuna, ventila i čistača bušaćih alatki povećava se sigurnost na radnom podištu bušaćeg tornja, mogućnost kontrole tlaka u bušotini te se smanjuje trošenje materijala na skupljim bušaćim alatkama (prijelaz radne šipke) i razlijevanje isplake. Primjenom navrtača radne šipke moguće je automatizirano navrtati i odvrtati navojne spojeve između radne šipke i bušaćih šipki čime se izbjegava upotreba lanaca ili konopljinog užeta. Rad navrtača radne šipke kontrolira bušać putem kontrolnog ventila na konzoli bušaća, što povećava sigurnost na radnom podištu bušaćeg tornja i brzinu procesa bušenja. Upotrebom automatskih kliješta omogućena je preciznija kontrola momenta dotezanja, reduciranje oštećenja na cijevnim alatkama, brži i sigurniji proces bušenja te brža ugradnja zaštitnih cijevi u kanal bušotine. U bušaćoj praksi današnjice aktualna je potpuna automatizacija i robotizacija postrojenja, a brzina i tijek toga procesa ovisiti će o energetske potrebama globalnog tržišta i volatilnoj cijeni nafte. Automatizacija i robotizacija bušaćih postrojenja podrazumijeva upotrebu automatiziranih sustava za rukovanje bušaćim alatkama koji se koriste za uvlačenje bušaćih alatki u bušaći toranj i sustava za rad s alatkama unutar tornja, sustava za odvrtnje i navrtanje bušaćih alatki te automatskih klinova. U bušaćoj praksi će stoga biti u potpunosti eliminirana potreba za radom ljudi na podištu bušaćeg tornja te će se upravljanje procesom bušenja, njegova kontrola i nadzor vršiti pomoću kontrolno-upravljačkog sustava. Danas postoje bušaća postrojenja s kontrolno-upravljačkim sustavom smještenim unutar bušaćeve kabine koji prikazuje široki spektar raznih parametara procesa bušenja u realnom vremenu čije je pravilno razumijevanje od ključne važnosti za uspješan i efikasan proces bušenja. Pošto je proces rukovanja bušaćim alatkama automatiziran pomoću automatiziranih sustava te omogućen objedinjeni nadzor i kontrola nad radom postrojenja putem kontrolno-upravljačkog sustava, u bušaćoj praksi naftne industrije će sve više opadati potreba za fizičkim radom ljudi, a povećavati potreba za zapošljavanjem obrazovanog kadra. Proces

automatizacije i robotizacije bušaćih postrojenja u budućnosti bi mogao dovesti do situacije da boravak ljudi na postrojenju uopće nije potreban, već ljudi imaju kontrolnu ulogu nad radom postrojenja (primarno režimom bušenja) sa udaljene lokacije, što bi sigurnost i efikasnost bušaćih postrojenja dovelo do danas nezamislivih razina.

7. LITERATURA

1. LOVREKOVIĆ, M., PAŠIĆ, B., 2020. Automatizirana kopnena bušaća postrojenja. *Nafta i Plin*, 40(165), str. 73-84.
2. MATANOVIĆ, D., 2007. *Tehnika izrade bušotina, priručnik s primjerima*. Zagreb, Školska knjiga

Internetski izvori:

3. SEARCHANDDISCOVERY.COM, 2016. A perfect play of salt, bamboo and gas: the first petroleum well (breakthrough) in the world.
https://www.searchanddiscovery.com/documents/2016/70220song/ndx_song.pdf (10.07.2021.)
4. CDN.CA, 1979. Circulation fluids for rotary water well drilling.
https://cdn.ca.emap.com/wp-content/uploads/sites/13/1979/04/1979-04_Pages_30-32_34_36_39-41.pdf (10.07.2021.)
5. BRITANNICA.COM, 2015. American oil driller.
<https://www.britannica.com/biography/Edwin-Laurentine-Drake> (10.07.2021.)
6. OILFIELDFREELANCER.COM, 2020. Introduction to drilling string equipment.
<https://oilfieldfreelancer.com/introduction-to-drilling-string-equipment/> (29.12.2021.)
7. SCHLUMBERGER OILFIELD GLOSSARY, 2021. Kelly bushing.
https://glossary.oilfield.slb.com/en/terms/k/kelly_bushing (11.07.2021.)
8. OILFIELDTEAM.COM, 2018. Kelly bushing.
<https://oilfieldteam.com/en/a/learning/Kelly-Bushing> (11.07.2021.)
9. CALCULATEDRISKFILMS, 2014. Roughnecks at Work in HD – Drilling Rig Pipe Connection.
<https://www.youtube.com/watch?v=KZxUiFFVEAQ> (11.07.2021.)
10. SUB-DRILL, 2021A. Float & Bit Subs.
<https://www.sub-drill.com/pdf/sub-drill-float-bit-subs.pdf> (12.07.2021.)
11. OILTOOLS.KZ, 2021. Float & Filter Subs.
<http://www.oiltools.kz/assets/images/float-display-image-002.jpg> (12.07.2021.)
12. EBICOILFIELD.COM, 2015. Kelly Saver Subs, Ebic Oilfield Equipment.
<https://www.ebicoilfield.com/drill-string/subs/kelly-saver-subs/> (12.07.2021.)
13. KLONDIKE.NO, 2021. Canrig® 1275 AC Top Drive.
<http://www.klondike.no/item/3829/> (29.12.2021.)

14. SUB-DRILL, 2021b. Top Drive & Kelly Saver Subs.
<https://www.sub-drill.com/pdf/sub-drill-top-drive-and-kelly-saver-subs.pdf> (14.07.2021.)
15. DRILLINGMANUAL.COM, 2021. Inside BOP (IBOP), Kelly Valves Full Guide.
<https://www.drillingmanual.com/inside-bop-ibop-top-drive-kellycock-valve/>
(15.11.2021.)
16. TIPTOPM.COM, 2021. Top Drive IBOP Safety Valve, Xi'an TipTop Machinery Co., Ltd.
http://tiptopm.com/product/Top_Drive_IBOP_safety_valve.html (15.11.2021.)
17. CPPDIST.COM, 2021. Pipe Wipers, Drill Pipe Wipers for Oilfield.
<https://cppdist.com/pipe-wipers/> (14.07.2021.)
18. NATIONAL OILWELL VARCO, 2007. Kelly Spinner KS-6600, Pneumatic Kelly Spinner, User's Manual.
<https://www.scribd.com/document/415190073/Kelly-Spinner-KS-6600> (14.07.2021.)
19. WEATHERFORD, 2014. 14-50 High-Torque Casing Tong.
<https://www.weatherford.com/en/documents/technical-specification-sheet/products-and-services/tubular-running-services/14-50-high-torque-casing-tong/> (15.07.2021.)
20. OMRON OILFIELD & MARINE, 2014. Precise™ Automated Drilling System – Part 1.
<https://www.youtube.com/watch?v=OhaOgiM8aNY> (10.12.2021.)
21. T-S-C, 2015. Rig Mechanisation – Tubular & Riser Handling Equipment.
http://www.t-s-c.com/upload/file/2015-05/Tubular_Riser_Handling_Equipment_Brochure_1152KB_.pdf (16.07.2021.)
22. SCHLUMBERGER, 2016a. SmartRacker Vertical Pipe Handling System.
<https://www.slb.com/drilling/rigs-and-equipment/rig-equipment/pipe-handling-equipment/smartracker-vertical-pipe-handling-system> (10.12.2021.)
23. SCHLUMBERGER, 2016b. SmartRacker Vertical Pipe Handling System.
<https://www.slb.com/-/media/files/cam-drlg-re/product-sheet/smartracker-pipe-handling-system-ps.ashx> (10.12.2021.)
24. NOV, 2013a. Iron Roughnecks Brochure.
<https://www.nov.com/-/media/nov/files/products/rig/rig-equipment/casing-running-systems-and-tools/iron-roughnecks-brochure.pdf> (10.12.2021.)
25. NOV, 2013b. Offshore Iron Roughnecks Spec-sheet.
<https://www.nov.com/-/media/nov/files/products/rig/rig-equipment/iron-roughneck/offshore-iron-roughnecks-spec-sheet.pdf> (16.07.2021.)

26. KEYSTONEENERGYTOOLS.COM, 2019. Advantages of an Automated Slip-Lifting Device.
<https://www.keystoneenergytools.com/advantages-of-an-automated-slip-lifting-device/>
(17.07.2021.)
27. FET, 2021. Rig Floor Equipment, Power Slips.
<https://f-e-t.com/drilling/pipe-handling-equipment/rig-floor-equipment/#power-slips>
(17.07.2021.)
28. NABORS, 2021a. Canrig Robotics.
<https://www.nabors.com/for-contractors-ofs/canrig-robotics/> (16.11.2021.)
29. ENERGID, 2021. Fully Autonomous Robotic Oil Drilling.
<https://www.energid.com/solutions/robotic-autonomous-oil-drilling> (16.11.2021.)
30. NABORS, 2021b. Electric Drill Floor Robot.
<https://www.nabors.com/for-contractors-ofs/canrig-robotics/electric-drill-floor-robot/>
(16.11.2021.)
31. NABORS, 2021c. Electric Robotic Roughneck.
<https://www.nabors.com/for-contractors-ofs/canrig-robotics/electric-robot-roughneck/>
(16.11.2021.)
32. NABORS, 2021d. Multi-Size Elevator MSE-500.
<https://www.nabors.com/for-contractors-ofs/canrig-robotics/multi-size-elevator-mse-500/>
(16.11.2021.)
33. NABORS, 2021e. Electric Robotic Pipe Handler.
<https://www.nabors.com/for-contractors-ofs/canrig-robotics/electric-robotic-pipehandler/>
(16.11.2021.)
34. MRT, 2021. Nabors unveils fully automated drilling rig.
<https://www.mrt.com/business/oil/article/Nabors-unveils-fully-automated-drilling-rig-16431051.php> (16.11.2021)

IZJAVA

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

A handwritten signature in blue ink, reading "Ninković Marko", is written over a horizontal line.

Marko Ninković



KLASA: 602-04/21-01/283
URBROJ: 251-70-12-21-2
U Zagrebu, 7.2.2022.

Marko Ninković, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/283, URBROJ: 251-70-12-21-1 od 21.12.2021. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

POMOĆNE ALATKE I OPREMA NA BUŠAĆIM POSTROJENJIMA

Za mentora ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Izv.prof.dr.sc. Borivoje Pašić nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentor:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje Pašić

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Luka Perković

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje
Pašić

(titula, ime i prezime)