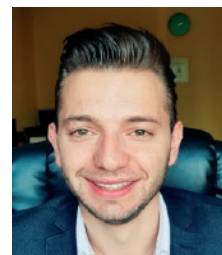


# Automatizirana kopnena bušača postrojenja

## Automated onshore drilling rigs

doc. dr. sc. Borivoje Pašić  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet,  
Sveučilište u Zagrebu  
borivoje.pasic@rgn.hr

Marin Lovreković, mag. ing. petrol.  
Monter-Strojarske montaže d.d.  
marin.lovrekovic@gmail.com



**Ključne riječi:** automatizirano kopneno bušaće postrojenje, konvencionalno kopneno bušaće postrojenje, sustavi za rad s bušačim alatkama, robotizirani sustavi za rad s bušačim alatkama

**Key words:** automated onshore drilling rig, conventional onshore drilling rig, pipe handling systems, robotic pipe handling systems

### Sažetak

Ideja o razvoju automatiziranih bušačih postrojenja seže još u 40-te godine prošlog stoljeća, ali zbog tadašnjeg stupnja tehnološkog razvoja, to naprosto nije bilo izvedivo. Danas se automatizirani sustav za bušenje nameću kao potreba radi izrade bušotina u sve nepristupačnijim područjima i uvjetima, poput izrade bušotina velikog doseg u dubokim morima, bušenja u uvjetima visokog tlaka i visoke temperature ili izrade bušotina u nekonvencionalnim ležištima. Automatizacija bušačih postrojenja kao i samog procesa bušenja važna je zbog općeg povećanja razine sigurnosti rada na takvom postrojenju, ali i zbog povećanja njegove efikasnosti te u konačnici povećanja prihoda servisnih kompanija. U radu su opisani dijelovi bušačeg postrojenja koji su u posljednje vrijeme dosegli određenu razinu automatizacije kroz primjenu različitih komercijalno dostupnih automatiziranih sustava. U završnom dijelu rada

opisani su robotizirani sustavi za rad s alatkama na bušačem postrojenju.

### Abstract

The idea of developing an automated drilling system goes back to the 1940s, but because of the underdeveloped technology it was simply not possible. Today, the automated drilling system imposes the need for drilling in unconventional reservoirs and reservoirs at high depths with extreme temperature and pressure conditions. Additionally, the introduction of this system is important for increasing the safety of staff at work, increasing efficiency and revenue of companies. The article describes parts of a drilling rig that have recently reached a certain level of automation through the application of various commercially available automated systems. In the last part of the paper, robotic tool systems are described.

### 1. Uvod

Od davnine su razvijane različite tehnike izrade bušotina s ciljem pridobivanja nafte i vode, pa je tako 347. godine prije Krista u Kini izbušena bušotina u ležištu slane vode dubine 240 m i to primjenom udarne metode i svrdla pričvršćenog na bambus. Do ležišta nafte



Slika 1. Bušaće postrojenje Edwina L. Drakea s drvenim tornjem (URL 2)

dolazilo se i u iskopima dubine 35 metara na području Bakua, o čemu govore pronađeni zapisi koji datiraju iz 1594. godine. Međutim razvoj naftne industrije započinje izradom prve komercijalne naftne bušotine dubine 21 m u SAD-u, koju je izbušio 1859. godine Edwin L. Drake koristeći udarnu metodu bušenja i parni stroj za ostvarivanje udarca dlijeta u stijenu (URL 1). Bušaće postrojenje Edwina L. Drakea prikazano je na slici 1.

Iako je udarno bušenje korišteno diljem svijeta, njegova upotreba danas je rijetka i uglavnom ograničena na izradu zdenaca za crpljenje pitke vode. Udarnu metodu bušenja zamijenila je rotacijska metoda bušenja koju su patentirali neovisno jedan o drugom Francuz M. Fauvelle 1833. godine i Englez Robert Beart 1844. godine. Za ovu metodu bušenja karakteristična je rotacija dlijeta i niza bušaćih alatki, čime se postiže bolji učinak razrušavanja stijene i iznošenja nabušanih krhotina od korištenja udarne metode bušenja. Svoju širu komercijalnu primjenu ova metoda bušenja doživljava

tek početkom 20. stoljeća, kada se počela primjenjivati na naftnim poljima u Texasu i Pennsylvaniji (URL 3).

## 2. Automatizirana kopnena bušaća postrojenja

U samim počecima razvoja bušaćih postrojenja, glavni izvor pogonske snage postrojenja bio je ljudski i životinjski rad. Tijekom vremena, koncept bušaćeg postrojenja doživio je preinake, od stvaranja mehaniziranog bušaćeg postrojenja, preko poluautomatiziranog postrojenja te u novije doba razvoja potpuno automatiziranog bušaćeg postrojenja. Iako se danas nastoji podići razina automatizacije svih bušaćih postrojenja, osobito onih starijih to jednostavno nije moguće, ponajviše zbog potrebnih dodatnih financijskih ulaganja, ali i relativno niske cijene nafte na svjetskom tržištu, koja kao što je to dobro poznato uvijek prvo pogađa bušaće servisne kompanije. Unatoč nabrojenim poteškoćama potrebe za automatizacijom bušaćih postrojenja i procesa bušenja i dalje postoje, jer bi se na taj način (Eustes, 2007.):

- povećala sigurnost u radu kao rezultat rada ljudi van opasnih zona postrojenja;
- smanjio potreban broj radnika na postrojenju te posljedično povećala sigurnost, pouzdanost u radu te smanjili troškovi rada;
- omogućio rada u teškim vremenskim uvjetima (npr. rad u polarnim područjima);
- preciznije održavao željeni režim bušenja, odnosno opterećenja na dlijeto i broj okretaja dlijeta;
- smanjilo vrijeme potrebno za manevar bušaćim alatkama, te minimalizirala mogućnost nastanka hidrauličkog udara ili klipovanja;
- omogućilo obavljanje kompleksnijih operacija;
- smanjile dimenzije postrojenja, što bi rezultiralo manjim utjecajem na okoliš kao i manjim troškovima transporta postrojenja;
- povećala preciznost i točnost u obavljanju pojedinih operacija i
- smanjili operativni troškovi rada postrojenja.

Planovi o potpunoj automatizaciji bušaćeg postrojenja sežu još u 40-e godine prošlog stoljeća kada su razvijeni planovi i nacrti za razvoj postrojenja s hidrauličkim elevatorom i sustavom hidrauličkih cilindara. Nakon toga uslijedio je čitav niz unapređenja koja su vodila potpunoj automatizaciji procesa bušenja poput razvoja pneumatskih klinova (1945., kompanija Byron

Jackson), sustava za odlaganje bušačkih šipki u tornju u uspravnom položaju (1949., kompanija Byron Jackson), automatiziranog sustava za navrtanje bušačkih šipki (1975., kompanija Varco) te uvođenjem vršnog pogona u komercijalnu primjenu 80-ih godina prošlog stoljeća. No, da bi se na postrojenju mogle obavljati automatizirane operacije, uveden je računalni sustav sa sustavom senzora (Eustes, 2007.).

Servisne kompanije mogu odabrati hoće li nadograditi i u kojoj mjeri postojeća starija bušača postrojenja automatiziranim sustavima, ili nabaviti potpuno nova automatizirana bušača postrojenja. Potpuno automatizirana postrojenja obično su isplativija, manjih su dimenzija i mase te lakša za upravljanje od konvencionalnih postrojenja koja su nadograđena automatiziranim opremom (URL 4).

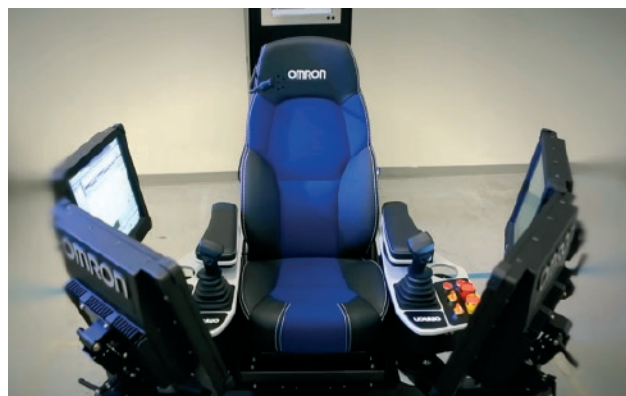
## 2.1. Upravljačko-kontrolni sustav

U modernim automatiziranim postrojenjima za bušenje, upravljanje i nadzor nad svim operacijama obavlja se iz bušaće kabine, gdje bušač, sjedeći na bušačkoj stolici (engl. *cyber chair*), obavlja operacije komandnim ručicama (engl. *joystick*) i računalnim zaslonima, osjetljivima na dodir (slika 2-1.).

Prikazani sustav PRECISE™ tvrtke Omron sadrži dvije komandne ručice, četiri zaslona, sigurnosne sklopke te ostale komande. Komandnim ručicama upravlja se vršnim pogonom, elevatorom, sustavom za dodavanje alatki, kao i sustavom za navrtanje/odvrtanje bušačkih šipki. Također, bušač sa svoje pozicije upravlja bušačom dizalicom, preventerskim sklopom, automatskim klinovima, isplačnim pumpama i ostalim sustavima postrojenja. Zahvaljujući SCADA programskoj podršci omogućen je aktivni nadzor i upravljanje cijelim postrojenjem, operacijama i procesima, kao i pohrana podataka. Sustav se sastoji od nekoliko modula, koji se generalno dijele na:

- sustav nadzora nad procesom bušenja;
- sustav za bilježenje i pohranjivanje podataka vezanih uz operacije bušenja;
- sustav za bilježenje i pohranjivanje podataka vezanih uz operacije rada s alatkama i
- alarmnog sustava (Gupta, 2006.).

Sustav omogućava bušaču da sa svoje pozicije ima uvid u visinski položaj kuke, brzinu kretanja sustava za rad alatkama, opterećenje na kuki i dljetu, trenutnu aktivnost klinova, moment torzije, broj okretaja dljeteta, grafički prikaz napretka bušenja, itd. Također, postoji i vizualni nadzor postrojenja koji se snima kamerama (engl. *closed circuit television – CCTV*) što uvelike



Slika 2-1. Moderni kontrolno-upravljački sustav PRECISE™ (URL 5)

bušaču olakšava rad (URL 6). Da bi se ostvarila mogućnost kontrole i rada navedenim sustavima i uređajima, na dizalici, vršnom pogonu, isplačnim pumpama i ostalim dijelovima bušačkog postrojenja postavljen je sustav senzora koji putem LAN mreže komunicira sa središnjim upravljačko-kontrolnim sustavom. U ormariću upravljačko-kontrolnog sustava nalaze se:

- programibilni logički kontroler (engl. *programmable logic controller – PLC*);
- sustav za pohranu podataka;
- komunikacijsko sklopovlje;
- sustav za prijenos podataka i
- mrežni uređaji (URL 5).

Prijenos signala s postavljenih senzora na radnim sustavima na postrojenju do programibilnog logičkog kontrolera najčešće se prenosi PROFIBUS (engl. *Process Field Bus*) protokolom i zatim ethernetom preko preklopnika do kontrolno-upravljačkog sustava. Podaci se pohranjuju u elektroničkom uređaju za bilježenje podataka (engl. *data logger*) i šalju preko virtualne privatne mreže (engl. *Virtual Private Network – VPN*) mrežom do središnjih kontrolnih centara koji služe za daljinski nadzor rada bušačkih postrojenja i analizu podataka. Daljinski nadzor ima mnoge prednosti poput pravovremenog uočavanja neispravnosti pojedinih dijelova postrojenja, sprečavanja pojave kvarova, izbjegavanje incidenata i dr., čime se štedi vrijeme i novac te izbjegavaju ozljede osoblja (Levett, 2004.).

## 2.2. Pogonski sustav

Ovisno o potrebnoj dubini bušenja i pogonjenim uređajima, za pogon bušačkih postrojenja koriste se pogonski sustavi različitih snaga. Tako se, npr. za dubine manje od 2 000 metara koristi pogonski sustav snage 1

200 kW, dok se za veće dubine od 5 000 do 7 000 metara koriste pogonski sustavi snage do 4 000 kW.

Pogonski sustav bušačkih postrojenja sastoji se od dizel motora koji se koriste za pogon generatora istosmjerne ili izmjenične struje kojom se opskrbljuju elektromotori postavljeni na različitim pogonjenim uređajima na bušačem postrojenju poput bušaće dizalice, isplačnih pumpi, centrifugalnih sisaljki i sl. Uvođenjem električne transmisije, pojednostavio se proces prijenosa energije od izvora do potrošača, povećana je fleksibilnost i sigurnost sustava te je optimirana potrošnja energije. Iako je električna transmisija najpouzdaniji i najsigurniji način prijenosa energije, ujedno je i najskuplji načina prijenosa. Elektromehanička transmisija jeftinija je od električne transmisije i najviše se koristi na mobilnim postrojenjima, gdje se dizalica i vrtači stol pogone mehanički, dok su vršni pogon i isplačne pumpe pogonjeni električnom transmisijom (URL 7).

### 2.3. Sustav za rad s alatkama na bušačem postrojenju

#### 2.3.1. Sustavi za uvlačenje cijevnih bušačkih alatki u toranj

Klasični način pri radu s cijevnim alatkama sa stalka, na tlu radilišta, na podište tornja i obrnuto, podrazumijeva direktnu uključenost osoblja pri čemu se većina operacija obavlja ručno. Takvim načinom rada radnici su izloženi velikim opasnostima od mogućih ozljeda uslijed udaraca i nagnječenja alatkama, kao i opasnostima od pada predmeta s visine. Upotrebom automatiziranog sustava za rad s alatkama, u potpunosti se izbjegava čovjekov kontakt s alatkama i smanjuje vrijeme potrebno za provedbu cijele operacije. Danas je u upotrebi nekoliko vrsta automatiziranih sustava za uvlačenje:

- fiksni automatizirani sustav za uvlačenje cijevnih alatki;
- automatizirani sustav za uvlačenje cijevnih alatki s podizanjem;
- automatizirani sustav za uvlačenje cijevnih alatki s mehaničkom rukom;
- automatizirani sustav za uvlačenje cijevnih alatki s mobilnom rukom.

#### Fiksni automatizirani sustav za uvlačenje cijevnih alatki

Za fiksni automatizirani sustav za uvlačenje cijevnih alatki karakteristično je da je konstrukcija za povlačenje cijevnih alatki fiksna struktura koja se sastoji od rampe povezane s podištanjem tornja i elementa



Slika 2-2. Automatizirani sustav za uvlačenje s podizanjem s dvije pomoćne ruke (URL 8)

kojim se potiskuje cijev. Prednost ovog sustava je jednostavna montaža i demontaža, jeftino održavanje te malo opterećenje sustava, dok je loša strana ovog sustava pojava velikog trenja prilikom kretanja cijevnih alatki po površini rampe do vrata tornja. Ovakav sustav koristi se na manjim bušačim postrojenjima (Nkanza i drugi, 2018.).

#### Automatizirani sustav za uvlačenje cijevnih alatki s podizanjem

Sustav za uvlačenje cijevnih alatki s podizanjem sastoji se od hidrauličkih vitla ili hidrauličkih cilindara, potisnog sustava, pomoćne ruke, transportne ruke i rampe. S bočnih strana postoji mehanizam koji preuzima cijevne alatke s odlagališta cijevnog alata i prebacuje u utor transportne ruke. Radom hidrauličkih cilindara, odnosno hidrauličkog vitla, podiže se pomoćna ruka koja gura transportnu ruku prema podištju tornja. Na transportnoj ruci nalazi se i potisni sustav koji gura alatku da bi došla što bliže elevatoru. Postoje varijacije ovog sustava, od onih gdje je transportna ruka s jedne strane uprta u pomoćnu, a s druge kliže po rampi do sustava s dvije pomoćne ruke pogonjene cilindrima (slika 2-2.). Iako se spomenuti sustav koristi na kopnenim i odobalnim postrojenjima, te je vrlo siguran, proces nije kontinuiran, stoga je efikasnost ovog sustava niska (Nkanza i drugi, 2018.).

#### Automatizirani sustav za uvlačenje cijevnih alatki s mehaničkom rukom

Ovaj sustav konstruiran je kao kombinacija dizalice, prijenosne horizontalne ruke i vertikalne ruke. Cijevi se najprije prebacuju na horizontalnu ruku i ruka se podiže na gore. Rukom dizalice cijev se prebacuje u



Slika 2-3. Automatizirani sustav s mehaničkom rukom Terra Invader 350 tvrtke Herrenknecht (URL 9)



Slika 2-4. Automatizirani sustav za uvlačenje cijevnih alatki s mobilnom rukom THV 7700 kompanije Drillmec (URL 10)

vertikalnu ruku koja pridržava navedenu cijev, tj. alatku prilikom operacije navrtanja, odnosno odvrtnja (slika 2-3.) Prednost ovog sustava je što je relativno brz u odnosu na ostale sustave (Nkanza i drugi, 2018.).

### Automatizirani sustav za uvlačenje cijevnih alatki s mobilnom rukom

Automatizirani sustav za uvlačenje cijevnih alatki s mobilnom rukom sastoji se primarno od mobilne ruku koja rotacijom od 90° prenosi cijev iz horizontalnog u vertikalni položaj i spušta cijev u mišju rupu. Takav sustav razvija tvrtka Drillmec, pod nazivom THV 7700 (slika 2-4.). Neki od komercijalno dostupnih sustava, spuštaju cijevi u mišju rupu i navrću cijevi tako da se dobije pas cijevi koji se spaja s ostalim nizom cijevi.

#### 2.3.2. Sustavi za rad s alatkama unutar bušaćeg tornja

Za rad s alatkama unutar samog tornja, odnosno na njegovom podištu razvijeni su različiti komercijalno dostupni sustavi.

### Sustav za prijenos cijevnih alatki iz horizontalnog u vertikalni položaj

Sustav za prijenos cijevnih alatki iz horizontalnog u vertikalni položaj (engl. *horizontal to vertical arm – HTV*) omogućava zahvaćanje cijevnih alatki koje se nalaze u horizontalnom položaju ili pod određenim nagibom iznad mišje rupe ili otvor kanala bušotine. U kombinaciji s drugim alatkama (sustavima) koristi se i za navrtanje cijevi u niz (pas) od dvije, tri ili četiri cijevi. Cijeli se sustav kreće po šinama pričvršćenim za konstrukciju tornja i sadrži teleskopsku ruku kojom se mogu obuhvatiti cijevne alatke promjera do 0,508 m te mase do 10 tona (slika 2-5.). Sustavom se može upravljati ručnim načinom rada iz bušaće kabine ili preko radne konzole na podištu tornja, odnosno automatskim načinom čime se smanjuje potreba za ljudskim radom.

### Ruka za rad s različitim alatkama na podištu tornja

Ruka za rad s različitim alatkama na podištu tornja (engl. *drill floor manipulator hand – DFMA*) koristi se kao pomoćni sustav za preuzimanje cijevnih alatki (zaštitnih cijevi, bušaćih alatki i rajzera) od sustava za podizanje alatki u vertikalni položaj te njihovo pozicioniranje iznad otvora kanala bušotine. Smještena je na postolju zavarenom za podište tornja ili je pričvršćena za donju stranu potporne strukture kojom prolaze vodilice sustava vršnog pogona. Rukom za rad s različitim alatkama na podištu tornja moguće je upravljati pomoću sustava za upravljanje u bušaćevoj kabini i daljinskim upravljačem (URL 12). Model ruke UHT 1 200 maksimalne je nosivosti 1 200 kilograma i posjeduje mogućnost horizontalne rotacije ruke u opsegu od 360°, s horizontalnim dosegom od 7,7 m izvlačenjem teleskopske ruke duljine 5 m (slika 2-6.) Prigradnjom hvataljke



Slika 2-5. Sustav za prijenos cijevnih alatki iz horizontalnog u vertikalni položaj kompanije TSC (URL 11)



Slika 2-6. Ruka za rad s različitim alatkama na podištu tornja UHT 1 200 kompanije NOV (URL 13)

moguće je obuhvatiti cijevne alatke promjera od 0,067 metara do 0,254 metara, dok se ugradnjom hvataljke za teške uvjete rada mogu obuhvatiti cijevi promjera od 0,073 metara do 0,762 metara (URL 13).

Također, danas postoje izvedbe koje se mogu horizontalno kretati po traci, čime se povećava sposobnost rada s alatkama.

### Sustav za rad s cijevnim alatkama u vertikalnom položaju

Sustav za rad s cijevnim alatkama u vertikalnom položaju (engl. *vertical pipe handling system – VPH*) koristi se za rad s bušačim alatkama u vertikalnom položaju, odnosno tijekom izvlačenja ili spuštanja niza bušačkih alatki. Konstrukcija sustava ponajprije ovisi o platformi na kojoj se pričvršćuju cijevi u vertikalnom položaju unutar tornja, zadaći koju treba obaviti kao i potrebi za radom u promjenjivom vertikalnom i horizontalnom smjeru. Sustav se sastoji od više sinkroniziranih podsustava za prihvaćanje cijevi u nekoliko točaka da bi se osigurao vertikalni položaj cijevi (Slika 2-7.). Svaki od tih podsustava ima podešavajući prihvatni sustav koji može obuhvatiti cijevi različitog promjera. Dio ovog sustava koji se nalazi na podištu tornja, kreće se šinama čime se olakšava zahvaćanje cijevnih alatki odloženih unutar tornja. Sustav za rad s cijevnim alatkama u vertikalnom položaju kompanije MHWirth omogućava rad s nizom cijevi mase od 6 900 do 16 500 kilograma brzinom od 0,2 m/s do 0,5 m/s. Visina ovakvog sustava kreće se od 5,9 metara

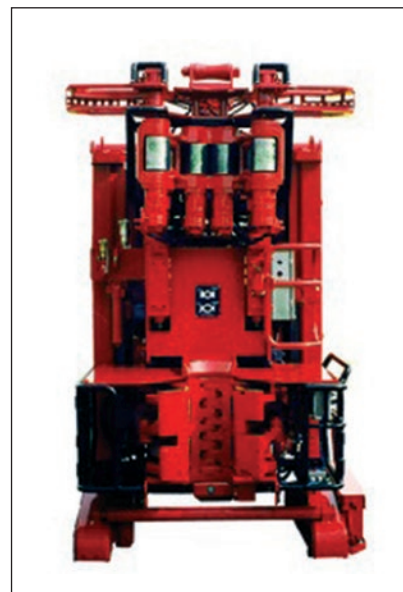
do 48 metara, pri čemu je moguće ostvariti vertikalnu rotaciju sustava od 210° i 270° (URL 14).

### 2.3.3. Automatizirani sustav za navrtanje/odvrtanje cijevnih alatki

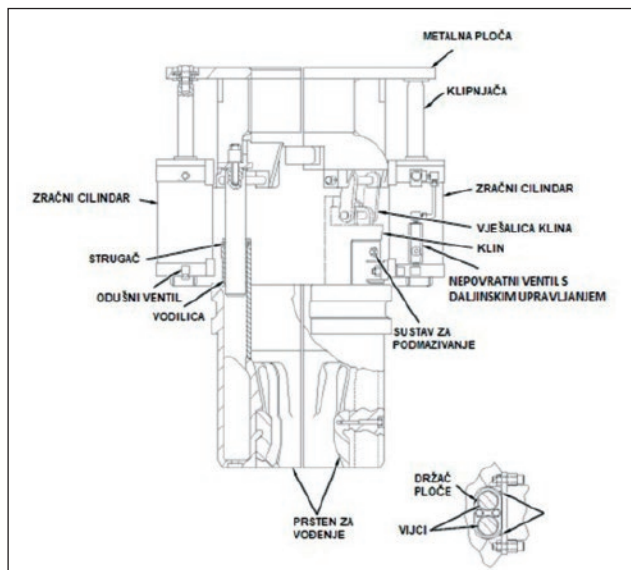
Posao klinaša zahtijeva snagu, koncentraciju i spremnost na rad u smjenama od 12 sati koje, ovisno o operaciji koja se obavlja mogu biti prilično zahtjevne. Tijekom izvođenja zahtjevnih operacija kao što je spuštanje ili izvlačenje bušačkog niza na određenu dubinu, zbog velikih fizičkih napora, ali i neopreznosti i smanjenja koncentracije uslijed ponavljanja istih i monotoni operacija često dolazi do ozljeda na radu. Uvođenjem potpuno automatiziranog hidrauličkog sustava za navrtanje/odvrtanje bušačkih alatki uvelike se povećava sigurnost i efikasnost u radu bušačkog postrojenja, te se izbjegavaju problemi vezani uz nepravilni položaj kliješta za dotezanje navojnih spojeva, primjene nedovoljnog ili prevelikog momenta dotezanja, itd. Današnji hidraulički sustavi za navrtanje/odvrtanje alatki predstavljaju složeni trodijelni sklop koji se sastoji se od stezaljke koja tijekom procesa navrtanja/odvrtanja pridržava uklinjenu cijev i sprječava njenu rotaciju, navrtača (engl. *spinner*), odnosno sustava valjaka, kojim se navrće, odnosno odvrtće cijev s uklinjenog niza alatki te rotirajućeg ključa (engl. *torque wrench*), smještenog iznad stezaljke, kojim se ostvaruje veći moment torzije te se dodatno doteže cijev na uklinjeni niz. Automatizirani hidraulički sustavi za navrtanje/odvrtanje alatki sadrže senzore koji imaju mogućost prepoznavanja promjera i položaj cijevi



Slika 2-7. Sustav za rad s cijevnim alatkama u vertikalnom položaju kompanije Aker Solutions (URL 12)



Slika 2-8. Automatizirani hidraulički sustav za navrtanje/odvrtanje cijevnih alatki AR-3 200 kompanije NOV (URL 15)



Slika 2-9. Bokokrt pneumatskog sustava klinova PS-16 (URL 16)

prilagođavajući cijeli sustav karakteristikama pojedine cijevne alatke. Upravljanje ovim sustavom moguće je iz bušačeve kabine, ožičenim daljinskim upravljačem i kod modernijih izvedba daljinski, putem bežične mreže. Prednost ovakvog sustava, kao što je sustav AR- 3 200 kompanije NOV, je što je kompaktan i zauzima malo prostora na podištu tornja, a njegovim postavljanjem na šine na podištu tornja postiže se dodatna mobilnost cijelog sustava (slika 2-8.). Karakteristike AR- 3 200 sustava su: masa od 5 490 kg, mogućnost navrtanja brzinom 100 o/min pri momentu navrtanja od 2 711 Nm (maksimalni mogući moment navrtanja iznosi 135 582 Nm, odnosno odvrtanja 162 698 Nm) te mogućnost zahvaćanja bušačkih alatki promjera od 0,0889 m do 0,24765 metara (URL 15).

#### 2.3.4. Automatski klinovi

Danas se još uvijek u procesu bušenja na većini kopnenih bušačkih postrojenja koriste klinovi kojima rukuju klinaši. Upotrebom automatskih klinova, povećava se efikasnost u radu postrojenja, ubrzava rad i povećava sigurnost u radu klinaša. Obzirom na pogonski sustav, automatski klinovi dijele se na zračno pogonjene (pneumatske) klinove i hidraulički pogonjene klinove.

Pneumatski sustava klinova PS-16 kompanije NOV sastoji se od metalne ploče, sustava zračnih cilindara s klipnjačom, vodilice, odušnog i nepovratnog ventila s daljinskim upravljanjem, sustava za podmazivanje, prstena za vođenje, strugača, konektora za brzo odspajanje (engl. *quick disconnect* – QD), i samih klinova (slika 2-9.). Svaki sustav automatskih klinova sadrži



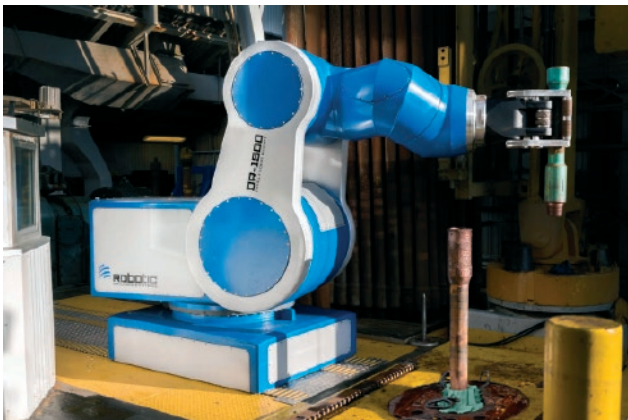
Slika 2-10. Sustav automatskih hidrauličkih klinova s okvirom (URL 17)

četiri klina. Sami klinovi sastoje se od tijela klina, držača klina, umetka klina i vijaka za pričvršćivanje. Prsten za vođenje niza alata nalazi se na donjoj strani sustava automatskih klinova i služi za centriranje alatki prilikom njihovog kretanja. Prsten je podijeljen na dva dijela, koji se razdvajaju u horizontalnom smjeru prilikom spuštanja klinova. Ovisno o vanjskom promjeru cijevi, koriste se prsteni različitog unutarnjeg promjera. Spomenuti sustav sastoji se od dvaju cilindara povezana klipnjačom s duljinom hoda klipa od 0,2159 m pri tlaku od 6,2 bar. Podizanjem sustava klipa s klipnjačom, podižu se i razmiču klinovi, čime se oslobađa niz bušačkih alatki, a obrnutim postupkom dolazi do njihovog uklinjenja. Cijelim sustavom moguće je upravljati iz kabine bušača, ali i sa podišta tornja ručnim otvaranjem kontrolnog ventila. U slučaju prevelikog tlaka u sustavu, otvaraju se odušni ventili koji smanjuju tlak u sustavu.

Sustav rada hidrauličkih klinova sličan je radu pneumatskih klinova, samo što se za njihov pogon koristi hidraulički fluid čije su karakteristike: sposobnost hlađenja sustava, zaštita od nečistoća i korozije, mala sklonost oksidaciji i stvaranju pjene, itd. Postoji varijacija ovih sustava klinova koji nije integriran, već se posebno sastoji od klinova i pogonskog sustava s okvirom (slika 2-10.).

### 3. Robotizacija bušačkih postrojenja

Robotizacija je prisutna u raznim granama industrije diljem svijeta kao što su automobilska, svemirska i vojna industrija, u medicini, ali i mnogim drugim



Slika 3-1. Robotizirana ruka za rad s različitim alatima, model DFR-1 500 (URL 21)

područjima ljudske djelatnosti. Prema Hrvatskoj enciklopediji iz 2013. godine riječ robot (češ. *robot*, prema *robota*: tlaka, kmetski rad) označava automatizirani stroj višestruke namjene, koji može obavljati neke zadatke slično ljudskom djelovanju (URL 18). Ideje o razvoju robota u procesu bušenja potječu još od sredine prošlog stoljeća, no zbog nedovoljno razvijenih računalnih sustava i kvalitete materijala za izradu robota to naprosto nije bilo moguće. U zadnjih dvadeset godina pokrenuto je više projekata s ciljem razvoja robotiziranih sustava koji će biti korišteni u procesu bušenja. Već prve studije pokazale su veliki potencijal u primjeni robota za obavljanje različitih operacija na bušačem postrojenju, osobito operacija na podištu bušačeg tornja čime se štedi vrijeme i podiže razina sigurnosti i preciznosti u radu. Jedan od takvih projekata je projekt koji je pokrenula tvrtka Canrig Robotics. 2016. godine u suradnji s tvrtkom Eni za razvoj robotiziranih sustava za rad s alatima u procesu bušenja. Suradnja uključuje dva projekta: „Pilot projekt razvoja robota u procesu bušenja na odobalnim postrojenjima“ i „Demonstracija kontrole procesa automatiziranog bušenja“. Za navedene projekte korištena su tri kopnena bušača postrojenja, od kojih je jedno mobilno bušače postrojenje montirano na kamion, i dva bušača broda sa po dva bušača tornja (Cappuccio i drugi, 2019.).

### 3.1. Robotizirani sustav za rad s bušačim alatima

Tijekom ovih dvaju projekata razvijeni su i testirani sljedeći sustavi tvrtke Canrig Robotics:

- robotizirana ruka za rad s različitim alatima;
- robotizirani sustav za rad s alatima u vertikalnom položaju;

- robotizirani hidraulički sustav za navrtanje/odvrtanje cijevnih alatki;
- robotizirani sustav za rad s cijevnim alatom na odlagalištu cijevnog alata i
- elevator s varijabilnim insertima za prihvat alatki različitog promjera.

Upravljanje robotiziranim sustavima ostvaruje se primjenom upravljačkog sustava i integriranog antikolizijskog sustava. Upravljački sustav upravlja i koordinira izvođenjem operacija, dok integrirani antikolizijski sustav sadrži 3D virtualni model bušačeg postrojenja i uloga mu je sprječavanje kolizije robota s osobljem i drugim elementima prisutnima na bušačem postrojenju (Cappuccio i drugi, 2019.).

#### 3.1.1. Robotizirana ruka za rad s različitim alatima

Robotizirana ruka za rad s različitim alatima (engl. *drill floor robot – DFR*), pogoni se električnom energijom i predstavlja robot sa sedam stupnjeva slobode. Stupanj slobode u robotici predstavlja broj mogućih nezavisnih okretanja ostvarenih okretajem zglobova (URL 19). Robotizirana ruka kreće se linearno na šinama, postavljenim na podištu tornja, čime joj je omogućena veća fleksibilnost. Zahvaljujući rotirajućoj hvataljci (engl. *robot tool spinning gripper – RTSG*) robotizirana ruka može raditi (podizati, spuštati, rotirati i premještati) s alatima manjih dimenzija poput prijelaza između različitih alatki niza bušačeg alata, stabilizatora i dr. Uz rotirajuću hvataljku nalaze se sigurnosna stezaljka i usmjerivač za zaštitne cijevi. Model DFR – 1 500 mase je 13 400 kg, visine 3,17 m, širine 1,62 m i duljine 5,2 m. Maksimalna nosivost iznosi 1 500 kg, odnosno 1 200 kg ukoliko je na nju postavljena ranije spomenuta rotirajuća hvataljka (slika 3-1.). Robotizirana ruka ima mogućnost obuhvata alata promjera od 7,30 cm do 27,31 cm, i preciznost od +/- 2 mm pri 25% opterećenja te +/- 5 mm pri maksimalnom opterećenju (URL 20).

Prema studiji izvedenoj na Ullrigg bušačem postrojenju u sklopu Ullrigg centra za testiranje u Stavangeru, upotrebom robotizirane ruke vrijeme potrebno za rad s cijevnim alatom manjih dimenzija i prijelazima, tijekom pojedinačne operacije, iznosi od 30 do 60 sekundi u odnosu na ručni rad osoblja gdje je za istu operaciju osoblja potrebno od 2 do 3 minute. Robotizirana je ruka projektirana za radni vijek od deset godina. Također, planiran je projekt ugradnje robotizirane ruke na poluuronjivu platformu Deepsea Atlantic. Tijekom provedenih proračuna i digitalne



simulacije korištenja robotizirane ruke na poluuro-njivoj platformi Deepsea Atlantic na Sjevernom moru, tijekom dodavanja i dotezanja bušotinskog alata za izradu kanala bušotine promjera 31,12 cm, postignuta je ušteda u vremenu od 8 minuta i 55 sekundi u odnosu na vrijeme koje bi bilo potrebno osoblju da obavi iste operacije. Robotiziranom rukom obavljen je isti posao na kojem je trebalo biti angažirano od jedna do dvije osobe te je broj ručnih operacija smanjen za 21 (Raunholt i drugi, 2017.).

Iz tvrtke Canrig Robotics procjenjuju da će se korištenjem robotizirane ruke za rad s različitim alatima, u usporedbi s klasičnim ručnim metodama, ubrzati proces rada s bušačim alatima za 40% i ostvariti godišnje uštede od 10 do 20 mil. USD (URL 22).

### 3.1.2. Robotizirani sustav za rad s alatima u vertikalnom položaju

Robotizirani sustav za rad s alatima u vertikalnom položaju (engl. *robotic pipe handler* – RPH), model RPH- 7 000, pogoni se električnom energijom i sadrži dvije, međusobno neovisne, ruke za rad s alatima koje se kreću u vertikalnom smjeru na šinama (slika 3-2.). Svaka ruka sadrži dvije stezaljke koje automatski mijenjaju kut obuhvata i mogu obuhvatiti cijevi promjera od 0,1016 m do 0,3556 m. Donja ruka ima sposobnost obuhvata bušačkih šipki, teških šipki, zaštitnih cijevi i tubing iz horizontalnog položaja i podizanja u vertikalni položaj i obrnuto. Maksimalna nosivost spomenutog modela robotiziranog sustava za rad s alatima u vertikalnom položaju iznosi 7 000 kg, odnosno 3 500 kg po ruci. Masa samog sustava iznosi 65 000 kg s



Slika 3-2. Robotizirani sustav za rad s alatima u vertikalnom položaju, model RPH - 7 000 (URL 23 i URL 24)

visinom od 33,25 m, a za njegovo pokretanje koristi se trofazni elektromotor snage 55 kW i vrijednosti linij-skog napona od 400 V do 480 V (URL 23).

Također, spomenuti sustav sadrži i sklop za navrtanje/odvrtanje cijevnih alatki s mogućnošću ostvarivanja maksimalnog momenta dotezanja od 100 000 Nm (Cappuccio i drugi, 2019.).

### 3.1.3. Robotizirani hidraulički sustav za navrtanje/odvrtanje cijevnih alatki

Robotizirani hidraulički sustav za navrtanje/odvrtanje cijevnog alata (engl. *robotic roughneck* – RRN), model RRN – 250, sastoji se, kao i prije spomenuti automatizirani hidraulički sustav za navrtanje/



Slika 3-3. Robotizirani hidraulički sustav za navrtanje/odvrtanje cijevnih alatki, model RRN - 270 (URL 24)



Slika 3-4. Robotizirani sustav rad s cijevnim alatom na odlagalištu cijevnog alata, model PDH - 3 500 (Cappuccio i drugi., 2019.)

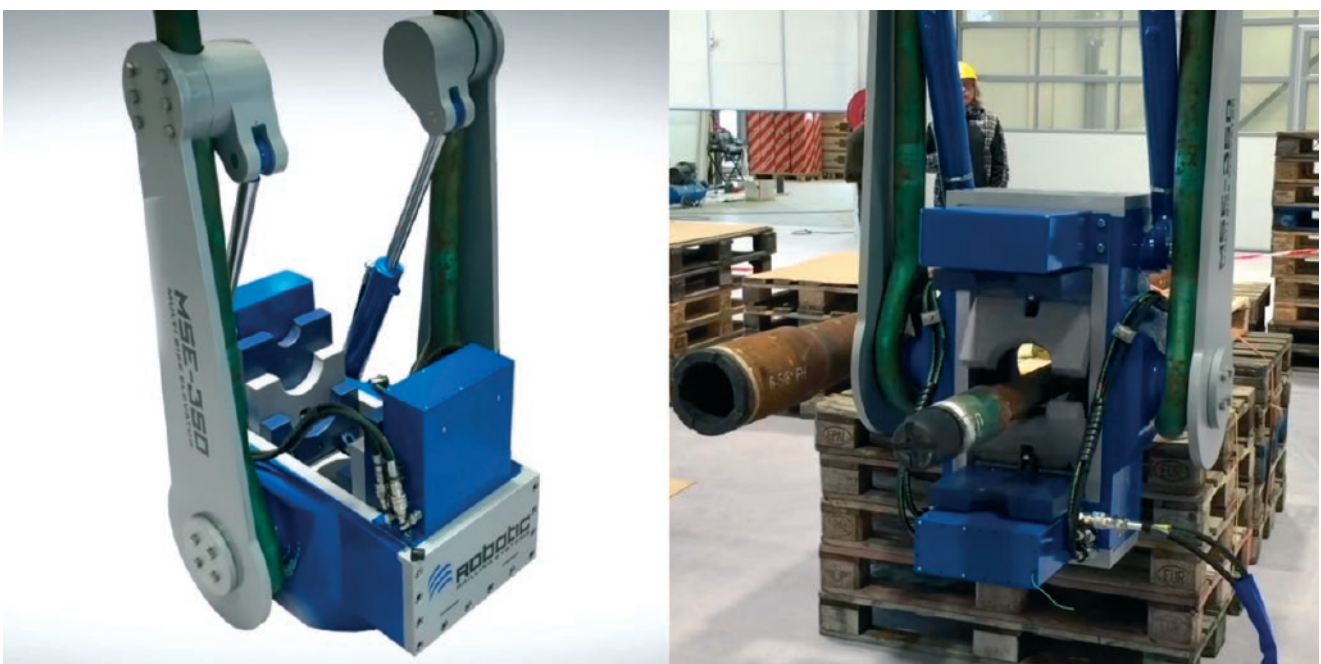
odvrtnje cijevnih alatki, od trodijelnog sklopa koji se sastoji od stezaljke, navrtača i moment ključa i kreće se u horizontalnom smjeru na šinama. Ovaj sustav ima sklop podesiv po visini, te se njime mogu navrtati, odnosno otpuštati, bušace, teške šipke, zaštitne cijevi, ali i drugi cijevni alat. Robotizirani sustav za navrtanje/odvrtnje pogoni trofazni elektromotor snage 22,75 kW i vrijednosti linijskog napona od 400 V do 480 V. Ovim sustavom može se ostvariti navrtanje/odvrtnje cijevnog alata promjera od 0,1016 m do 0,3556 m maksimalnim momentom torzije koji je moguće ostvariti do 250 000 Nm. Usporedbe radi, model RRN - 270 ima maksimalni ostvarivi moment torzije od 270 000 Nm (slika 3-3.). Masa sustava iznosi 2 000 kg uz sljedeće dimenzije: visina 3,9 m, širina 2,5 m i duljina 3,4 m (URL 25).

### 3.1.4. Robotizirani sustav rad cijevnim alatom na odlagalištu cijevnog alata

Robotizirani sustav za rad s cijevnim alatom na odlagalištu cijevnog alata (engl. *pipe deck handler* - PDH) koristi se za prijenos cijevnog alata s odlagališta cijevnog alata izvan tornja do robotiziranog sustava za rad s alatkama u vertikalnom položaju. Također, postoje izvedbe koje omogućuju prijenos cijevnog alata s odlagališta direktno u za to predviđen prostor na podištu tornja ili direktno iznad kanala bušotine, čime se eliminira potreba za zračnim vitlom, sustavom za uvlačenje alatki i usmjeravanjem alata od strane radnika. Sustav komercijalnog naziva PDH - 3 500 (slika 3-4.) nosivosti je 3 500 kg i sastoji se od ruke s dvije stezaljke koja se kreće u horizontalnom smjeru po nosaču i nosača koji se kreće u horizontalnom smjeru na šinama (Cappuccio i drugi, 2019.).

### 3.1.5. Robotizirani elevator s varijabilnim ulošcima

Robotizirani elevator s varijabilnim ulošcima (engl. *multi-size elevator* - MSE), u ovom slučaju model MSE - 500, ima mogućnost rada s cijevnim alatkama promjera od 0,0730 m do 0,1338 m zahvaljujući setu od četiri para uložaka koji zahvaćaju odgovarajuće promjere cijevnih alatki. Ulošci se mijenjaju putem daljinskog upravljanja, ovisno o promjeru alatke koju elevator obuhvaća, čime se ostvaruju vremenske uštede u odnosu na klasične elevantore, gdje je pri promjeni promjera alata potrebno mijenjati elevantore, što je



Slika 3-5. Robotizirani elevator s varijabilnim ulošcima MSE - 350 (URL 24)

obično potrebno 5 do 10 minuta. Elevator ima mogućnost rotacije od 180°, pogoni se preko hidrauličkog sustava vršnog pogona i njime se upravlja bežičnim putem. Ukupna masa elevatora je 1 900 kg i maksimalna je nosivost 500 tona. Može izdržati rad pri temperaturama od -25°C do 55°C (URL 26). Za razliku od modela MSE – 500, model elevatora MSE – 350 sadrži tri para uložaka i maksimalna mu je nosivost 350 tona (slika 3-5.).

## 4. Zaključak

U svijetu se još uvijek koriste konvencionalna postrojenja u procesu bušenja na kojima se znatan dio operacija obavlja uz direktno sudjelovanje osoblja. Pri takvim uvjetima rada osoblje na postrojenju izloženo je opasnostima od ozljeda zbog rada na malom prostoru okruženom robusnim i teškim alatima i uređajima, nespretnog i neprofesionalnog rada s opremom, pada predmeta ili gotovo cijele konstrukcije. S obzirom da takvi poslovi zahtijevaju konstantno ponavljanje istih postupaka, s vremenom dolazi do zamora ljudskog organizma i smanjenja koncentracije. Rezultat toga može biti neopreznost koja dovodi do ozljeda i oštećivanja opreme što rezultira zastojem u radu, a samim time do povećanih troškova. No, rad na postrojenju postupno je olakšan uvođenjem u upotrebu mehaniziranih i robotiziranih uređaja i sustava. Tijekom vremena došlo je do iscrpljivanja konvencionalnih i plitkih ležišta ugljikovodika i do povećane potražnje za ugljikovodicima, što je rezultiralo istraživanjem, bušenjem i pridobivanjem ugljikovodika iz nekonvencionalnih ležišta, ležišta na većim

dubinama pri uvjetima visokog ležišnog tlaka i temperature te bušenjem u područjima s ekstremnom klimom i uvjetima rada. Troškovi rada i bušenja na navedenim područjima i uvjetima rada dodatno poskupljuju i usložnjavaju obavljanje procesa bušenja. Uz to, sve se više pažnje posvećuje sigurnosti osoblja na radu, povećanju efikasnosti, a samim time i povećanju prihoda.

Zahvaljujući razvoju tehnologije izrade bušotina, ispunjenje tih zahtjeva i svladavanje raznih prepreka je moguće uvođenjem računala, automatiziranih uređaja i strojeva u rad bušačkog postrojenja čime se eliminirala potreba za direktnim sudjelovanjem osoblja u obavljanju pojedinih operacija. Na najmodernijim postrojenjima, osoblje je smješteno u kontrolne sobe gdje nadzire i pokreće operacije pomoću računala, odnosno preko panela. Rezultat toga je smanjenje broja osoblja, veća sigurnosti, ali i potreba za školovanim kadrom.

U budućnosti se očekuje napredak u razvoju tehnologije te će u primijeni biti potpuno samostalna postrojenja čijim će se radom moći upravljati daljinski, bez potrebe za prisutnošću osoblja na postrojenju. To će dovesti do znatnog povećanja efikasnosti, sigurnosti, povećanju prihoda, a samim time i mogućnosti bušenja u područjima i uvjetima u kojima je to danas nezamislivo. Međutim i u ovom slučaju neophodan je ljudski nadzor u realnom vremenu, samo što će on biti više fokusiran na kontroliranje rada sustava nego na obavljanje pojedinih operacija.

Osim što donosi brojne prednosti, automatizacija i robotizacija bušačkih postrojenja neminovno će dovesti i do redizajna samih postrojenja što će biti direktna posljedica robusnosti, dimenzija i mase ovakvih sustava.

## Literatura

1. CAPPUCCIO, P., BURRAFATO, S., MALIARDI, A., RICCI MACCARINI, G., TACCORI D., DALLA COSTA, R., RAUNHOLT, L. & LARSEN, Ø.: Full Robotic Drill Floor as Advanced Rig Automation. SPE-197854-MS, Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference, Abu Dhabi, UAE, 2019., str. 1.-18.
2. EUSTES, A. W.: The Evolution of Automation in Drilling. SPE 111125, SPE Technical Conference and Exhibition, Anaheim, Kalifornija, SAD, 2007., str. 1.-5.
3. GUPTA, S.: Rig Automation – Altering the Visage of the Oil Industry. IADC/SPE 100052, IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference and Exhibition, Bangkok, Tajland, 2006., str. 1.-8.
4. LEVETT, B.: Improved Safety of Rig Automation with Remote Monitoring and Diagnostics. SPE 86600, The Seventh SPE International Conference on Health, Safety, and Environment in Oil and Gas Exploration and Production, Calgary, Alberta, Kanada, 2004., str. 1.-4.
5. NKANZA, N., DING, F., QIAOLEI, S. I YILIU, T.: Technology and Developing Trends of Automatic Catwalk in China's Drilling Rigs. International Journal of Scientific Research and Management, 2018., 6(07)., str. 1.-6.
6. RAUNHOLT, L., SERVODIO R., MALIARDI A., TORVUND, S.: First implementation of robot technology for the drill floor. OMC-2017-596, 13<sup>th</sup> Offshore Mediterranean Conference and Exhibition, Ravenna, Italija, 2017., str. 1.-11.

## Internetske stranice

1. URL 1: SAN JOAQUIN VALLEY GEOLOGY, 2014., <http://www.sjvgeology.org/history> (1.12.2018.)
2. URL 2: ENCYCLOPEDIA BRITANNICA, 2015., <https://www.britannica.com/biography/Edwin-Laurentine-Drake> (1.12.2018.)
3. URL 3: OIL HISTORY, 2004., <http://www.petroleumhistory.org/OilHistory/pages/Diamond/desc.html> (1.12.2018.)
4. URL 4: OIL AND GAS JOURNAL, 2015., <https://www.ogj.com/articles/print/volume-88/issue-16/in-this-issue/drilling/equipment-available-for-automating-rig-operations.html> (2.12.2018.)
5. URL 5: OMRON OILFIELD & MARINE, 2014., <https://www.youtube.com/watch?v=OhaOgiM8aNY> (4.12.2018.)
6. URL 6: OMRON OILFIELD MARINE, 2014., <https://www.youtube.com/watch?v=dXTssL768Rw> (4.12.2018.)
7. URL 7: TIANJIN ELEGANT TECHNOLOGY, 2012., <http://www.sovonex.com/drilling-equipment/api-land-drilling-rigs/electric-mechanical-drilling-rigs/#mechanical-drilling-rigs> (6.12.2018.)
8. URL 8: FORUM ENERGY TECHNOLOGIES, 2018., <https://www.f-e-t.com/products/drilling-and-subsea/drilling/tubular-handling/catwalks> (7.12.2018.)
9. URL 9: HERRENKNECHT, 2014., <https://www.herrenknecht.com/en/newsroom/pressreleasedetail/mobile-deep-drilling-rig-for-efficient-shale-gas-development/> (7.12.2018.)
10. URL 10: DRILLMEC, 2015., DRILLMEC THV 7700 Automatic Handling System, <https://www.youtube.com/watch?v=bBjYETwY7N4> (9.12.2018.)
11. URL 11: TSC, 2015., Tubular & Riser Handling Equipment Brochure, [http://www.t-s-c.com/upload/file/2015-05/Tubular\\_Riser\\_Handling\\_Equipment\\_Brochure\\_1152KB\\_.pdf](http://www.t-s-c.com/upload/file/2015-05/Tubular_Riser_Handling_Equipment_Brochure_1152KB_.pdf) (11.12.2018.)
12. URL 12: AKER SOLUTIONS, 2012., Drilling Technologies <https://www.yumpu.com/en/document/view/9157968/catalogue-drilling-technologies-aker-solutions> (05.12.2018.)
13. URL 13: NATIONAL OILWELL VARCO, 2016., [https://www.nov.com/Segments/Rig\\_Technologies/Rig\\_Equipment/Offshore/Pipe\\_Handling/Horizontal\\_Pipe\\_Handling/Robotic\\_Arms/UHT\\_1200.aspx](https://www.nov.com/Segments/Rig_Technologies/Rig_Equipment/Offshore/Pipe_Handling/Horizontal_Pipe_Handling/Robotic_Arms/UHT_1200.aspx) (11.12.2018.)
14. URL 14: MHWIRTH, 2017., Vertical Pipe Handling, [http://mhwirth.com/wp-content/uploads/pdf/2017-08\\_Vertical-Pipe-Handling\\_final.pdf](http://mhwirth.com/wp-content/uploads/pdf/2017-08_Vertical-Pipe-Handling_final.pdf) (11.12.2018.)
15. URL 15: ATLANTIC OILFIELD SURPLUS, 2013., [www.atlanticoilfieldsurplus.com/product-pagenew-nov-varco-iron-roughneckar-3200-ir](http://www.atlanticoilfieldsurplus.com/product-pagenew-nov-varco-iron-roughneckar-3200-ir) (11.12.2018.)
16. URL 16: NATIONAL OILWELL VARCO, 2008., PS15/16, <https://www.scribd.com/doc/212235286/NOV-Manually-Operated-Power-Slip> (10.12.2019.)
17. URL 17: NATIONAL OILWELL VARCO, 2010., [https://www.quipbase.com/quipbase/edir.nsf/docid/E930F34A31620231C12579FF007634CB/\\$file/NOV+Varco+Power+Slips+2010.pdf](https://www.quipbase.com/quipbase/edir.nsf/docid/E930F34A31620231C12579FF007634CB/$file/NOV+Varco+Power+Slips+2010.pdf) (11.12.2018.)
18. URL 18: HRVATSKA ENCIKLOPEDIJA, 2013., <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=53100> (2.12.2019.)
19. URL 19: PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU, 2015., <http://web.studenti.math.pmf.unizg.hr/~btrojko/semrac/primjenagrada.html> (28.11.2019.)
20. URL 20: NABORS, 2019. Drill Floor Robot: DFR-1 500, [https://www.nabors.com/sites/default/files/resources/BRCH-DFR1500\\_CN\\_ONLINE.pdf](https://www.nabors.com/sites/default/files/resources/BRCH-DFR1500_CN_ONLINE.pdf) (06.12.2019.)
21. URL 21: ENERGID, 2014., <https://www.energid.com/solutions/robotic-autonomous-oil-drilling> (27.11.2019.)
22. URL 22: THE ROBOT REPORT, 2018., <https://www.therobotreport.com/canrig-robotics-oil-drilling-robot/> (30.11.2019.)
23. URL 23: NABORS, 2019., „Robotic Pipe Handler: RPH-7 000“, [https://www.nabors.com/sites/default/files/resources/BRCH-RPH-7000\\_CR\\_ONLINE.pdf](https://www.nabors.com/sites/default/files/resources/BRCH-RPH-7000_CR_ONLINE.pdf) (06.12.2019.)
24. URL 24: OLARSEN, 2017., <https://www.youtube.com/watch?v=-SgzZ5i7Ekg> (28.11.2019.)
25. URL 25: NABORS, 2018., „Robotic Roughneck: RRN-250“, [https://www.nabors.com/sites/default/files/resources/Electric-Robotic-Roughneck\\_0.pdf](https://www.nabors.com/sites/default/files/resources/Electric-Robotic-Roughneck_0.pdf) (07.12.2019.)
26. URL 26: NABORS, 2018., „Multi Size Elevator: MSE-500“, [https://www.nabors.com/sites/default/files/resources/BRCH-MSE500\\_CN\\_ONLINE.pdf](https://www.nabors.com/sites/default/files/resources/BRCH-MSE500_CN_ONLINE.pdf) (08.12.2019.)