

# Komponente niza usponskih cijevi

---

**Božić, Dominik**

**Master's thesis / Diplomski 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:169:774769>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-15**



*Repository / Repozitorij:*

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



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

**KOMPONENTE NIZA USPONSKIH CIJEVI**

Diplomski rad

Dominik Božić

N365

Zagreb, 2022.

## KOMPONENTE NIZA USPONSKIH CIJEVI

DOMINIK BOŽIĆ

Diplomski rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za naftno - plinsko inženjerstvo i energetiku  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

### Sažetak

Niz usponskih cijevi predstavlja hermetičnu i integriranu vezu postrojenja koje se nalazi na površini mora te ušća bušotine na morskom dnu tijekom cijelog životnog vijeka naftnog/plinskog polja. Pomnim odabirom komponenata niza i njihovom dimenzioniranju s obzirom na dubinu mora, očekivane vremenske uvjete te ležišne uvjete tlaka i temperature smanjuje se mogućnost za nastankom havarije te samim time povećava sigurnost ljudi i okoliša. Kad se svi čimbenici uzmu u obzir, za svaku odobalnu aktivnost, projektiranje niza usponskih cijevi predstavlja jedan od najzahtjevnijih dijelova projekta.

Ključne riječi: aktivnosti u akvatoriju, niz usponskih cijevi, komponente

Diplomski rad sadrži: 61 stranica, 31 slika, 3 tablice i 31 referenca  
Jezik izvornika: Hrvatski

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

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

Komentor: Dr. sc. Petar Mijić, poslijedoktorand RGNF

Ocjenjivači: Dr. sc. Borivoje Pašić, izvanredni profesor RGNF  
Dr. sc. Vladislav Brkić, izvanredni profesor RGNF  
Dr. sc. Zdenko Krištafor, redovni profesor RGNF

Datum obrane: 17.2.2022., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

## MARINE RISER COMPONENTS

DOMINIK BOŽIĆ

Thesis completed at: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Department of Petroleum and Gas Engineering and Energy,  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

### Abstract

A marine riser is a hermetic and integrated connection of an oil platform located on the surface of the sea, and the wellhead, located on the seabed throughout the life of the oil / gas field. Careful selection of the marine riser components and their sizing regarding sea depth, expected weather conditions and reservoir pressure and temperature conditions reduce the possibility of accidents, therefore increasing the safety of the people and the environment. When all factors are considered, designing a marine riser system for each offshore activity is one of the most demanding parts of the project.

Thesis contains: 61 pages, 31 figures, 3 tables and 31 references.

Original in: Croatian

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

Supervisor: PhD Borivoje Pašić, Associate Professor

Co-mentor: PhD Petar Mijić, Postdoctoral Researcher

Reviewers: PhD Borivoje Pašić, Associate Professor

PhD Vladislav Brkić, Associate Professor

PhD Zdenko Krištafor, Full Professor

Date of defense: February 17., 2022, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

## SADRŽAJ

|  |            |
|--|------------|
| <b>I POPIS SLIKA .....</b>   | <b>I</b>   |
| <b>II POPIS TABLICA .....</b>  | <b>III</b> |
| <b>III POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I PRIPADAJUĆIH SI JEDINICA .....</b>              | <b>IV</b>  |
| <b>1. UVOD .....</b>   | <b>1</b>   |
| <b>2. KUGLASTA SPOJNICA.....</b>   | <b>3</b>   |
| <b>2.1 Donja kuglasta spojnica .....</b>   | <b>3</b>   |
| <b>2.2. Gornja kuglasta spojnica .....</b>                                       | <b>6</b>   |
| <b>2.3. Srednja fleksibilna spojnica.....</b>                                    | <b>8</b>   |
| <b>3. USPONSKE CIJEVI .....</b>  | <b>9</b>   |
| <b>3.1. Pojedinačne cijevi .....</b>   | <b>11</b>  |
| <b>3.2. Pomoćni vodovi.....</b>  | <b>13</b>  |
| <b>3.2.1. Vodovi za gušenje i prigušivanje .....</b>                             | <b>14</b>  |
| <b>3.2.2. Vod za intenziviranje povrata isplake i hidraulički vodovi .....</b>   | <b>15</b>  |
| <b>3.3. Uzgonski moduli .....</b>  | <b>16</b>  |
| <b>3.3.1. Moduli od sintetičke pjene .....</b>                                   | <b>17</b>  |
| <b>3.3.2. Zračne komore s otvorenim dnom .....</b>                               | <b>20</b>  |
| <b>4. ANALIZA POSTUPKA OTPAJANJA NIZA USPONSKIH CIJEVI U SLUČAJU NUŽDE .....</b> | <b>21</b>  |
| <b>4.1. Trzaj niza usponskih cijevi nakon EDS-a .....</b>                        | <b>23</b>  |
| <b>4.2. Dopuštena ograničenja.....</b>   | <b>24</b>  |
| <b>5. TELESKOPSKA SPOJNICA .....</b>   | <b>25</b>  |
| <b>6. NATEZNI SUSTAV NIZA USPONSKIH CIJEVI .....</b>                             | <b>34</b>  |
| <b>6.1. Način rada .....</b>   | <b>36</b>  |
| <b>6.2. Sigurnosni sustavi.....</b>  | <b>39</b>  |
| <b>6.2.1. Riser anti-recoil system valve .....</b>                               | <b>39</b>  |

|  |           |
|--|-----------|
| 6.2.2. Zaobilazni ventil .....   | 40        |
| 6.2.3. Odzračni i sigurnosni ventil .....  | 40        |
| 6.2.4. Zračni izolacijski ventil .....   | 41        |
| <b>6.3. API preporuke za minimalni i maksimalni nateg .....</b>                                  | <b>41</b> |
| <b>7. DIVERTERSKI SKLOP.....</b>   | <b>43</b> |
| 7.1. Hydrill MSP 29 ½“ – 500 psi .....   | 46        |
| 7.1.1. Princip rada.....   | 49        |
| <b>8. STOL S ČELJUSTIMA ZA UGRADNJU USPONSKIH CIJEVI I POTPORNO<br/>KARDANSKO POSTOLJE .....</b> | <b>51</b> |
| 8.1. Ugradnja/vađenje niza usponskih cijevi.....   | 53        |
| 8.2. Kriterij naprezanja za vrijeme oluje .....  | 57        |
| <b>9. ZAKLJUČAK.....</b>   | <b>58</b> |
| <b>10. LITERATURA .....</b>  | <b>59</b> |

## I POPIS SLIKA

|   |    |
|---|----|
| <b>Slika 1-1.</b> Shematski prikaz sustava niza usponskih cijeva.....   | 2  |
| <b>Slika 2-1.</b> Donja kuglasta spojnica.....  | 4  |
| <b>Slika 2-2.</b> Prikaz unutarnjih dijelova podvodne kuglaste spojnice.....                                      | 5  |
| <b>Slika 2-3.</b> Gornja kuglasta spojnica (engl. <i>diverter flexible joint</i> ) na bušaćem brodu.....          | 7  |
| <b>Slika 2-4.</b> Srednja fleksibilna spojnica.....   | 8  |
| <b>Slika 3-1.</b> Prikaz usponskih cijevi i pridruženih vodova.....   | 9  |
| <b>Slika 3-2.</b> Hodogram za odabir sustava usponskih cijevi.....  | 10 |
| <b>Slika 3-3.</b> Prikaz spojnice s čeljustima za spajanje pojedinačnih cijevi.....                               | 13 |
| <b>Slika 3-4.</b> Prikaz međusobnog spoja dviju usponskih cijevi i pomoćnih vodova.....                           | 14 |
| <b>Slika 3-5.</b> Prikaz usponske cijevi obložene uzgonskim modulom.....  | 17 |
| <b>Slika 3-6.</b> Uzgonski moduli s helikoidalnim rebrima.....  | 19 |
| <b>Slika 4-1.</b> Shematski prikaz graničnih područja u kojima se obavljaju unaprijed određene radnje.....        | 22 |
| <b>Slika 5-1.</b> Shematski prikaz teleskopske spojnice.....  | 26 |
| <b>Slika 5-2.</b> Prikaz teleskopske spojnice u radnom okruženju.....   | 28 |
| <b>Slika 5-3.</b> Prikaz sheme cjelokupnog sustava teleskopska spojnica – tlačni sustav.....                      | 30 |
| <b>Slika 5-4.</b> Nejednoliko potrošen brtveni element teleskopske spojnice.....                                  | 31 |
| <b>Slika 5-5.</b> Uklanjanje korozije s unutarnje cijevi i tretiranje zaštitnim premazom.....                     | 32 |
| <b>Slika 6-1.</b> Prikaz komponenata nateznog sustava usponskih cijevi.....                                       | 35 |
| <b>Slika 6-2.</b> Usporedba veličine natezača i čovjeka.....  | 35 |
| <b>Slika 6-3.</b> Prikaz nateznog sustava spojenog na niz usponskih cijevi i podstrukturu.....                    | 37 |
| <b>Slika 6-4.</b> Prikaz igličastog ventila.....  | 40 |
| <b>Slika 7-1.</b> Prikaz diverterskog sklopa.....   | 44 |
| <b>Slika 7-2.</b> Prikaz položaja divertera kod sustava s nizom usponskih cijevi.....                             | 45 |
| <b>Slika 7-3.</b> Prikaz osnovnih dijelova divertera.....   | 47 |
| <b>Slika 7-4.</b> Shema uzročno – posljedičnog djelovanja klipa na elastomerni element.....                       | 49 |
| <b>Slika 7-5.</b> Prikaz potrebnog tlaka zatvaranja divertera u ovisnosti o bušaćem alatu i tlaku u bušotini..... | 50 |
| <b>Slika 8-1.</b> Stol s čeljustima za ugradnju niza usponskih cijevi.....  | 52 |
| <b>Slika 8-2.</b> Potporno kardansko postolje sa sustavom ležajeva.....   | 53 |
| <b>Slika 8-3.</b> Prikaz hidraulične alatke za rukovanje usponskim cijevima na podištu tornja.....                | 54 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Slika 8-4.</b> Smještaj hidraulične alatke za rukovanje iznad uspravljeno postavljenih usponskih cijevi..... | 54 |
| <b>Slika 8-5.</b> Shematski prikaz izvlačenja pojedinačnih elemenata niza usponskih cijevi po koracima.....     | 56 |



## II POPIS TABLICA

|  |    |
|--|----|
| <b>Tablica 3-1.</b> Prikaz dubinskih razreda i pripadajućih boja.....                | 19 |
| <b>Tablica 6-1.</b> Prikaz karakteristika nateznog sustava kompanije Cameron.....    | 38 |
| <b>Tablica 7-1.</b> Osnovne karakteristike divertera Hydril MSP 29 ½“ – 500 psi..... | 47 |

### III POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I PRIPADAJUĆIH SI JEDINICA

APV – automatski zračni ventil

BOP – protuerupcijski uređaj

DRBM – uzgonski moduli niza usponskih cijevi

EDS – sustav za automatsko otpajanje niza usponskih cijevi

LMRP – donji sklop usponskih cijevi

POD – točka otpajanja niza

$T_{\text{eff}}(z)$  – efektivni nateg na određenoj dubini, N

$T_{\text{min}}$  – minimalni nateg natezača, N

$T_{\text{max}}$  – maksimalni nateg natezača, N

$T_{\text{top}}$  – vrijednost natega na vrhu niza usponskih cijevi, N

$W_{\text{riser}}$  – težina niza usponskih cijevi iznad promatrane točke, N

$W_{\text{mud}}$  – težina isplake u nizu usponskih cijevi iznad promatrane točke, N

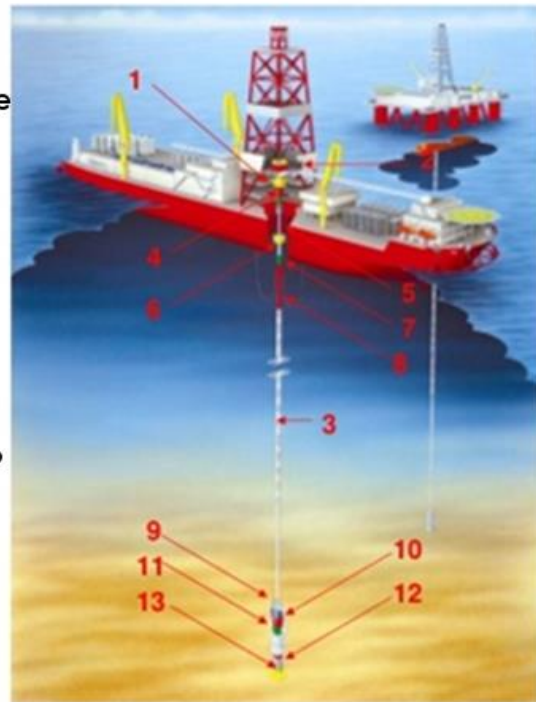
## 1. UVOD

Povijest odobalnih aktivnosti seže u kraj 19. stoljeća, točnije 1896. godine u Santa Barbari u američkoj saveznoj državi Kaliforniji. Što se tiče Republike Hrvatske, na području Jadranskog mora povijest istraživanja i eksploatacije ugljikovodika traje preko 40 godina te se od 1999. godine na hrvatskom dijelu Jadranskog mora proizvodi plin. Od samih početaka uvidjelo se da su aktivnosti u akvatoriju zahtjevnije od operacija koje se izvode na kopnu. S godinama, kako je rasla dubina mora u kojem su se izvodile operacije te duljina bušotina, povećavali su se i zahtjevi za projektiranjem samih radnji kao što su bušenje, zacjevljivanje kanala i sl. Također su se povećali zahtjevi za sigurnošću, kako ljudi tako i okoliša, jer su se operacije obavljale u sve gorim vremenskim uvjetima te nepogodnijim uvjetima tlaka i temperature. S pojavom dinamički pozicioniranih postrojenja, kao što su poluuronjive platforme ili brodovi za bušenje, javila se potreba za osiguranje sigurne veze postrojenja s dnom mora.

Za svaku odobalnu aktivnost, projektiranje sastava i izgleda niza usponskih cijevi predstavlja jednu od fundamentalnih i tehnički najzahtjevnijih dijelova projekta. Postoji nekoliko uzroka tome. Činjenica je da niz usponskih cijevi predstavlja vezu između plovnog objekta koji se nalazi na površini mora te ušća bušotine koje se nalazi na morskom dnu. Ako dođe do pucanja veze, dolazi do velike mogućnosti za havariju čime se ugrožava sigurnost ponajprije ljudi, zatim okoliša, oštećenje opreme te velike troškove za kompaniju. Zbog toga, niz usponskih cijevi, treba biti dizajniran tako da cijeli životni vijek naftnog i/ili plinskog polja, mora udovoljiti raznim dinamičkim maritimnim uvjetima i napreznjima uslijed izvođenja raznih operacija te osigurati integritet i hermetičnost bušotine (Lima i Simpson, 2019).

U radu su navedene i opisane glavne komponente niza usponskih cijevi kojima se posebno posvećuje pažnja tijekom projektiranja. Među glavne komponente ubrajaju se kuglaste spojnice, usponske cijevi, teleskopska spojnica, diverterski sklop, natezni sustav niza, stol za ugradnju usponskih cijevi i druge koje se mogu dodati u sustav ovisno o zahtjevima na terenu. Shema cjelokupnog sustava s njegovim komponentama prikazana je na slici 1-1. Svakim danom komponente se unaprjeđuju uvođenjem novih materijala koji su otporniji na vremenske uvjete i mogu izdržati veća napreznja, a sve s ciljem povećanja sigurnosti i efikasnosti odobalnih operacija.

1. Diverter
2. Stol s čeljustima/  
potporno kardansko postolje
3. Usponska cijev
4. Gornja kuglasta spojnica
5. teleskopska spojnica
6. Natezni prsten
7. Srednja kuglasta spojnica
8. Završna cijev niza
9. Adapter za spajanje
10. Donja kuglasta spojnica
11. Spojnica za spajanje na BOP
12. Spojnica za spajanje na  
bušotinsku glavu
13. Bušotinska glava



**Slika 1-1.** Shematski prikaz sustava niza usponskih cijevi (Krištafor, 2021)

## 2. KUGLASTA SPOJNICA

Kuglasta spojnica (engl. *flex joint*), kao nova, inovativna komponenta niza usponskih cijevi, u naftnoj industriji pojavila se 80-ih godina prošlog stoljeća. Od tada, postala je uobičajena komponenta u raznovrsnim odobalnim operacijama kao dio robusne, „mobilne“ i izdržljive veze između dinamički pozicioniranog objekta koji se nalazi na površini mora kao što je poluuronjiva platforma ili bušaći brod te ušće bušotine koje se nalazi na morskom dnu. Zadaća kuglaste spojnice je da dopušta kutno odstupanje niza usponskih cijevi u odnosu na vertikalnu ravninu te se u sustavu usponskih cijevi uobičajeno nalaze dvije kuglaste spojnice, ali također, postoje sustavi s tri kuglaste spojnice. Kao uobičajeni dijelovi niza javljaju se donja kuglasta spojnica ili fleksibilna spojnica (engl. *subsea flexible joint; ball joint; flex joint*), zatim gornja kuglasta spojnica (engl. *diverter flexible joint*), a prije spomenuta treća kuglasta spojnica koja se koristi u nekim sustavima naziva se srednja fleksibilna spojnica (engl. *intermediate flexible joint*) (Oil States Industries, 2019).

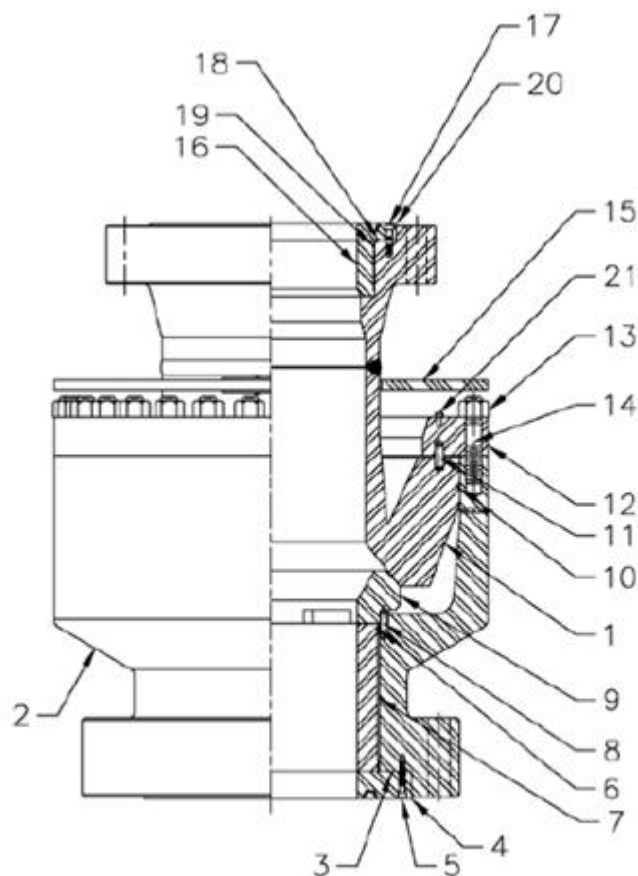
### 2.1 Donja kuglasta spojnica

Donja kuglasta spojnica ili fleksibilna spojnica nalazi se između preventerskog sklopa, odnosno donjeg sklopa marine riser sustava (engl. *Lower Marine Riser Package - LMRP*) i prijelazne spojnice za usponske cijevi. Njezina zadaća je da osigura čvrstu i nepropusnu vezu usponskih cijevi i preventera (engl. *BlowOut Preventer - BOP*) koji se nalazi na morskom dnu uz osiguranje hermetičnosti i dopuštanja kutnog odstupanja niza usponskih cijevi od vertikalne osi od maksimalno 10°. Danas su kuglaste spojnice dizajnirane tako da se mogu koristiti na dubinama mora od gotovo 4000 metara, podnijeti maksimalna aksijalna opterećenja veća od 15 MN te mogu obavljati svoje zadaće u širokom rasponu tlakova od 40 bar pa do nešto više od 400 bar (Oil States Industries, 2019). Također, mogu podnijeti i rotaciju samog usponskog niza cijevi ako zbog loših vremenskih uvjeta plovni objekt nije u mogućnosti zadržati svoj smjer ili ako do rotacije dođe zbog nekog drugog uzroka. Na slici 2-1. prikazan je vanjski izgled donje kuglaste spojnice koja se nalazi iznad preventera, dok će njezina unutarnja građa biti prikazana u nastavku.



**Slika 2-1.** Donja kuglasta spojnica (Oil States Industries, 2010)

Postoje različite izvedbe donjih kuglastih spojnica. Svim izvedbama je zajedničko da imaju kućišta izrađena od čelike velike čvrstoće te su kućišta velikih promjera, od 1,2 do 1,6 metara, ovisno o dubini mora i o radnim tlakovima koje će kuglasta spojnica morati izdržati. Unutar kućišta, smjestili su se elementi savitljivog sklopa, odnosno ležaj. Ležaj se sastoji od naizmjeničnih jastučića od nitrilnog elastomera i sferno oblikovanih metalnih pojačanja koji su ukomponirani u debeli sloj elastomernog premaza (Musthaus, 2018). Takav dizajn ležaja omogućuje trajnost, odnosno dugi životni vijek kuglaste spojnice koja je podvrgnuta raznim uvjetima tijekom operacija bušenja i/ili proizvodnje. Praznina između samog kućišta kuglaste spojnice i fleksibilnih elemenata ispunjena je inhibirajućim fluidom na bazi vode, odnosno propilen glikola (Bai i Bai, 2018). Sljedeća slika, slika 2-2., prikazuje unutarnje dijelove donje kuglaste spojnice te su prije spomenuti elementi koji omogućavaju kutni otklon niza usponskih cijevi od vertikalne ravnine, označeni pod brojem 1.



**Slika 2-2.** Prikaz unutarnjih dijelova podvodne kuglaste spojnice (Oil States Industries, 2015a)

Dijelovi označeni brojevima na slici su:

1. sklop fleksibilnog elementa (engl. *flex element assembly*),
2. kućište (engl. *body*),
3. O-prsten donjeg prirubničkog spoja (brtva) (engl. *O-ring, lower ring groove insert*),
4. donji prirubnički prsten (engl. *lower ring groove insert*),
5. vijci (engl. *bolts*),
6. prsten na donjem zaštitnom rukavcu (engl. *O-ring, lower wear sleeve*),
7. donji zaštitni rukavac (engl. *lower wear sleeve*),
8. zatic središnjeg prstena za habanje (engl. *center wear ring pin*),
9. središnji prsten za habanje (engl. *center wear ring*),
10. O-prsten fleksibilnog elementa (engl. *O-ring, flex element*),
11. anti rotacijski zatic (engl. *anti-rotation pin*),
12. prirubnica (engl. *retainer flange*),

13. matica držača (engl. *retainer nut*),
14. klin držača (engl. *retainer stud*) ,
15. ploča koja štiti od oštećenja (engl. *debris shield*),
16. gornji zaštitni rukavac (engl. *upper wear sleeve*),
17. vijci (engl. *bolts*),
18. O-prsten gornjeg prirubničkog spoja (brtva) (engl. *O-ring, upper ring groove insert*),
19. O-prsten na gornjem zaštitnom rukavcu (engl. *O-ring, upper wear sleeve*),
20. gornji prirubnički spoj (engl. *upper ring groove insert*),
21. identifikacijska pločica (engl. *identification tag*).

## **2.2. Gornja kuglasta spojnica**

Gornja kuglasta spojnica (engl. *diverter flexible joint*), prikazana na slici 2-3 je sljedeća spojnica koju se može vidjeti u nizu usponskih cijevi. Njezina uloga je da osigura čvrstu vezu između usponskih cijevi, o kojima će biti kasnije riječ, i divertera te da dozvoli otklon usponskih cijevi od vertikalne osi od maksimalno 15° bez opasnosti od oštećenja opreme i nastanka nekontroliranog stanja.





**Slika 2-3.** Gornja kuglasta spojnice (engl. *diverter flexible joint*) na bušaćem brodu (<https://www.youtube.com>, 2009)

Gornja kuglasta spojnice sastoji se od kućišta koje se kroz unapređenja i nova tehnološka rješenja sve više smanjuje, a sposobno je podnositi sve veće radne tlakove, koji mogu iznositi i do 35 bar te aksijalna opterećenja. Nova tehnološka rješenja omogućuju da kućište gornje kuglaste spojnice izdrži gotovo 18 MN sile u aksijalnom smjeru (Oil States Industries, 2019). Unutar kućišta nalazi se srž gornje kuglaste spojnice, četiri savitljiva elementa koji čine dva para. Svaki element je izveden na način da se sastoji od naizmjeničnih elastomernih slojeva i sferno oblikovanih metalnih pojačanja. Ta četiri glavna savitljiva elementa zapravo funkcioniraju kao dva para gdje se u svakom paru nalazi primarni, odnosno vanjski element i sekundarni element, ali je potrebno napomenuti da su njihove funkcije identične (Oil States Industries, 2015b).

### 2.3. Srednja fleksibilna spojnica

Srednja fleksibilna spojnica (engl. *intermediate flexible joint*), prikazana na slici 2-4, je kuglasta spojnica koja na oba svoja kraja ima prirubničke spojeve. Uz gornju i donju kuglastu spojnicu, može se, ali ne mora nalaziti u nizu usponskih cijevi. Ako su pak zahtjevi projekta takvi da je potrebno koristiti srednju fleksibilnu spojnicu, ona se smješta ispod površine mora, ispod teleskopske spojnice, o kojoj će detaljnije biti riječ kasnije.



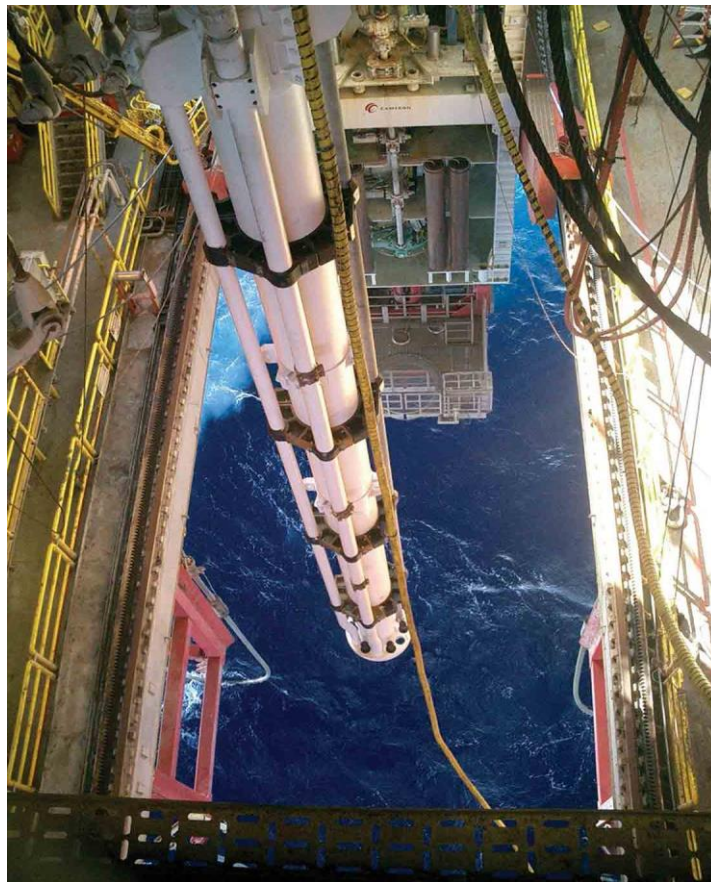
**Slika 2-4.** Srednja fleksibilna spojnica (Oil States Industries, 2019)

U današnje vrijeme izrađuju se srednje fleksibilne spojnice koje mogu podnijeti radne tlakove do maksimalno 210 bar, kut otklona do maksimalno 20° te aksijalna naprezanja u iznosu od gotovo 18 MN, bez opasnosti da će doći do raskida veze i gubljenja hermetičnosti.

### 3. USPONSKE CIJEVI

Usponske cijevi (engl. *riser string*), kao komponenta cjelokupnog sustava kojim se platforma na morskoj površini povezuje s ušćem bušotine na morskom dnu, također je sustav sam za sebe koji se sastoji od više komponenta koje mu omogućuju obavljanje pojedinih zadaća. Sustav usponskih cijevi, čiji se dio može vidjeti na slici 3-1., zapravo čine:

- pojedinačne cijevi (engl. *riser joint*), omogućuju fizičku vezu platforme i preventerskog sklopa na morskom dnu,
- vodovi za gušenje (engl. *kill line*),
- vodovi za prigušivanje (engl. *choke line*) koji se protežu uz cijev,
- uzgonski moduli, povećava se uzgon usponskim cijevima te smanjuje aksijalno opterećenje i povećava otpornost na gnječenje,
- ventil za nadopunjavanje (engl. *riser fill-up valve*), u slučaju ekspanzije plina koji je ušao u usponske cijevi može doći do izbacivanja isplake pa da se spriječi gnječenje usponskih cijevi, ventil se otvara i usponske cijevi se pune morskom vodom.



**Slika 3-1.** Prikaz usponskih cijevi i pridruženih vodova (Krištafor, 2021)

Glavna podjela usponskih cijevi ovisi u kojem stadiju se ležište ugljikovodika nalazi pa tako postoje usponske cijevi koje se koriste u procesu izrade bušotina (engl. *drilling riser*) i usponske cijevi koje se koriste u periodu eksploatacije iz ležišta (engl. *production riser*). Glavne zadaće usponskih cijevi su da omogućuju povratni tok isplake, odnosno ugljikovodika, ovisno u kojem stadiju se ležište nalazi, iz bušotine do platforme/broda koji se nalazi na morskoj površini te da vode i osiguraju nesmetan prolaz bušačem alatu i zaštitnim cijevima prilikom spuštanja do morskog dna. Usponske cijevi podnose razna opterećenja kao što su aksijalna opterećenja zbog same težine, bočna opterećenja nastala zbog tlaka morske vode (voda nastoji zgnječiti usponske cijevi) te sile koje se manifestiraju pomacima platforme/broda s obzirom na ušće bušotine. Stoga, kao dominantna komponenta cjelokupnog sustava i jedna od najkompleksnijih, mora biti pomno dizajnirana i odabrana. Na slici 3-2. prikazan je hodogram za odabir sustava usponskih cijevi što uvelike može pomoći u projektiranju samog sustava.



Slika 3-2. Hodogram za odabir sustava usponskih cijevi (ABS, 2017)

### 3.1. Pojedinačne cijevi

Niz usponskih cijevi, koji predstavlja vezu platforme/bušačkog broda s morskim dnom u dubokom ili ultra dubokom bušenju, sastoji se od niza pojedinačnih cijevi (engl. *riser joint*) koje se prilikom spuštanja do morskog dna spajaju na podištu tornja. S obzirom na to da niz usponskih cijevi podnosi velika opterećenja, potrebno je pomno odabrati dimenzije usponskih cijevi što se odnosi na njihov unutarnji i vanjski promjer te debljinu stijenke. Odabir određene konfiguracije niza usponskih cijevi temelji se zapravo na analizi rizika i cijene koštanja kojima se, na neki način, pokušava održavati u ravnoteži veličina rizika oštećenja niza usponskih cijevi i posljedično tome ispuštanje u more i cijena koštanja same konfiguracije niza usponskih cijevi. Promjer usponskih cijevi ovisi o informacijama prikupljenim o ležištu, odnosno predviđenim operacijama tijekom procesa bušenja ili pak procijenjenoj količini proizvodnje. Neki od faktora o kojima ovisi promjer usponskih cijevi su:

- vanjski promjeri krutog alata,
- vanjski promjer tubinga – ovisi o očekivanom utoku u bušotinu,
- gustoća isplake kod bušenja i opremanja.

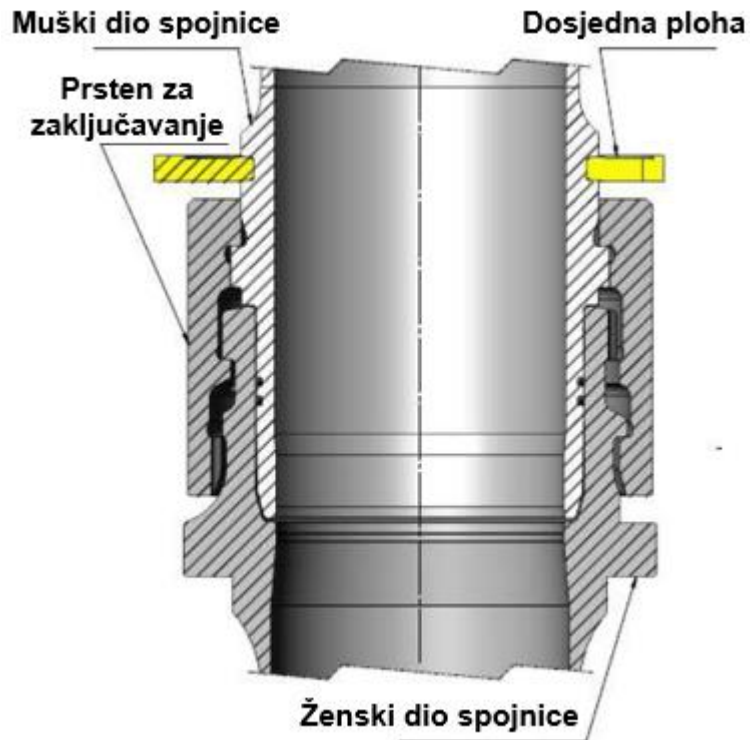
Kad se govori o promjerima niza usponskih cijevi, veliku pažnju potrebno je posvetiti i debljini stijenke. Naime, unutarnji promjer se odabire tako da se omogući nesmetan prolaz sve predviđene opreme koja će se spuštati u bušotinu, dok se preko vanjskog promjera, zapravo, određuje debljina stijenke. Debljina stijenke mora biti takva da u bilo kojem trenutku ne dođe do rasprskavanja (engl. *burst*) ili gnječenja (engl. *collapse*) cijevi jer bi to značilo direktno izlivanje povratnog fluida iz bušotine u more. Određuje se na temelju maksimalnih predviđenih napreznja s kojima se niz usponskih cijevi može suočiti. Parametri koji se uzimaju u obzir su tlakovi kod zatvaranja bušotine (engl. *shut-in pressure*), gustoća isplake kod bušenja i opremanja (engl. *mud density*), aksijalna napreznja te dubina mora, s kojom je tlak gnječenja sve veći (Aird, 2019). Odabir minimalne debljine stijenke najčešće se radi u skladu sa zahtjevima API Bulletin 5C3. Pojedinačne cijevi velikog su vanjskog promjera, najčešće 0,5334 m (21“), a unutrašnjeg promjera do maksimalno 0,4826 m (19“). To su bešavne (ili elektro varene) čelične cijevi koje se međusobno spajaju specijalno izrađenim spojnicama koje su zavarene na kraj cijevi. U starijim izvedbama spojnica za spajanje usponskih cijevi, njihovo se dotezanje obavljalo navrtanjem i naknadnim prirubničkim stezanjem. U modernim izvedbama, koriste se spojnice koje nije

potrebno navrtati, takozvane spojnice s čeljustima (engl. *clip connector*), prikazane na slici 3-3. Takva spojnica sastoji se od 3 kovana elementa, odnosno dvorednih kovanih čeljusti (engl. *dog type*) koje su raspoređene tako da pokrivaju 360°. Glavne prednosti ovakve vrste spojnice su da omogućuje brzo spajanje/otpajanje, robusne su te ih za punu funkciju nije potrebno predopteretiti (Aker Solutions, 2010). Inače, spojnice su zapravo najslabija karika te u većini slučajeva, ako dođe do pucanja niza, veza se prekida u području spojnice. Stoga je potrebno pripaziti kod njihovog odabira jer one istodobno moraju biti dovoljno čvrste, ali i fleksibilne.

Što se tiče duljine pojedinačnih cijevi, proizvode se u standardnim duljinama od 9,14 m do 15,24 m (30-50 ft) (Bai i Bai, 2018), a za potrebe podešavanja visine usponskih cijevi na njihovu vrhu, najčešće ispod teleskopske spojnice, proizvode se i pojedinačne kraće usponske cijevi (engl. *pup joint*) koje mogu biti duge 1,5 m, 3 m, 4,5 m ili 6 m (Krištafor, 2021).

Kad se karakterizira niz usponskih cijevi, potrebno je spomenuti njihovu jediničnu težinu u zraku kao i težinu u vodi. S povećanjem dubine povećava se i hidrostatički tlak vode koji nastoji zgnječiti cijev, posljedično tome, težina u vodi može varirati zbog kompresije uzgonskih modula koji oblažu glavnu cijev. Težina usponskih cijevi je bitna za određivanje opterećenja na cjelokupno postrojenje kod spuštanja niza na morsko dno kao i za odabir nateznog sustava. Neke druge karakteristike, koje su manje bitne s ovog aspekta, već se više vežu za proračune pada tlaka u cijevima su hidrodinamičke karakteristike kao što su koeficijent i radijus otpora te koeficijent i radijus inercije.

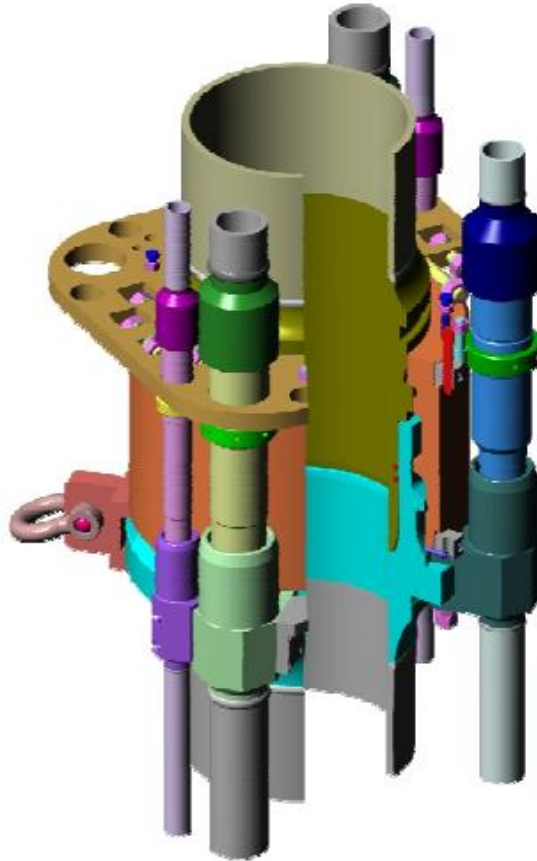




**Slika 3-3.** Prikaz spojnice s čeljustima za spajanje pojedinačnih cijevi (Aker Solutions, 2010)

### 3.2. Pomoćni vodovi

Na slikama 3-1. i 3-4. može se vidjeti da su za glavnu pojedinačnu cijev usponskog niza pričvršćeni pomoćni vodovi (engl. *auxiliary lines*) te se protežu paralelno s glavnom cijevi od podišta tornja do preventerskog sklopa na dnu mora. Njihova je uloga da omogućavaju put za različite vrste fluida koji mogu biti plinizirana isplaka iz bušotine, otežana isplaka ili hidraulički fluid, ovisno o njihovoj namjeni. Nakon katastrofe platforme Deepwater Horizon 2010. godine u Meksičkom zaljevu, propisano je da sva postrojenja za bušenje u dubokom moru obavezno moraju imati najmanje po dva voda za gušenje i prigušivanje. Stoga, uz glavnu cijev najčešće se protežu dva voda za gušenje (engl. *kill line*), dva voda za prigušivanje (engl. *choke line*), vod za intenziviranje povrata isplake (engl. *mud boost line*) te vodovi koji služe za komunikaciju s podvodnim kontrolnim razdjelnicima. Ti vodovi učvršćuju se pomoću zamjenjivih zaštitnih prijelaza bez potrebe za varenjem što je prikazano slici 3-4.



**Slika 3-4.** Prikaz međusobnog spoja dviju usponskih cijevi i pomoćnih vodova (Krištafor, 2021)

Pomoćni vodovi se također, kao i pojedinačne usponske cijevi, spajaju „stab-in“ spojnica, odnosno ubodnim/usadnim spojnica, koje omogućuju brzo spajanje. Ženski dio spojnice (engl. *the box*) sastoji se od elastomernog elementa u koji ulazi muški dio spojnice (engl. *the pin*) koji je glatke površine i sastoji se od materijala otpornog na abraziju. Nakon što se primijeni tlak, elastomerni element prianja uz muški dio spojnice i na taj način se ostvaruje hermetičan spoj.

### 3.2.1. Vodovi za gušenje i prigušivanje

Vodovi za gušenje i prigušivanje sastavne su komponente usponskog niza kod izrade bušotina te se protežu od podesive sapnice na podištu tornja pa do BOP-a koji se nalazi na morskom dnu. Njihova uloga je da osiguraju kontrolirani protok fluida u bušotinu te plina ili isplake iz bušotine do površine za vrijeme kad je BOP zatvoren (API, 1993). Vod



za prigušivanje omogućuje kontrolirano ispuštanje dotoka iz bušotine, dok vod za gušenje omogućuje protok otežane isplake od platforme do bušotine. Prisustvom vodova, omogućuje se gušenje bušotine na dva načina:

- cirkulacija otežanog fluida kroz vod za gušenje te ispuhivanje bušotine kroz vod za prigušivanje,
- cirkulacija otežanog fluida kroz bušaću šipku te ispuhivanje bušotine kroz vod za prigušivanje.

Vodovi za gušenje i prigušivanje u dubokom bušenju obično su većeg promjera od 0,0762 m (3") te su ispitani na tlak od preko 1000 bar (15 000 psi). Obično se označuju zelenom bojom. Kod dimenzioniranja voda za prigušivanje potrebno je voditi računa o padu tlaka (engl. *choke line friction loss*) koji se događa kao posljedica trenja fluida o stijenu voda. Taj pad tlaka ovisi o:

- duljini voda za prigušivanje, odnosno dubini vode,
- promjeru voda za prigušivanje,
- svojstvima fluida kao što su gustoća i viskoznost,
- protoku fluida.

Vektorski, pad tlaka djeluje suprotno od smjera protjecanja, što znači da djeluje na sloj. Ako je on prevelik, u zbroju s hidrostatičkim tlakom u prstenastom prostoru, premašuje tlak frakturiranja stijene što može imati katastrofalne posljedice.

Što se tiče materijala od kojeg se izrađuju vodovi, izvođenjem operacija na sve većim dubinama mora i sve nepogodnijim ležišnim uvjetima, razvile su se nove tehnologije izrade, ne samo vodova koji se protežu uz same cijevi niza već i svih ostalih komponenata niza. Cilj je smanjiti težinu sve dužeg niza usponskih cijevi te posljedično tome smanjiti opterećenja na natezni sustav te poboljšati ponašanje u dinamičkim uvjetima. Novim tehnologijama omogućuje se izrada takozvanih hibridnih vodova. Hibridni vodovi sastoje se od čelične jezgre na koju se „lijepu“ slojevi od karbona i termoplastičnog poliamida (Guesnon, 2002).

### *3.2.2. Vod za intenziviranje povrata isplake i hidraulički vodovi*

Druge dvije, ne manje bitne, vrste vodova koje se protežu uz niz usponskih cijevi su vod za intenziviranje povrata isplake i hidraulički vodovi.

Vod za intenziviranje povrata isplake proteže se od podišta tornja pa do iznad preventerskog sklopa na dnu mora te omogućuje utiskivanje isplake u prstenasti prostor bušaćih šipki i usponskih cijevi kako bi se povećala brzina povratnog toka isplake iz bušotine te samim time pospješilo iznošenje krhotina i izbjegli mogući problemi vezani uz premale brzine povratnog toka isplake kao što su taloženje krhotina, smanjena brzina bušenja, začepjenja i sl. Vod za intenziviranje povrata isplake obično je promjera 0,1143 m (4 ½“) te se ispituje na tlak od nešto veći od 340 bar (5000 psi). Zbog raspoznavanja, označava se plavom bojom.

Hidraulički vodovi su vodovi malog promjera, obično 0,0048 m (1 7/8“), koji služe za prenošenje hidrauličkog fluida do preventerskog sklopa, točnije do razdjelnika, nakon kojeg se fluid preusmjerava na kontrolne ventile te se aktiviraju pojedine radnje preventerskog sklopa. Na preventerskom sklopu postoje glavni i pričuvni podvodni kontrolni razdjelnik pa se tako i uz usponske cijevi obično protežu dva hidraulička voda. Ispitani su, kao i vod za intenziviranje povrata isplake, na nešto više od 340 bar (5000 psi). Njih je najlakše prepoznati jer su znatno manjeg promjera od drugih vrsta vodova, ali kao što su i drugi vodovi označeni određenim bojama, i oni se označuju ružičastom bojom (Krištafor, 2021)

### 3.3. Uzgonski moduli

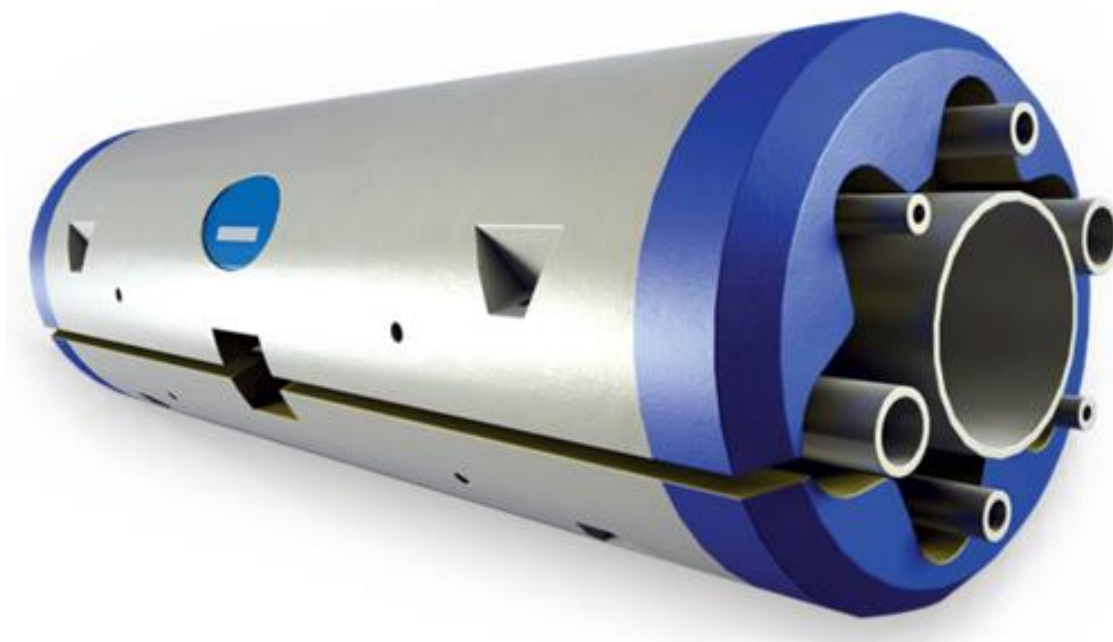
Kako se bušotine izrađuju u sve izazovnijim uvjetima, odnosno sve većim dubinama mora, povećava se i duljina niza usponskih cijevi, a samim time i opterećenje na plovni objekt i cijevi. U svrhu olakšavanja niza usponskih cijevi u vodi razvijeni su uzgonski moduli (engl. *Drilling Riser Buoyancy Module – DRBM*) kojima se cijevi oblažu.

Uzgonski moduli povećanjem volumena niza usponskih cijevi omogućuju povećanje djelovanja uzgona i samim time smanjenje efektivne težine cijevi u vodi što za posljedicu ima manja aksijalna opterećenja na plovni objekt, opremu i cijevi. Također, uzgonski moduli povećavaju i otpornost cijevi na gnječenje jer povećavaju površinu na koju hidrostatički tlak vode djeluje. Uzgonski moduli izrađuju se na dva načina (API, 1993):

- moduli od sintetičke pjene (engl. *foam modules*) te
- zračne komore s otvorenim dnom (engl. *open bottom air chambers*).

### 3.3.1. Moduli od sintetičke pjene

Uzgonski moduli od sintetičke pjene počeli su se pojavljivati u ranim 1970.-im godinama (Laik, 2018). Sintetička pjena, od koje se izrađuje ova vrsta uzgonskih modula, je kompozitni materijal male gustoće kojeg čine šuplje kuglice i matriks, odnosno vezivo. Uloga mikrokuglica i makrokuglica je da dodatno smanje gustoću čiste sintetičke pjene. Najčešća varijanta materijala koja se koristi sastoji se od staklenih mikrokuglica, plastičnih makrokuglica ojačanih staklo plastikom te matriksa. Kolika će biti čvrstoća kuglica i cjelokupna gustoća uzgonskog modula ovisi o dubini na koju se planira postaviti. Uzgonski moduli se obično izrađuju u dva dijela koji se postavljaju nasuprotno te u obliku čahure oblažu usponske cijevi. Zajedno se pričvršćuju trakama od kevlara u udubljenja na vanjskom dijelom modula ili, kao što je prikazano na slici 3-5., postoje udubljenja za dotezače. S vanjske strane, na uzgonske module se postavlja obloga ojačana vlaknima. Njezina uloga je da zaštiti sintetičku pjenu od oštećivanja tijekom rukovanja i spajanja modula, a i ukrućuje cijeli element što ga čini otpornijim na savijanje. Na slici 3-5. prikazan je primjer takvog uzgonskog modula.



**Slika 3-5.** Prikaz usponske cijevi obložene uzgonskim modulom (www.crpsubsea.com, 2022)

Kod projektiranja uzgonskih modula potrebno je uzeti u obzir nekoliko parametara. Duljina uzgonskih modula i njihov vanjski promjer određeni su prema duljini pojedinačne cijevi niza te maksimalnim promjerima bušaće opreme kroz koju je niz usponskih cijevi potrebno spustiti (kućište divertera, vrtaći stol). Također, kao što je prije spomenuto, uz niz usponskih cijevi protežu se pomoćni vodovi te je potrebno voditi računa o tome da se cijelom duljinom naprave utori u koje će oni pristajati. Nakon što se sve to uzme u obzir, određuje se kombinacija materijala koja će osigurati traženi uzgon. Obično se traži da je efektivnost uzgonskih modula između 96% i 98%, a ona se iskazuje kao odnos težine usponskih cijevi koju je potrebno podržati i uzgona.

Kao što je ranije spomenuto, povećanjem dubine na koju se ugrađuju uzgonski moduli raste i njihova gustoća jer se javlja potreba za sve većom otpornošću na gnječenje. Uzgonski moduli se prema dubini ugradnje na svojim krajevima označavaju različitim bojama, kao što je prikazano na prethodnoj slici 3-5. U nastavku slijedi tablica 3-1. s dubinskim razredima i bojama označavanja uzgonskih modula, a sve s ciljem kako bi se omogućilo njihovo instaliranje na idealnu dubinu mora.

U novije vrijeme, uzgonski moduli na bazi sintetičke pjene izrađuju se s poprečnim ili helikoidalnim rebrima kao što je prikazano na slici 3-6. Time se postiže veća stabilnost niza usponskih cijevi u vodi, odnosno morske struje i valovi manje opterećuju niz te se time smanjuje mogućnost oštećenja niza, nastanak havarije i povećava trajnost. Nadalje, smanjuje se potreba za izvlačenjem niza usponskih cijevi za vrijeme loših vremenskih prilika na moru što smanjuje troškove i povećava efikasnost i sigurnost same platforme. Urezivanjem rebara u uzgonske module njihova efikasnost se smanjuje za 2-3% što se lako može nadomjestiti. (<https://www.crpsubsea.com>, 2022)

**Tablica 3-1.** Prikaz dubinskih razreda i pripadajućih boja (<https://www.komachine.com>, 2021)

| Dubinski razred [m] | Dubinski razred [ft] | Boja          |
|---------------------|----------------------|---------------|
| 0 – 303             | 0 – 1000             | Siva          |
| 304 – 607           | 1001 – 2000          | Zelena        |
| 608 – 914           | 2001 – 3000          | Tamno plava   |
| 915 – 1219          | 3001 – 4000          | Žuta          |
| 1220 – 1524         | 4001 – 5000          | Narančasta    |
| 1525 – 1829         | 5001 – 6000          | Crna          |
| 1830 – 2134         | 6001 – 7000          | Crvena        |
| 2135 – 2438         | 7001 – 8000          | Ljubičasta    |
| 2439 – 2743         | 8001 – 9000          | Smeđa         |
| 2744 - 3048         | 9001 - 10000         | Svjetlo plava |



**Slika 3-6.** Uzgonski moduli s helikoidalnim rebrima ([www.crpsubsea.com](http://www.crpsubsea.com), 2022)

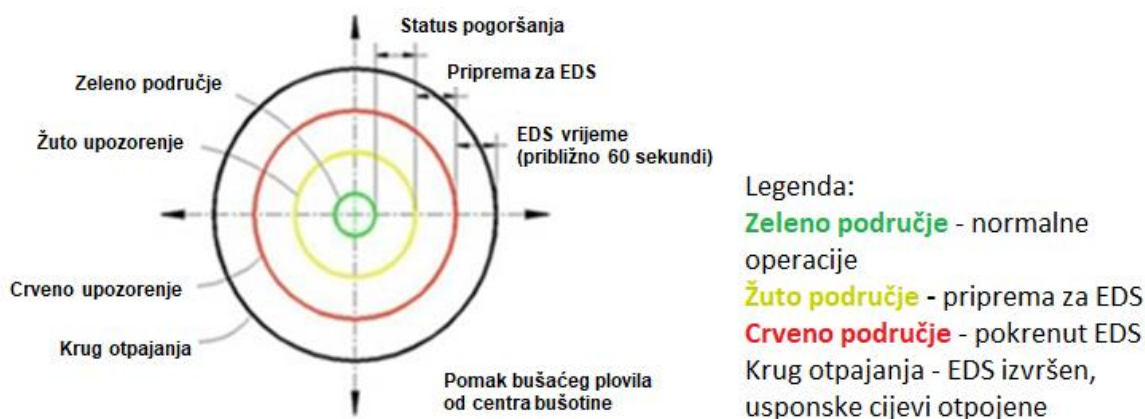
### *3.3.2. Zračne komore s otvorenim dnom*

Zračne komore predstavljaju drugi način olakšavanja niza usponskih cijevi u vodi. Obično se postavljaju na spojeve pojedinačnih cijevi te osiguravaju prazan prstenasti prostor oko cijevi. Spuštanjem usponskih cijevi, u prstenasti prostor ulazi morska voda koja se kasnije istiskuje utiskivanjem zraka pri dnu samog uzgorskog modula, tlakom jednakim hidrostatičkom tlaku na određenoj dubini. Za razliku od uzgorskih modula na bazi sintetičke pjene, zračne komore zahtijevaju njihovo povezivanje vodovima s platformom, posljedično tome, potrebno je više vremena za spuštanje niza usponskih cijevi. Komprimirani zrak se pilot vodovima dovodi do ventila, a za komprimiranje zraka zaslužni su kompresori prisutni na plovnom objektu (API, 1993).

#### 4. ANALIZA POSTUPKA OTPAJANJA NIZA USPONSKIH CIJEVI U SLUČAJU NUŽDE

Vremenske prilike na pučini vrlo su promjenjive te se mogu pogoršati u vrlo kratkom vremenskom periodu što može dovesti do potrebe da se poluuronjiva platforma, zajedno sa nizom usponskih cijevi i donjim sklopom usponskih cijevi (engl. *Lower Marine Riser Package – LMRP*) otpoји od donjeg sklopa čeljusnih preventera kako bi se održao njihov integritet te izbjegla nepotrebna oštećenja pripadajuće opreme. Taj postupak, odnosno sklop opreme koji to omogućuje naziva se sustav za automatsko otpajanje (engl. *Emergency Disconnect System - EDS*), a cijela analiza, koja se zajedno u kombinaciji s podacima i očitanjima iz prošlosti koristi kako bi se pretpostavili približni uvjeti pri kojima će biti nužno provesti proces otpajanja, naziva se *Drift off* analiza. Nadalje, potrebno je pripaziti da se kut otklona ne premaši jer se operacija otpajanja može izvesti do nekog graničnog kuta. Do potrebe za otpajanjem niza usponskih cijevi može doći i u slučaju ako poluuronjiva platforma ostane bez energije te se pod utjecajem valova i vjetrova počinje udaljavati od početne pozicije koja se nalazi vertikalno iznad ušća bušotine. U trenutku kad se platforma počinje udaljavati od svoje početne pozicije uslijed vremenskih prilika, platforma pretendira zarotirati se u položaj tako da pramcem nije okrenuta u smjeru vjetra, nego da vjetar puše s bočne strane. Time se povećava i sama brzina udaljavanja od početne lokacije što ima veliki utjecaj na mijenjanje trajektorije samog niza usponskih cijevi. Kad se promatra vrijeme potrebno za izvođenje EDS operacije, postrojenje se može promatrati s dva stajališta. Prvo stajalište je da se ono nalazi u procesu bušenja, a drugo stajalište je da je bušenje prekinuto te se već nalazi u stanju pripravnosti ili je prekinuto zbog nekog drugog razloga. Kad je postrojenje u procesu bušenja, potrebno je ukupno otprilike 150 sekundi za otpajanje, a kad se nalazi u stanju pripravnosti, 60 sekundi (Chakrabarti, 2005). Znajući koliko je otprilike vremena potrebno za provođenje EDS postupka, prema mogućnostima ugrađene opreme i dubini mora, određuju se takozvana žuta i crvena granična područja, odnosno upozorenja (engl. *alerts*) u kojima se obavljaju unaprijed određene radnje te se članovi posade pripremaju za otpajanje niza usponskih cijevi. Shema spomenutih graničnih upozorenja može se vidjeti na slici 4-1. Na primjer, kad platforma dosegne žuto područje, bušenje se prekida i pristupa se postupku odsjedanja bušaćih šipki na čeljusti podvodnog preventerskog sklopa (engl. *hang-off*). Kod dosezanja granice crvenog područja, signalizira se znak kapetanu ili šefu postrojenja da aktivira „crveno dugme“ za početak postupka automatskih operacija koje će aktivirati čeljusti za odrez i odrezati bušaće šipke unutar podvodnog

preventerskog sklopa, nakon čega slijedi otpajanje niza usponskih cijevi zajedno s LMRP-om od donjeg sklopa čeljusnih preventera (Chakrabarti, 2005). EDS sustav osigurava integritet niza usponskih cijevi i pripadajuće opreme, hidrauličkih spojnica i konduktor cijevi osiguravajući zadržavanje tlaka u bušotini pod kontrolom.



**Slika 4-1.** Shematski prikaz grančnih područja u kojima se obavljaju unaprijed određene radnje (Krištafor, 2021)

Vrijeme otpajanja ovisi o prekoračenju grančnih vrijednosti kao što su:

- grančna vrijednost kuta na vrhu usponskih cijevi (gornja kuglasta spojnica),
- grančna vrijednost kuta na dnu usponskih cijevi (donja kuglasta spojnica),
- maksimalna duljina hoda teleskopske spojnice,
- momenti/naprezanja na ušću bušotine i konduktorskim cijevima.

Trenutak u kojem se premaši neka od grančnih vrijednosti prethodno spomenutih naziva se točka otpajanja (engl. *Point of Disconnect* – POD). Na primjer, prema API RP 16Q standardu, za kuglaste spojnice maksimalni kut otklona iznosi  $9^\circ$ , a neke grančne vrijednosti za teleskopsku spojnicu koja ima maksimalnu duljinu hoda od 20 metara (65 ft) je 7,5 metara (25 ft). Osjetljivost pojedinih parametara također ovisi i o dubini mora. Primjerice za kuglaste spojnice, prije će doći do potrebe za otpajanjem u plićim morima nego u dubljim morima. Razlog tome je da kod veće dubine mora, platforma može postići veću zamišljenu bazu stošca na površini mora za  $9^\circ$  otklona kuglaste spojnice, odnosno udaljenost od bušotine koja se nalazi u središtu zamišljene baze, nego što to ima mogućnost postrojenje u plićim dijelovima mora. Zaključak je da kod plićih dijelova mora do izražaja dolaze



parametri koji se tiču otklona samog postrojenja, a u dubljim dijelovima mora parametri koji su limitirani naprezanjima i momentima.

#### 4.1. Trzaj niza usponskih cijevi nakon EDS-a

U ovom poglavlju govorit će se o reakciji, odnosno trzaju niza usponskih cijevi vertikalno prema gore nakon operacije otpajanja od BOP-a smještenog na dnu mora. Razumijevanje i analiziranje ovih postoperacijskih događaja bitno je iz istog razloga kao i EDS analiza, kako ne bi došlo do neželjenog oštećenja opreme.

Nakon otpajanja niza usponskih cijevi, zajedno s LMRP-om, od donjeg sklopa čeljusnih preventera, niz usponskih cijevi počinje se gibati aksijalno prema gore. To se događa zbog toga što u normalnim uvjetima, prije samog otpajanja, niz podnosi vlačno opterećenje kojem je uzrok djelovanje nateznog sustava i ublaživača (engl. *riser recoil system*), o kojima će biti riječ u šestom poglavlju. Neizbježno je da će doći do trzaja niza usponskih cijevi, ali samo upravljanje jačinom tog trzaja ovisi o krutosti, odnosno sposobnosti nateznog sustava da taj trzaj priguši. Taj postupak može se izvesti na više načina. Prvi način je da pritiskom gumba za EDS, automatski se zatvaraju zračni ventili na platformi (engl. *Air Pressure Vessel*, u daljnjem tekstu APV) što povećava krutost sustava te se takozvani „riser recoil“ ventil zatvara kako bi se smanjio protok fluida, a s ciljem povećanja sposobnosti prigušivanja. Drugi način, kako se prigušuje vertikalno gibanje niza usponskih cijevi, je da se mijenja prigušnica, samim time i protok fluida, u ovisnosti o veličini hoda nateznog sustava ili brzini, bez zatvaranja zračnih ventila ili APV-a. Naravno, na trzaj niza usponskih cijevi utječu i neke druge karakteristike koje se tiču niza usponskih cijevi. Prva od njih je težina niza usponskih cijevi u vodi. U nekim slučajevima, u niz su uključene i posebne pojedinačne cijevi (engl. *bare joints*) koje pomažu u kontroli vertikalnog gibanja prema gore. Drugi parametar kojeg je potrebno razmotriti je gustoća isplake u nizu usponskih cijevi u trenutku otpajanja. Povećanjem njezine gustoće, povećava se sila trenja na stijenkama niza, što za rezultat ima određeno produljenje niza usponskih cijevi za kratki period nakon otpajanja. Treći parametar, koji dolazi do izražaja samo u dubokom podmorju, je produljenje samog niza usponskih cijevi nakon otpajanja koje može iznositi i nekoliko metara. To se događa uslijed njegove težine, tlaka gnječenja i slično te dolazi do takozvanog efekta pračke (engl. *slingshot effect*) gdje prvo dolazi do produljenja, niz je napet, a zatim do naglog vertikalnog kretanja prema gore.

## 4.2. Dopuštena ograničenja

Ograničenja na koja je potrebno pripaziti kod analize trzaja niza usponskih cijevi kako ne bi došlo do oštećivanja opreme su sljedeća:

- minimalna napetost nateznog sustava da nakon otpajanja ne bi došlo do udara LMRP-a u BOP,
- maksimalna napetost nateznog sustava koja neće prouzročiti otpuštanje natezних linija uslijed trzaja niza usponskih cijevi,
- maksimalna napetost nateznog sustava koja neće prouzročiti udarac niza usponskih cijevi u podište tornja.

Kako je prethodno nabrojeno, natezni sustav mora ostvarivati određeno minimalno vlačno opterećenje kako ne bi došlo do udara LMRP-a u BOP tijekom otpajanja. Do ovog događaja svejedno može doći ako platforma podnosi značajne vertikalne pomake (engl. *heave*) te ako do otpajanja dođe u trenutku kad se platforma nalazi u donjoj točki ciklusa kretanja. Nadalje, to se ne može kontrolirati jer, kao što je već prije spomenuto, sama operacija otpajanja traje otprilike 60 sekundi. Zato se kod projektiranja minimalnog naprežanja, koristi određeni faktor sigurnosti za koji se minimalno naprežanje uvećava kako do oštećenja ne bi došlo.

Kod određivanja uvjeta za maksimalno naprežanje nateznog sustava, kod današnjih sustava dozvoljeno je malo otpuštanje natezних linija, odnosno točni uvjeti nisu određeni. Što se tiče izbjegavanja udarca niza usponskih cijevi u podište tornja, može se definirati mrtvo područje (engl. *deadband*). U tom području, linije nateznog sustava su povučene do maksimalne visine, a teleskopska spojnica još uvijek ima na raspolaganju određenu duljinu kretanja, na primjer 1,5 m (5 ft), prije nego se unutarnja cijev izvuče iz vanjske. U mrtvom području natezne linije ne bi ostvarivale nikakvu silu na niz usponskih cijevi te se na taj način ostvaruje „sigurnosni prostor“ koji će pomoći usporiti niz usponskih cijevi ako je njihovo vertikalno kretanje veće od očekivanog.

## 5. TELESKOPSKA SPOJNICA

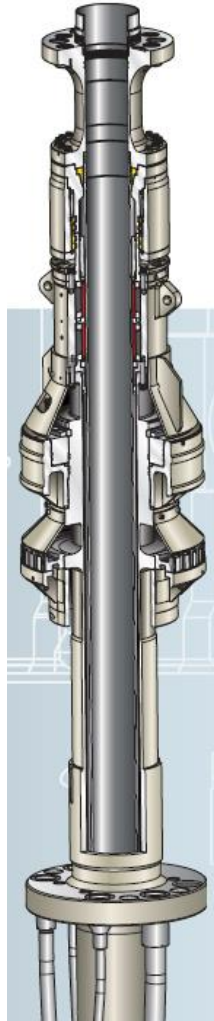
Teleskopska spojnica (engl. *telescopic joint; slip joint*) zajedno s gornjom kuglastom spojnicom, koja je spomenuta u drugom poglavlju, te s nateznim sustavom, o kojem će riječ biti nešto kasnije, spada u gornji dio sustava niza usponskih cijevi koji omogućava hermetičnu i sigurnu vezu platforme te niza usponskih cijevi. Glavna uloga teleskopske spojnice je anuliranje relativnog translacijskog gibanja između platforme i niza usponskih cijevi do kojeg može doći uslijed (ABS, 2017):

- vertikalnog gibanja platforme zbog valova (engl. *heave*),
- izmjenjivanje plime i oseke,
- pomaka platforme (engl. *unit offset*),
- promjena u duljini niza usponskih cijevi.

Teleskopska spojnica smještena je između pojedinačnih kraćih usponskih cijevi koje se nalaze s njezine donje strane, a služe podešavanju visine usponskih cijevi, te gornje kuglaste spojnice, koja se nalazi s gornje strane te joj je uloga sprječavanje rotacije niza usponskih cijevi te omogućavanje vertikalnog otklona od gotovo 15°. Ako postoji potreba, moguće je, što je već ranije spomenuto, da se između teleskopske spojnice i pojedinačnih kraćih usponskih cijevi postavi takozvana srednja fleksibilna spojnica koja ima prirubničke spojeve na oba svoja kraja.

Na slikama 5-1. i 5-2. mogu se vidjeti prikazi teleskopskih spojnica. Također se može razaznati da teleskopsku spojnicu čine dvije glavne komponente. Vanjska cijev (engl. *outer barrel*) koja je donja komponenta te je povezana na usponske cijevi i ostaje stacionarna, u odnosu na površinu morskog dna. Na nju se postavlja i prsten za ovjes (engl. *tensioning ring*) preko kojeg se vanjska cijev, sustavom za natezanje, povezuje za plovni objekt na površini mora. Sustavom za natezanje ostvaruje se neprekidno relativno jednaka vlačna sila na niz usponskih cijevi. Unutarnja cijev (engl. *inner barrel*) koja je gornja komponenta, povezana je na vod za povrat isplake ili diverterski sklop, nakon kojeg se isplaka dalje usmjerava na opremu za pročišćavanje. Učvršćena je na unutarnji dio podstrukture postrojenja te se giba vertikalno zajedno s postrojenjem i na taj način kompenzira vertikalne pomake postrojenja i promjenjiva opterećenja na sklop usponskih cijevi. U praksi, unutarnji promjer unutarnje cijevi (engl. *inner barrel ID*) trebao bi odgovarati unutarnjem promjeru usponskih cijevi, čiji promjer obično iznosi 0,48 m (18 ¾ “). Kako bi se osigurao siguran i hermetičan spoj unutarnje i vanjske cijevi, zaslužan je pneumatski ili hidraulički aktiviran elastični brtveni

element koji se nalazi unutar gornjeg dijela vanjske cijevi. Okvirni rasponi aktiviranja brtvenih elemenata su od 1,5 bar do 7 bar (20 – 100 psi) za pneumatske sustave te od 7 bar do 35 bar (100 – 500 psi) za hidraulički aktivirane brtvene elemente (Upton, 2009.) On brtvi izvana unutrašnju cijev osiguravajući integritet sklopa usponskih cijevi tijekom vertikalnog gibanja postrojenja (Crumpton, 2018).



**Slika 5-1.** Shematski prikaz teleskopske spojnice (Drill-Quip, 2014)

Neke od najvažnijih karakteristika teleskopske spojnice na koje je potrebno obratiti pažnju prilikom projektiranja samog sustava su (ABS, 2017):

- duljina u potpuno skupljenom položaju (engl. *collapsed length*),
- maksimalni hod, odnosno rastegnutost spojnice (engl. *maximum stroke*),
- duljina u spojnice u radnom stanju (mirno more) (engl. *length at preferred initial stroke*),

- vanjski i unutarnji promjer vanjske cijevi (engl. *outer diameter, OD % inner diameter, ID*),
- duljina vanjske cijevi (engl. *outer barrel length*)
- unutarnji promjer unutarnje cijevi (engl. *inner barrel ID*),
- masa vanjske cijevi u zraku (engl. *outer barrel weight in air*),
- masa vanjske cijevi u vodi (engl. *outer barrel weight in water*),
- ukupna masa teleskopske spojnice u zraku (engl. *total joint weight in air*),
- težina kliznog prstena, ako se računa zasebno (engl. *slip ring weight*),
- položaj kliznog prstena u odnosu na bazu vanjske cijevi (engl. *slip ring position respect to the base of outer barrel*),
- granično naprezanje pri gnječenju, ako postoji engl. (*tension limit when collapsed, if any*),
- granično naprezanje u rastegnutom položaju, ako postoji (engl. *tension limit when fully stretched, if any*).



**Slika 5-2.** Prikaz teleskopske spojnice u radnom okruženju (www.istockphoto.com, 2011)

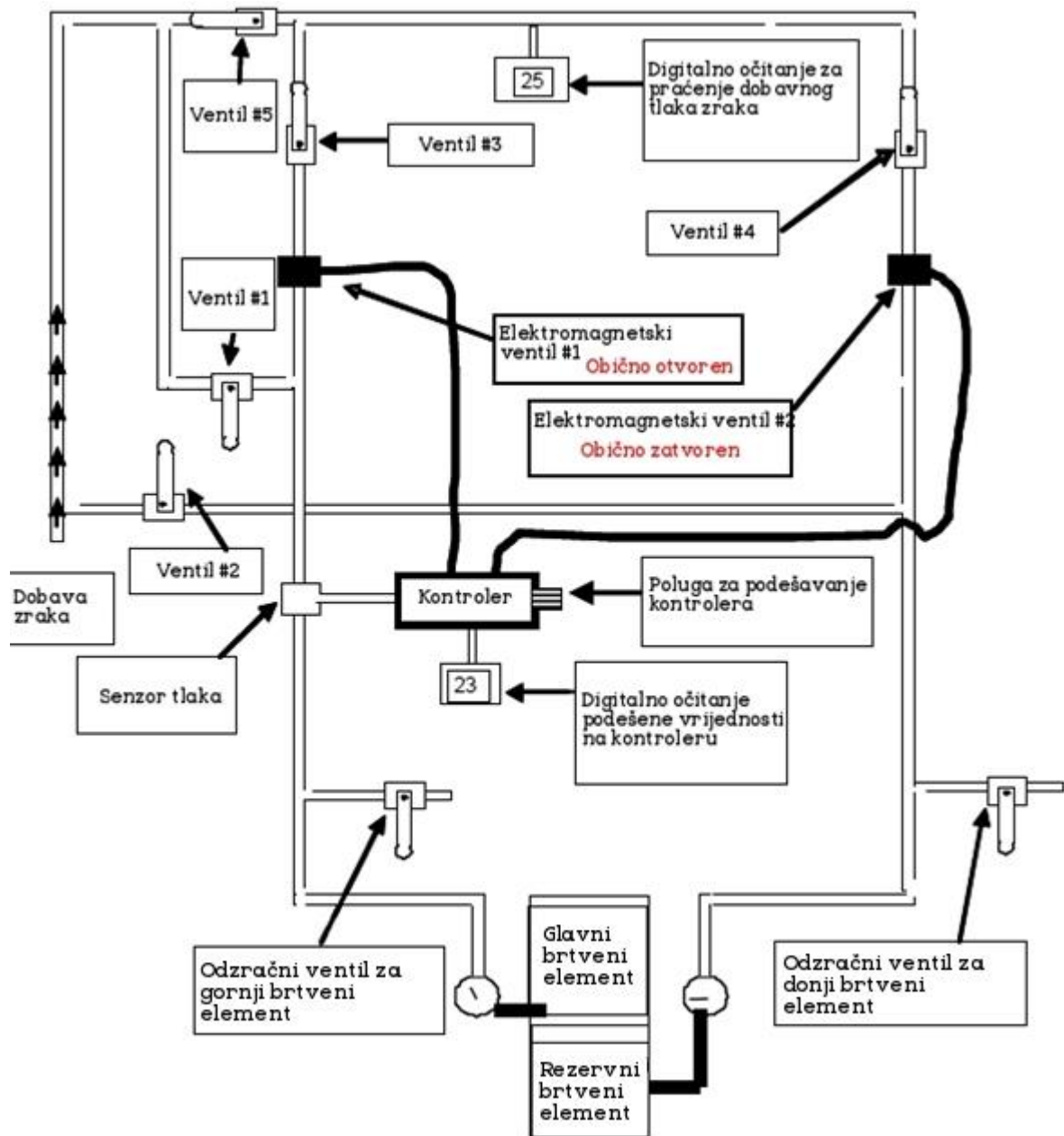
U teoriji, teleskopska spojnica bi u svom početnom položaju, odnosno kad je mirno more, trebala biti točno na polovici duljine mogućeg hoda jer tad postoje najveće mogućnosti za vertikalni hod i prema gore i prema dolje. U stvarnosti, bez obzira što se dodaju pojedinačne kraće usponske cijevi koje su obično duge 1,5 m ili 3 m, to nekad nije moguće postići. Ovakve situacije potrebno je posebno razmotriti u slučajevima prisilnog otpajanja niza usponskih cijevi od preventerskog sklopa (engl. *emergency disconnect*) i trzaja niza usponskih cijevi vertikalno prema gore (engl. *riser recoil*) te se u obzir moraju uzeti smanjene mogućnosti teleskopske spojnice, a ne idealna maksimalna duljina hoda (Chakrabarti, 2005).

Prema raznim ispitivanjima i analizama podataka, teleskopska spojnica se smatra najslabijom karikom sustava niza usponskih cijevi. Njezin dizajn se nije previše mijenjao od ranih 1960-ih, od kad se počela koristiti na poluuronjivim platformama. Propuštanje teleskopske spojnice u tim vremenima, kad nije bilo toliko aditiva koji bi zagađivali more, nije bilo toliko opasno, ali u današnje vrijeme, ono je neprihvatljivo. U većini slučajeva,

propuštanje fluida je posljedica zakazivanja brtvenog elementa ili pak pneumatskog ili hidrauličkog sustava koji su zaslužni za ostvarivanje tlaka na brtveni element.

Kako bi se riješio problem zakazivanja sustava koji osigurava potreban tlak za zatvaranje, danas je već obvezna praksa da mora postojati automatski rezervni sustav koji osigurava tlak za sekundarni (donji) brtveni element, u slučaju zakazivanja primarnog sustava, odnosno kad se na primarnom brtvenom elementu uoči određeni pad tlaka, koji je prethodno definiran, rezervni sustav automatski aktivira sekundarni brtveni element. Taj pad tlaka može se dogoditi ili zbog greške u samom sustavu opskrbe tlaka ili zbog mnogo češćeg uzroka, istrošenosti brtvenog elementa. Rezervni sustav koristi plin, koji je najčešće zbog svoje inertnosti dušik, ili hidraulični fluid, neovisne o primarnom tlačnom sustavu. Shema cijelog tlačnog sustava prikazana je na slici 5-3.

Unutar teleskopske spojnice postoje prstenovi za habanje (engl. *wear rings*) koji su ugrađeni u vanjsku cijev, a služe kao centralizeri za unutarnju cijev. S vremenom se, zbog aksijalnog kretanja unutarnje cijevi, ti prstenovi troše te ih je potrebno periodički pregledavati i mijenjati. U slučaju njihovog neodržavanja te u slučaju horizontalnog pomaka platforme ili nejednakog rasporeda opterećenja po užadi nateznog sustava, doći će do nejednolikog trošenja brtvenog elementa jer unutarnja cijev nije pravilno centralizirana, što se može vidjeti na slici 5-4. Inače se sami brtveni elementi mijenjaju periodički prema uputama koje daje proizvođač ili u vremenskom periodu za koji kompanija smatra da je najbolji, a on iznosi otprilike od 1800 do 3600 radnih sati (Upton, 2009).



**Slika 5-3.** Prikaz sheme cjelokupnog sustava teleskopska spojnica – tlačni sustav (Upton, 2009)





**Slika 5-4.** Nejednoliko potrošen brtveni element teleskopske spojnice (Upton, 2009)

Drugi uzrok koji se tiče same teleskopske spojnice je da površina unutarnje cijevi s vremenom nije više toliko glatka. Uzrok tome može biti ili korozija unutarnje cijevi ili mehanička oštećenja nastala s vremenom ili nastala prilikom ugradnje teleskopske spojnice. Kako bi se to spriječilo, danas se unutarnje cijevi proizvode od visoko kvalitetnog čelika te se periodički premazuju sa sredstvima koji štite od korozije i povećavaju glatkost površine, slika 5-5.



**Slika 5-5.** Uklanjanje korozije s unutarnje cijevi i tretiranje zaštitnim premazom (Upton, 2009)

S vremenom su se razvile određene preporuke i prakse kojih se danas većina kompanija drži, a i proizvođači teleskopskih spojnica, a sve sa svrhom duže trajnosti teleskopske spojnice i manje mogućnost za direktno propuštanje u more.

Preporuke za dodatnu opremu koja se može ugraditi zajedno s teleskopskom spojnicom:

- automatski rezervni sustav za aktiviranje sekundarnih brtvi,
- pilot kontrolni ventil koji održava potreban tlak na brtve u slučaju nestanka tlaka u tlačnom vodu,
- zvučni i/ili vizualni alarm koji javlja gubitak tlaka u primarnom sustavu,
- pretvornik tlaka (engl. *pressure transducer*) dostatne osjetljivosti koji će aktivirati rezervni sustav u slučaju gubitka, ne više od 20%, tlaka u primarnom sustavu,
- tlačne mjerne pretvornike raspoređene po tlačnim vodovima primarnog i sekundarnog sustava.

#### Preporuke kod korištenja i održavanja:

- Teleskopsku spojnicu potrebno je održavati prema uputama proizvođača (engl. *preventative maintenance*) ili ako kompanija iz iskustvenih razloga ima kraće vrijeme održavanja zbog kvarova (engl. *mean time between failures*);
- Svaki put kod ugradnje potrebno je pregledati stanje površine unutarnje cijevi te ju tretirati zaštitnim premazom;
- Djelovanje automatskog rezervnog sustava za aktiviranje sekundarnih brtvi potrebno je periodički pregledavati;
- Tlak zatvaranja brtvenih elemenata potrebno je podesiti na vrijednost pri kojoj neće biti propuštanja brtvenih elemenata u količinama opasnim za okoliš;
- Za vrijeme korištenja, potrebno je obavljati periodičke preglede teleskopske spojnice kao i periodička podešavanja tlaka na brtvene elemente zbog njihovog normalnog trošenja s vremenom ili povećanja gustoće isplake.

#### Preporuke kod pregleda:

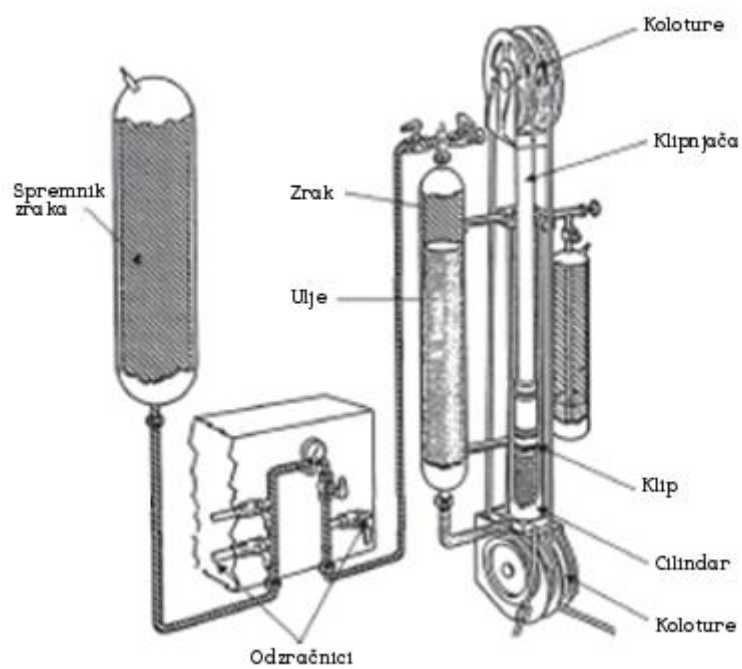
- Opći pregled platforme trebao bi sadržavati pregled cijelog sklopa teleskopske spojnice i kontrolnog sustava;
- Preporuča se koristiti samo originalne rezervne dijelove koji su pravilno pakirani i skladišteni;
- Pregled teleskopskih spojnica prije početka svake smjene (dvaput na dan), opažanja zabilježiti u kontrolnu dokumentaciju;
- Potrebno je utvrditi da su opterećenja jednoliko raspodijeljena po užadi nateznog sustava jer nejednaka opterećenja mogu uzrokovati nejednako trošenje brtvenih elemenata;
- Pregled brtvećih prstenova svaki put kad su unutarnja i vanjska cijev rastavljene i zamjena potrošenih.

## 6. NATEZNI SUSTAV NIZA USPONSKIH CIJEVI

Natezni sustav je komponenta niza usponskih cijevi koja je smještena odmah ispod podišta tornja, odnosno proteže se kroz otvor u trupu (engl. *moon pool*) poluuronjive platforme ili broda za bušenje. Natezni sustav se u odobalnim aktivnostima počeo koristiti 50.-ih godina prošlog stoljeća u isto vrijeme kad se počelo bušiti u većim dubinama mora. Uloga mu je da kompenzira vertikalna gibanja postrojenja na površini mora te da niz usponskih cijevi drži pod približno konstantnim nategom što im omogućava da u svim vremenskim uvjetima zadrže uspravan položaj te ih na taj način štiti od oštećenja. Druga situacija u kojoj je važan nateg niza usponskih cijevi, a spomenuta je prije u radu, je kad se pojavi potreba za otpajanjem LMRP-a od BOP-a na razini hidrauličke spojnice, da ne dođe do njihovog međusobnog sudara. Nadalje, da niz usponskih cijevi nije pod nategom, sva težina usponskih cijevi tlačno bi opterećivala podvodni preventerski sustav što za posljedice ima veliku vjerojatnost za neuspješno otpajanje usponskih cijevi i relativno male duljine usponskih cijevi koje bi se na takav način mogle ugraditi. Kako bi se se to izbjeglo, usponske cijevi su spojene na natezni sustav pomoću nateznog prstena koji se nalazi na vanjskoj cijevi teleskopske spojnice i povezne čelične užadi. Natezni sustav usponskih cijevi je hidrauličko-pneumatski sustav te se sastoji od sljedećih komponenata (NOV, 2011):

- natezača - u sklopu natezača nalaze se vertikalni cilindar fiksiran na kućištu kolotura, koloture, spremnik s radnom tekućinom i stlačenim zrakom te sigurnosni ventil,
- natezne čelične užadi,
- glavnih i pomoćnih spremnika sa stlačenim zrakom,
- visokotlačnih kompresora,
- sustava ventila,
- izvora visokog tlaka (engl. *hydropneumatic accumulator*),
- upravljačkog panela koji se nalazi u kabini bušača,
- PLC-a - programibilnog logičkog kontrolera.

Pojednostavljeni prikaz nateznog sustava nalazi se na slici 6-1. te usporedba veličina čovjeka i natezača sa svim pripadajućim komponentama na slici 6-2.



**Slika 6-1.** Prikaz komponenata nateznog sustava usponskih cijevi (Laik, 2018)

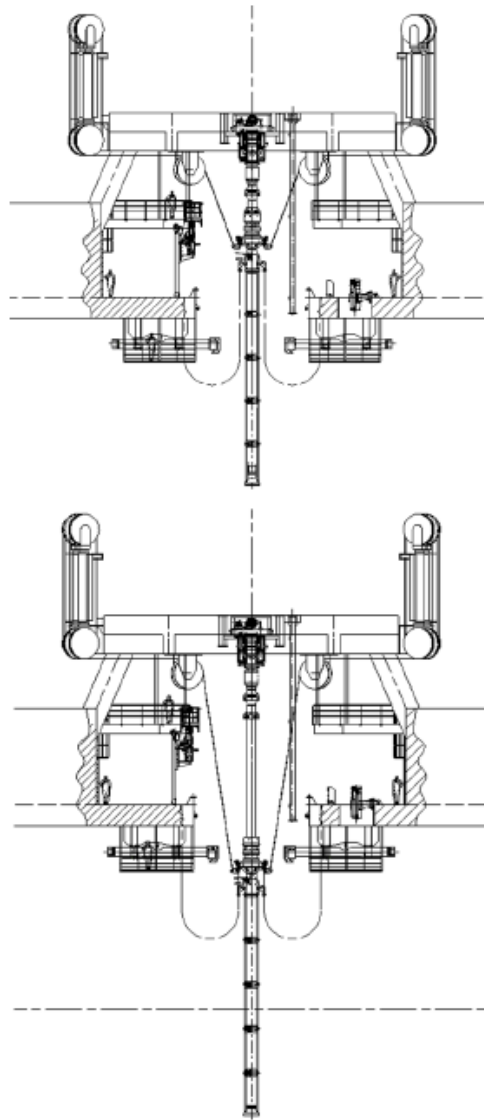


**Slika 6-2.** Usporedba veličine natezača i čovjeka (Cameron, 2017)

## 6.1. Način rada

Cilindar je fiksiran na kućište donjih kolotura, dok su gornje, pomične koloture spojene na klipnjaču s kojom se gibaju. Klipnjača je napravljena o visokokvalitetnog čelika te je presvučena slojevima nikla i kroma. Klipnjača ostvaruje silu i nastoji razdvojiti gornje od donjih kolotura. Na klip djeluje tlak hidrauličkog fluida na kojeg djeluje tlak zraka u akumulatoru visokog tlaka. Kretanje klipnjače zapravo određuje nateg koji se ostvaruje na čelično uže provučeno kroz koloture te je proporcionalno tlaku zraka.

Natezni sustav održava relativno konstantan nateg usponskih cijev natezanjem ili popuštanjem čelične užadi kao odgovor na vertikalno kretanje plovnog objekta. Uže je provedeno od nateznog prstena koji se nalazi na vanjskoj cijevi teleskopske spojnice, kroz usmjeravajuće koloture, na koloture koje se nalaze na pomičnom i nepomičnom kraju natezača. Prikaz nateznog sustava u neutralnom položaju može se vidjeti na slici 6-3. Kako pomak plovnog objekta vertikalno prema gore nastoji uzrokovati povećanje napetosti u užadi, klipnjača se uvlači u cilindar te se na taj način povećava duljina užadi kako bi se održao zadani nateg. Uvlačenjem klipnjače u cilindar, hidraulički fluid iz cilindra se, preko takozvanog anti-recoil ventila, premješta u akumulator visokog tlaka, dok se zrak iz akumulatora komprimira u spremnike sa stlačenim zrakom. Kako pomak plovnog objekta vertikalno prema dolje nastoji uzrokovati smanjenje napetosti u čeličnoj užadi, tlak u cilindru pomiče klipnjaču izvan cilindra te se na taj način smanjuje duljina čeličnog užeta i održava zadani radni nateg. Izvlačenjem klipnjače iz cilindra, zrak ekspanira iz spremnika sa stlačenim zrakom kako bi podržao tlak u cilindru (NOV, 2011).



**Slika 6-3.** Prikaz nateznog sustava spojenog na niz usponskih cijevi i podstrukturu (NOV, 2011)

Ovisno o dubini mora, odnosno duljini niza usponskih cijevi i njihovoj težini, postoje natezni sustavi koji koriste četiri, osam, dvanaest ili čak šesnaest natezних linija. Ako se za primjer uzme sustav sa šesnaest natezних linija, one s nateznog prstena vode prema osam dvostrukih natezača. Natezači su postavljeni u parove. Natezači koji su u paru, međusobno se nalaze na dijametralno suprotnim stranama oko niza usponskih cijevi. Svaki par cilindara su spojeni zajedno kao jedna jedinica i dijele isti izvor stlačenog zraka. Razlog tome je postizanje simetričnosti natezanja, odnosno kako bi se izbjegle lateralne sile u nateznom prstenu na vanjskoj cijevi teleskopske spojnice.

Iz tablice 6-1. može se vidjeti kako hod klipnjače u cilindru natezača iznosi 3,81 m (12,5 ft). Zbog sustava kolotura kroz koje su provučena natezna užad, mehanički odnos hoda klipnjače u cilindru i duljine kretanja natezne užadi iznosi 1:4, odnosno hod klipnjače od 3,81 m prenosi se na duljinu hoda natezne užadi od 15,24 m (50 ft). To ujedno predstavlja i maksimalni vertikalni pomak koji natezni sustav može kompenzirati.

**Tablica 6-1.** Prikaz karakteristika nateznog sustava kompanije Cameron (Cameron, 2017)

|                        | 160 kip       |                | 200 kip       |                | 250 kip       |                |
|------------------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
|                        | US            | SI             | US            | SI             | US            | SI             |
| Kapacitet natezača     | 2 x 160 kip   | 2 x 72,57 tona | 2 x 200 kip   | 2 x 90,72 tona | 2 x 250 kip   | 2 x 113,4 tona |
| Duljina kretanja užadi | 50 ft         | 15,24 m        | 50 ft         | 15,24 m        | 50 ft         | 15,24 m        |
| Maks. Brzina užadi     | 330,71 ft/min | 1,68 m/s       | 330,71 ft/min | 1,68 m/s       | 330,71 ft/min | 1,68 m/s       |
| hod klipnjače          | 12,5 ft       | 3,81 m         | 12,5 ft       | 3,81 m         | 12,5 ft       | 3,81 m         |
| promjer kolotura       | 64"           | 1,63 m         | 78"           | 1,98 m         | 90"           | 2,29 m         |
| Promjer užeta          | 2,13"         | 54,1 mm        | 2,5"          | 63,5 mm        | 2,75"         | 69,85 mm       |
| Maksimalni tlak fluida | 3000 psi      | 206,84 bar     | -             | -              | -             | -              |

Kao što je spomenuto, cijeli sustav radi na hidrauličko-pneumatskom principu. Hidraulički fluid koji se koristi u nateznom sustavu je vatrootporan fluid baziran na vodi, odnosno glikolu te se sa zrakom nalazi u međusobnom kontaktu unutar akumulatora visokog tlaka. Nadalje, za stlačivanje i nadomještanje količine zraka koriste se visokotlačni kompresori te se uz njih također koriste i isušivači zraka kako bi se izbjegle neželjene posljedice kondenzacije vodene pare i problemi s korozijom. U akumulatoru, zrak prenosi tlak na hidraulički fluid koji zatim prenosi tlak na klip te uzrokuje njegovo istiskivanje iz cilindra. Dio cilindra iza klipa ispunjen je hidrauličkim fluidom. Kako klipnjača nastoji izaći izvan cilindra, hidraulički fluid se kreće na stranu u cilindru gdje se nalazi klip i pomiče ga



izvan cilindra. Ovakva izvedba osigurava konstantno podmazivanje i štiti cilindar od korozije i mehaničkih oštećenja uslijed prisutnih visokih tlakova.

Svako fiksirano kućište uključuje i bubanj koji služi za namatanje i promjenu užadi te „sidro“ čija je uloga učvršćenje užeta u mrtvu točku. Kako je ranije spomenuto, drugi kraj užeta povezan je na natezni prsten teleskopske spojnice.

Kod svakog natezača također postoje vodovi koji su zaslužni za stalno podmazivanje ležajeva kolotura te na taj način osiguravaju dugotrajnost djelovanja natezača.

Cilindar svakog natezača opremljen je raznim mjernim uređajima među kojima je i uređaj za mjerenje položaja klipa unutar cilindra. Njegovim korištenjem, operater u svakom trenutku može znati položaj klipnjače, odnosno klipa u svakom pojedinom cilindru. Ovakvi sustavi posebno su važne komponente sustava protiv naglih trzaja (engl. *anti-recoil system*) koji se, među ostalim, sastoje još od programibilnih logičkih kontrolera i sustava ventila koji su smješteni između cilindra i akumulatora visokog tlaka. Aktiviranje sustava, postavljanje i praćenje parametara te gašenje cjelokupne jedinice obavlja se s upravljačkog panela koji se najčešće nalazi u kabini bušača.

## **6.2. Sigurnosni sustavi**

U natezni sustav niza usponskih cijevi pribraja se i sigurnosni sustav koji se automatski uključuje u slučaju neželjenih događaja kao što su puknuće čeličnog užeta, previsoki tlak u akumulatoru i slično

### *6.2.1. Riser anti-recoil system valve*

Ovaj ventil smješten je između akumulatora, odnosno izvora visokog tlaka i samog cilindra. U slučaju puknuća čeličnog užeta, otpajanja niza usponskih cijevi ili pak oštećenja niza, odnosno, u slučaju naglog i značajnog smanjenja natega u nateznoj užadi ventil će smanjiti protok hidrauličkog fluida do cilindra i usporiti kretanje klipnjače unutar cilindra, odnosno cilindar će se zaključati. Ovime se sprječava proklizavanje klipnjače koja bi, u ovom slučaju, imala tendenciju izlaženja iz cilindra te se time sprječava kvar na samom natezaču.

### 6.2.2. Zaobilazni ventil

Zaobilazni ventil (engl. *bypass valve*) je smješten na vrhu akumulatora visokog tlaka. Po vrsti spada u igličaste ventile (engl. *needle type valve*), čiji se prikaz može vidjeti na slici 6-4. Inače, igličasti ventili imaju dugačke osovine čiji krajevi završavaju nalik na iglu. Igla zapravo ima ulogu prigušnice i ovakav način izvedbe omogućuje vrlo precizno podešavanje protoka u vodovima (<https://megadepot.com>, 2022). U pravilu se igličasti ventili ne koriste sami za sebe, već su dio složenijeg sustava ventila pa se tako i u ovom slučaju, igličasti ventil nalazi u kombinaciji s glavnim zračnim ventilom promjera 76,2 mm (3“) te zajedno služe za izjednačavanje tlaka s obje strane sigurnosnog ventila (engl. *shut off valve*) prije nego dođe u otvoreni položaj



**Slika 6-4.** Prikaz igličastog ventila (<https://megadepot.com>, 2022)

### 6.2.3. Odzračni i sigurnosni ventil

Kao i zaobilazni ventil, odzračni ventil (engl. *vent valve*) i sigurnosni ventil (engl. *relief valve on accumulator*) se također nalaze na vrhu akumulatora visokog tlaka. Uloga odzračnog ventila je ispustiti tlak zraka iz sustava u atmosferu kad je glavni ventil za zatvaranje/otvaranje u zatvorenom položaju. Sigurnosni ventil osigurava da tlak zraka u akumulatoru ne premaši, unaprijed postavljenu, sigurnosnu vrijednost tlaka od 230 bar.

#### 6.2.4. Zračni izolacijski ventil

Zračni izolacijski ventil (engl. *air isolation valve*) nalazi se na vrhu akumulatora visokog tlaka. Ovaj ventil omogućuje odvajanje natezača od vodova sa zrakom pod visokim tlakom. U normalnim radnim uvjetima nalazi se u potpuno otvorenom položaju.

### 6.3. API preporuke za minimalni i maksimalni nateg

Američki naftni institut (engl. *American Petroleum Institute*, u daljnjem tekstu API), 1993. izdao je dokument API RP 16Q u kojem su predložili preporuke za određivanje kriterija minimalnog i maksimalnog naprezanja niza usponskih cijevi.

Minimalno naprezanje usponskih cijevi potrebno je ostvariti kako ne bi, zbog težine samog niza i djelovanja tlakova, došlo do izvijanja niza usponskih cijevi, dok se maksimalno naprezanje određuje na temelju kapaciteta nosivosti nateznog sustava.

Kako ne bi došlo do izvijanja usponskih cijevi, potrebno je ostvariti određenu vrijednost natega na vrhu niza usponskih cijevi da efektivni nateg (engl. *effective tension*), izračunat na bilo kojoj duljini niza, bude uvijek iznad nule. Najkritičnija točka za izračunavanje efektivnog natega je samo dno niza, odnosno u razini BOP-a, gdje bi BOP, da nema nateznog sustava, morao podržavati cijelu težinu niza. Efektivni nateg se jednostavno može izračunati u bilo kojoj točki kao razlika vrijednosti natega na vrhu niza usponskih cijevi i težine niza usponskih cijevi i isplake iznad promatrane točke, što je prikazano u izrazu 6-1 (Guesnon, 2002):

$$T_{eff}(z) = T_{top} - \sum_z^{top} (W_{riser} + W_{mud}) \quad (6-1)$$

gdje su:

$T_{eff}(z)$  – efektivni nateg na određenoj dubini, N

$T_{top}$  – vrijednost natega na vrhu niza usponskih cijevi, N

$W_{riser}$  – težina niza usponskih cijevi iznad promatrane točke, N

$W_{mud}$  – težina isplake u nizu usponskih cijevi iznad promatrane točke, N

API RP 16Q preporuča da se kod izračunavanja minimalnog natega, u obzir uzmu i pojedini faktori sigurnosti zbog nesigurnosti određivanja (Chakrabarti, 2005):

- težine niza usponskih cijevi,
- određivanja uzgona koji ostvaruju uzgonski moduli niza; kako je ranije spomenuto u trećem poglavlju, vrijednost uzgona se smanjuje s dubinom zbog djelovanja tlaka gnječenja morske vode te s vremenom zbog razgradnje uzgonskih modula,
- u slučaju zakazivanja nateznog sustava.

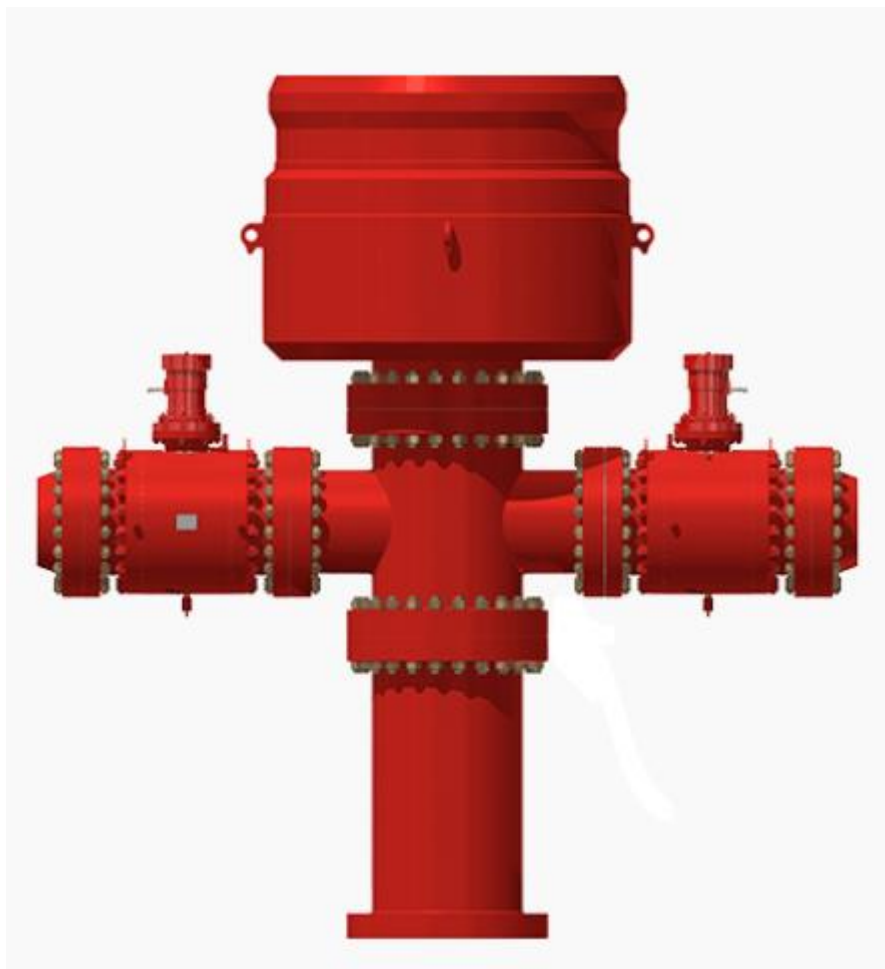
## 7. DIVERTERSKI SKLOP

Bilo da se radi o platformi sa samopodižućim nogama (engl. *jack-up platform*) ili o poluuronjivim platformama (engl. *semisubmersible platform*) ili o bilo kojoj drugoj vrsti platforme koja se koristi kod bušenja na moru, svima im je zajednička nemogućnost postavljanja protuerupcijskog uređaja odmah na početku bušenja (engl. *top hole drilling*), nego se u tu svrhu koristi diverterski sklop (engl. *diverter system*).

Diverteri, kao oprema za osiguranje ušća bušotine, koriste se pretežito u odobalnim aktivnostima. Pri bušenju na kopnu koriste se rijetko, uglavnom kod postrojenja za velike dubine (> 6000 m). Naime, ne postoji preventerska oprema kroz koju bi prolazilo dlijeto promjera 0,6604 m (26“) te iza kojeg bi se ugrađivale zaštitne cijevi promjera 0,508 m (20“). Zbog toga se za te promjere bušenja može upotrijebiti jedino diverter. Diverterski sklop je niskotlačni prstenasti preventer te prema API RP 64 standardu mora kontrolirati tlakove u nominalnim iznosima od 34,5 bar (500 psi), 69 bar (1000 psi), 103,5 bar (1500 psi) do najviše 138 bar (2000 psi). Svrha mu je da u slučaju pojave ugljikovodika u kanalu bušotine kod plitkog bušenja, odnosno nailaska na leće plitkih plinova (engl. *shallow gas*), ne smije zatvoriti bušotinu, već mora omogućiti skretanje struje plina niz vjetar na sigurnu udaljenost izvan platforme. Bušotina se ne smije zatvarati jer se zbog razlike u gustoći isplake ili vode, ovisno što se koristi kao bušači fluid, i plina u kanalu bušotine, plin podiže i ekspandira te posljedično tome ostvaruje pritisak na okolne stijene koje na plitkim dubinama imaju mali tlaka frakturiranja. Time bi moglo doći do stvaranja pukotina/fraktura u stijenama, gubljenje kanala bušotine, prodiranje ugljikovodika na površinu (engl. *broaching*), propadanja nogu samopodižuće platforme i sl.

Ako se rade istražne bušotine na malim dubinama mora korištenjem samopodižućih platformi, prije postavljanja samog divertera, konduktorske cijevi potrebno je hidrauličkim ili dizelskim čekićem nabiti u tlo do potrebne dubine koja otprilike iznosi 60-80 m, a ovisi o gustoći isplake za nastavak bušenja i o gradijentu tlaka frakturiranja naslaga. Nakon nabijanja, konduktorske cijevi se režu iznad površine mora, na određenoj visini od dna pontona, kako bi se omogućila ugradnja diverterskog sklopa. Na vrh odrezane konduktorske cijevi navaruje se uvodna prirubnica na koju se zatim spaja diverter (križna) prirubnica. Na njoj su bočni otvori velikog promjera za povezivanje cijevi za ispuhivanje bušotine s ugrađenim hidrauličkim ventilima koji se automatski otvaraju čim se diverter zatvori. Na diverter prirubnicu se vijčanim prirubničkim spojem povezuje diverter kao što je prikazano na slici 7-1. Nakon aktiviranja divertera, elastomerni brtveni element zatvara prstenasti

prostor oko bušaćeg alata ili puni profil ako se bušaći alat ne nalazi u bušotini te se prispjeli plin preusmjerava na jedan od vodova za ispuhivanje, ovisno o smjeru vjetra. Iznad diverterskog sklopa pa sve do ispod vrtaćeg stola nalazi se izljevna cijev (engl. *bell nipple*) odgovarajuće duljine.



**Slika 7-1.** Prikaz diverterskog sklopa ([www.drillingformulas.com](http://www.drillingformulas.com), 2021)

Ako se pak za izradu istražnih bušotina koriste poluuronjive platforme proces je sličan samo ulogu konduktorskih cijevi kod platformi sa samopodizućim nogama sad preuzima niz usponskih cijevi. Naime, nakon početnog bušenja kanala bušotine promjera 0,762 m (30“) i postavljanja konduktor kolone, a prije početka bušenja kanala bušotine promjera 0,66 m (26“) zahtijeva se ugradnja niza usponskih cijevi i diverterskog sklopa. U takvim slučajevima, diverter se postavlja iznad teleskopske spojnice, spaja na unutrašnju cijev teleskopske spojnice ili ako se iznad teleskopske spojnice još nalazi kuglasta spojnica, onda iznad kuglaste spojnice, a ispod vrtaćeg stola, kao što je prikazano na slici 7-2.



**Slika 7-2.** Prikaz položaja divertera kod sustava s nizom usponskih cijevi (Krištafor, 2021)

Vodovi za ispuhivanje (engl. *vent line*), koji se također mogu vidjeti na slici 7-1., služe kako bi se dotok iz bušotine mogao usmjeriti niz vjetar izvan platforme. Vodovi bi trebali biti čim pravocrtiji (bez koljena), većeg promjera (zbog manjih otpora protjecanja) te, po mogućnosti, pod blagim nagibom (zbog sprječavanja sedimentiranja pijeska i smanjenja promjera protjecanja). Diverteri obično imaju dva ili više voda za ispuhivanje koji se otvaraju u ovisnosti o smjeru vjetra. Na odobalnim postrojenjima, promjer vodova za ispuhivanje je obično 0,254 m (10“) ili veći kako bi se minimizirao protutlak (engl. *backpressure*) na kanal bušotine. Tijekom normalne operacije bušenja, hidraulički ventili na vodovima za ispuhivanje su zatvoreni i diverter je otvoren. Aktiviranjem funkcije zatvaranja divertera s upravljačkog panela, najprije se otvaraju ventili na vodu za ispuhivanje te se

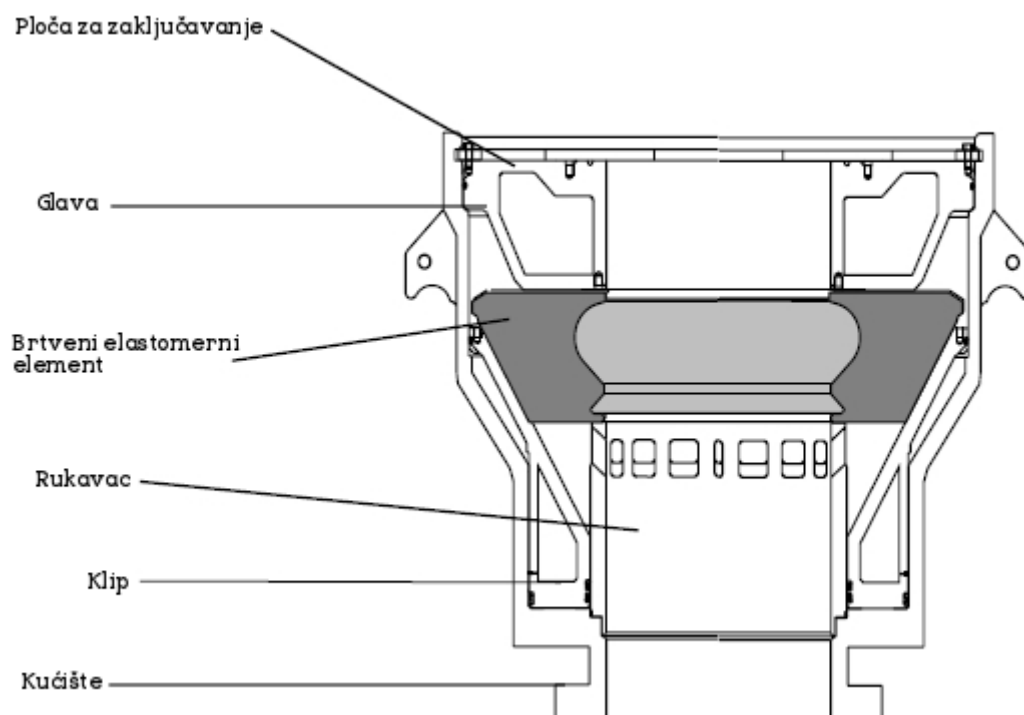
nakon toga zatvara diverter. Za vrijeme kad je diverter u zatvorenom položaju, a s ciljem da se uspostavi kontrola tlaka u bušotini, kroz vod za punjenje se utiskuje otežana isplaka ili morska voda što je moguće većom dobavom.

Upravljački sustav kojim se upravlja diverterskim sklopom mora biti sposoban otvoriti hidrauličke ventile na vodovima za ispuhivanje, zatvoriti ventile na vodu prema isplačnom sustavu (ako postoje) te zatvoriti elastomerni brtveni element divertera. Za divertere promjera 0,508 m (20“) ili manje, operacija zatvaranja mora biti obavljena unutar 30 sekundi od trenutka aktiviranja funkcije zatvaranja bez obzira na prisutnost bušačkog alata u bušotini, a za promjere divertera 0,508 m (20“) i veće, vrijeme zatvaranja smije biti najviše 45 sekundi. Diverter može imati zaseban upravljački sustav, a može koristiti isti upravljački sustav kao i sklop preventera, ali u tom slučaju se ukupni volumen boca s hidrauličkim fluidom mora povećati za potreban iznos. Što se tiče upravljanja funkcijama divertera, sve funkcije divertera moraju biti operabilne s podišta tornja na najmanje dvije lokacije. Pomoćni (daljinski) upravljački panel mora se postaviti na sigurno mjesto udaljeno od podišta u slučaju da s podišta tornja nije moguće aktivirati diverter, najčešće je to u sigurnoj zoni kod bušača. Daljinski upravljački panel također mora omogućiti upravljanje svim funkcijama diverterskog sklopa.

### **7.1. Hydrill MSP 29 ½“ – 500 psi**

Kompanija Hydril jedna je od najpoznatijih proizvođača prstenastih preventera pa tako i divertera. Na modelu MSP bit će prikazani osnovni dijelovi divertera te princip rada. U nazivu modela može se primijetiti da je namijenjen za promjer od 0,75 m (29 ½“) te da mu je radni tlak 34,5 bar, odnosno 500 psi. Na slici 7-3. mogu se vidjeti osnovni dijelovi divertera, a u tablici 7-1. osnovne karakteristike primijenjenog modela MSP.





**Slika 7-3.** Prikaz osnovnih dijelova divertera (Hydril, 2001)

**Tablica 7-1.** Osnovne karakteristike divertera Hydril MSP 29 1/2" – 500 psi

|  |                 |                      |
|--|-----------------|----------------------|
| Promjer otvora                               | 29 1/2"         | 0,749 m              |
| Radni tlak                                   | 500 psi         | 34,5 bar             |
| Ispitni tlak (samo u tvornici)               | 800 psi         | 55,2 bar             |
| Tlak u komori za zatvaranje                  | 2275 psi        | 157 bar              |
| Volumen komore za zatvaranje                 | 60 gal          | 0,228 m <sup>3</sup> |
| Duljina hoda klipa                           | 13 9/16"        | 0,344m               |
| Port size                                    | 1,25 – 11,5 NPT | 1,25 – 11,5 NPT      |
| Masa   | 24500 lb        | 11116 kg             |
| Nosivost ušice za prijenos divertera (svake) | 27000 lb        | 12250 kg             |
| Normalni operativni tlak                     | 1500 psi        | 104 bar              |

Najvažniji element divertera je elastomerni brtveni element. Izrađuje se od visokokvalitetne gume te je ojačan čeličnim elementima, odnosno umecima. Osim dodatnog pojačanja gume, uloge čeličnih elemenata su da elastomerni element drže u njegovom sjedištu unutar preventera te da smanjuju trošenje gume. Elastomerni element može biti

izrađen od prirodne ili nitrilne gume. Koja vrsta gume će se koristiti najviše ovisi o tipu isplake koji se koristi za bušenje plitkih dijelova kanala bušotine te temperaturi pa tako:

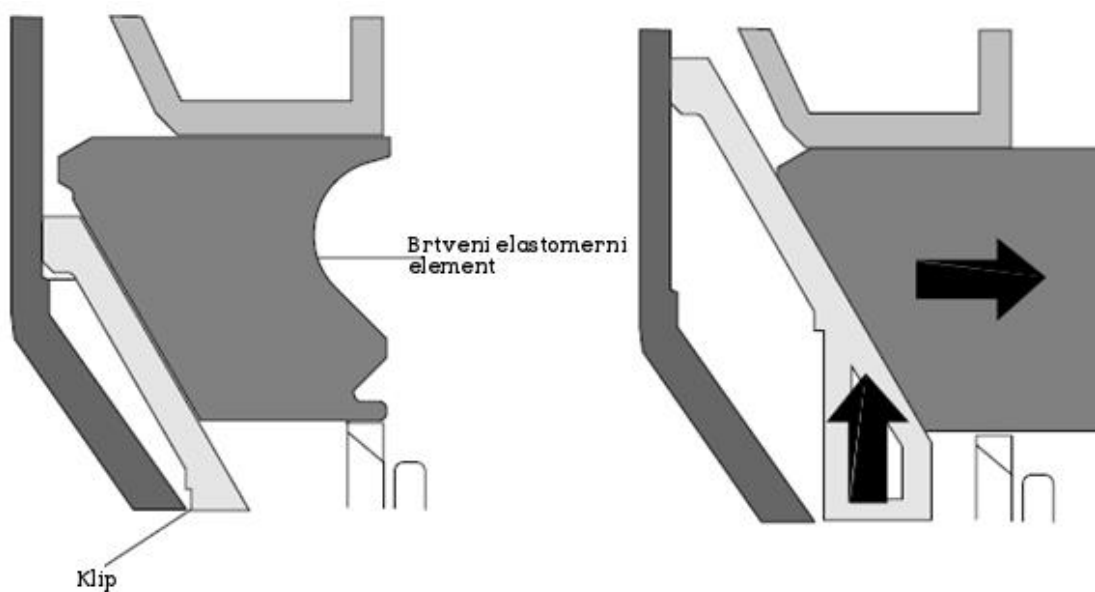
- Prirodna guma (engl. *natural rubber*)
  - koristi se kod isplaka na bazi vode i na temperaturama od -35 °C do 107 °C,
  - elastomerni element izrađen od prirodne gume je u cijelosti crne boje te se uz serijski broj dodaje kratica NR.
- Nitrilna guma (engl. *nitrile rubber*)
  - sintetički spoj, koristi se kod isplaka na bazi nafte i na temperaturama od 7 °C do 88 °C,
  - elastomerni element izrađen od nitrilne gume označava se crvenom bojom te se uz serijski broj dodaje kratica NBR.

Brtvene elemente potrebno je periodički pregledavati i po potrebi mijenjati. Kod novijih tipova preventera, zamjenu brtvenog elementa moguće je postići bez obzira na prisustvo bušačkog alata u bušotini, odnosno prolaska bušačkih šipki kroz diverter. Naime, potrebno je skinuti glavu divertera te ukloniti stari brtveni element. Novi brtveni element potrebno je ostrim i finim nožem prerezati između dva čelična umetka. Ako je rez pravilno izveden, neće imati nikakav utjecaj na funkcioniranje novog brtvenog elementa. Kao takav, novi brtveni element se može ponovo postaviti oko bušačkih šipki, spustiti u svoje sjedište unutar divertera i zatvoriti diverter.

Da bi se povećala trajnost brtvenih elemenata potrebno je odrediti najmanji tlak zatvaranja divertera kojim će se guma najmanje deformirati, a opet će osigurati potpuno brtvljenje. Još jedna prednost divertera je mogućnost izvlačenja/spuštanja alata u bušotinu kao i rotacija samog alata u kanalu bušotine kad je diverter zatvoren. To može biti vrlo korisno u slučaju dotoka plitkih plinova, ali znatno smanjuje trajnost brtvenim elementima jer se trenjem bušačkih šipki o gumu brtvenog elementa razvija toplina kojom guma gubi svoja svojstva i ubrzano se troši. Kako bi se trošenje gume kretanjem bušačkog alata svelo na što manju mjeru, tlak zatvaranja divertera potrebno je podesiti na najmanji iznos da diverter brtvi, odnosno da postoji malo propuštanje isplake koja osigurava hlađenje gume i njeno podmazivanje kako bušaći alat prolazi.

### 7.1.1. Princip rada

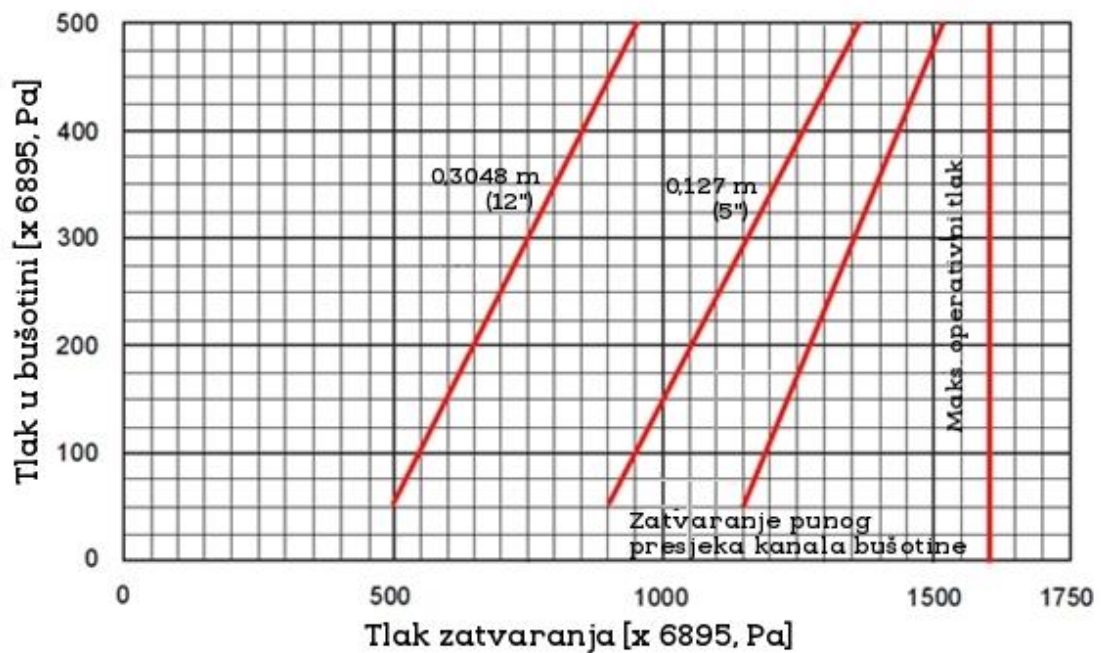
Princip rada divertera sličan je radu prstenastog preventera. Aktiviranjem divertera, tlak se iz akumulatorske jedinice, preko hidrauličnog, tlačnog voda koji je spojen na diverter, prenosi do tlačne komore divertera. Povećanje tlaka u komori za posljedicu ima podizanje klipa koji djeluje na elastomerni, brtveni element. Sve većim pritiskom klipa, a zbog svog konusnog profila, elastomerni element sve jače prianja uz stijenke bušačkih šipki sve do trenutka kad se ne ostvari potpuno brtvljenje oko alata. Na slici 7-4 je prikazana shema principa rada divertera. U slučaju da bušači alat nije u bušotini, diverter može brtviti i puni promjer.



**Slika 7-4.** Shema uzročno – posljedičnog djelovanja klipa na elastomerni element (Hydril, 2001)

Kakav će tlak, koji djeluje na klip, biti potreban za brtvljenje divertera, ovisi o prisutnosti bušačkog alata u kanalu bušotine, odnosno njihovom promjeru te o tlaku u bušotini koji nastoji odvojiti elastomerni element od bušaće šipke, odnosno nastoji smanjiti silu kojom klip djeluje na elastomerni element. Na dijagramu na slici 7-5. može se vidjeti prikaz potrebnih tlakova zatvaranja divertera u ovisnosti o bušačem alatu i tlaku u bušotini. Može se vidjeti da je tlak zatvaranja oko bušačkog alata promjera 0,3048 m (12“) gotovo dvostruko

manji, nego kod bušaćih šipki promjera 0,127 m (5"). U slučaju praznog kanala bušotine, tlak zatvaranja je najveći jer je potrebna najveća deformacija elastomernog elementa. Zaključak, što je potrebna veća deformacija elastomernog elementa, potreban je i veći tlak zatvaranja divertera. Što se tiče ovisnosti tlaka zatvaranja o tlaku u bušotini, iz grafa se može vidjeti da povećanjem tlaka u bušotini linearno raste i iznos tlaka zatvaranja divertera jer, kao što je već prije spomenuto, tlak iz bušotine nastoji razdvojiti elastomerni element od bušaće šipke, odnosno djeluje na klip vertikalno prema dolje.



**Slika 7-5.** Prikaz potrebnog tlaka zatvaranja divertera u ovisnosti o bušaćem alatu i tlaku u bušotini (Hydril, 2001)

## 8. STOL S ČELJUSTIMA ZA UGRADNJU USPONSKIH CIJEVI I POTPORNO KARDANSKO POSTOLJE

Kao što je već prije spomenuto u radu, u slučaju loših vremenskih prilika i mogućnosti nastanka havarije, niz usponskih cijevi zajedno s donjim sklopom usponskih cijevi otpaja se od bušotinske glave koja se nalazi na morskom dnu. U slučaju loših vremenskih prilika u dužem vremenskom periodu, prije je bila praksa da se nakon otpajanja cijeli niz usponskih cijevi izvuče na površinu što je za posljedicu imalo povećanje vremena kad se ne buši ili proizvodi, a samim time i povećanje troškova jer raste ukupni najam platforme i opreme. Ova tehnika se koristi i danas, ali u slučajevima ekstremnih vremenskih nepogoda kao što su uragani i sl.

S ciljem smanjenja troškova, kompanije su otkrile da vješanjem (engl. *hang off*) niza usponskih cijevi na podištu tornja mogu izbjeći povlačenje cijele duljine niza usponskih cijevi i s tom svrhom napravljeni su stol s čeljustima za ugradnju usponskih cijevi (engl. *spider*) i potporno kardansko postolje (engl. *gimbal*). Za vrijeme loših vremenskih prilika postoje tri načina vješanja niza ([www.offshore-mag.com](http://www.offshore-mag.com), 2010):

- meko vješanje pomoću nateznog sustava,
- tvrdo vješanje pomoću stola s čeljustima za ugradnju i potpornog kardana,
- kombinacija tvrdog i mekog vješanja s upotrebom specijalizirane alatke ili spojnice za vješanje.

Opcije mekog i tvrdog vješanja mogu se koristiti kad vremenske prilike nisu toliko ekstremne. Inače, koji će se način vješanja upotrijebiti ovisi o iznosu naprezanja u području odsjedanja, mogućim gibanjima niza usponskih cijevi čime može doći do sudaranja o stijenke otvora platforme (engl. *moonpool*) te posljedično tome, oštećivanju uzgonskih modula i sl. Zato se u nepogodnijim vremenskim prilikama razmatra treća konfiguracija vješanja sa specijaliziranim, pojačanim spojnicama, dodatnim kuglastim spojnicama, ili oboje.

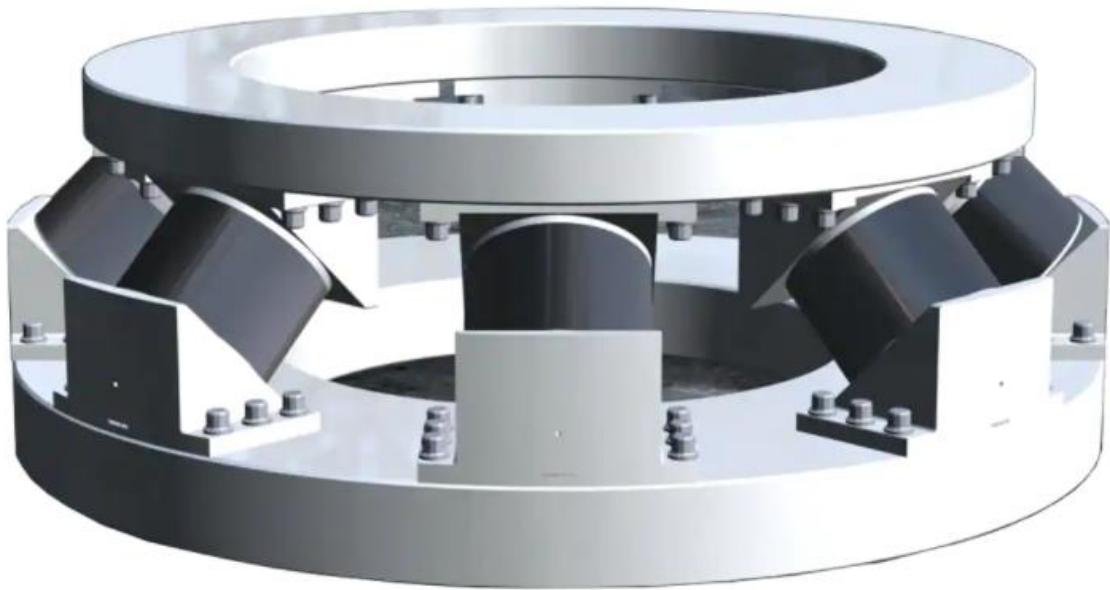
Stol s čeljustima za ugradnju usponskih cijevi je uređaj, najčešće kružnog presjeka, koji se, zajedno sa potpornim kardanskim postoljem, postavlja na vrtači stol. Sastoji se od čeljusti koje se pomoću hidrauličnog sustava mogu izvlačiti i uvlačiti. Svojim prijanjanjem na rame usponske cijevi niza služe kao potpora i pridržavaju cjelokupan niz. Na slici 8-1. može se vidjeti stol za ugradnju s čeljustima. Zajedno s potpornim kardanskim postoljem, stol s čeljustima za ugradnju proizvodi se u različitim promjerima i iznosima naprezanja koja

mogu podnijeti (engl. *hang off capacity*). Tako tvrtka Cameron nudi promjere stola tako da odgovara na vrtači stol promjera 1,26 m (49,5“), 1,54 m (60,5“) te 1,92 m (75,5“) te mogu podržavati masu do  $2,5 \times 10^6$  lb, odnosno  $1,134 \times 10^6$  kilograma (Cameron, 2017).



**Slika 8-1.** Stol s čeljustima za ugradnju niza usponskih cijevi (<https://www.nustar-tech.com>, 2012)

Potporno kardansko postolje, koje se može vidjeti na slici 8-2., gotovo se uvijek koristi u kombinaciji sa stolom za ugradnju te se nalazi ispod njega, a iznad vrtaćeg stola. Uloga potpornog kardanskog postolja, što govori i sami naziv uređaja, je da na njega nasjeda stol za ugradnju niza usponskih cijevi te da svojim sustavom ležaja preuzima dio težine niza usponskih cijevi i da apsorbira nagle i nejednolike promjene opterećenja koje djeluju na stol za ugradnju niza kao i na sam niz usponskih cijevi uslijed kretanja plovnog objekta na površini mora i loših vremenskih prilika (Bai i Bai, 2018).



**Slika 8-2.** Potporno kardansko postolje sa sustavom ležajeva (<https://ph.parker.com>, 2022)

### **8.1. Ugradnja/vađenje niza usponskih cijevi**

Stol za ugradnju niza usponskih cijevi i potporno kardansko postolje ne koriste se samo u slučajevima loših vremenskih prilika za tvrdo vješanje niza, već su neizostavne komponente tijekom procesa ugradnje ili povlačenja niza usponskih cijevi. U nastavku će u koracima biti objašnjen proces vađenja usponskih cijevi.

Početni uvjet za proces vađenja je da se plovni objekt nalazi u sigurnoj zoni te je niz usponskih cijevi obješen u stolu s čeljustima za ugradnju. Za uvlačenje usponskih cijevi u toranj i njihovo premještanje na bušaćem postrojenju koriste se hidraulične alatke za rukovanje, prikazane na slikama 8-3. i 8-4.



**Slika 8-3.** Prikaz hidraulične alatke za rukovanje usponskim cijevima na podištu tornja (Aker Solutions, 2010)



**Slika 8-4.** Smještaj hidraulične alatke za rukovanje iznad uspravljeno postavljjenih usponskih cijevi (Aker Solutions, 2010)



U nastavku slijedi opis slike 8-5., odnosno objašnjenje postupka izvlačenja niza usponskih cijevi iz mora na podište tornja po koracima:

1. korak: Svaka pojedinačna usponska cijev, na gornjem kraju, ima dva ramena za vješanje, gornje i donje. Niz usponskih cijevi potrebno je u stol s čeljustima objesiti pomoću donjeg ramena, ostavljajući gornje rame za prihvat s hidrauličnom alatkom. Jedanput kad je niz obješen u stolu s čeljustima za ugradnju niza usponskih cijevi, potrebno se s hidrauličnom alatkom spojiti na niz.

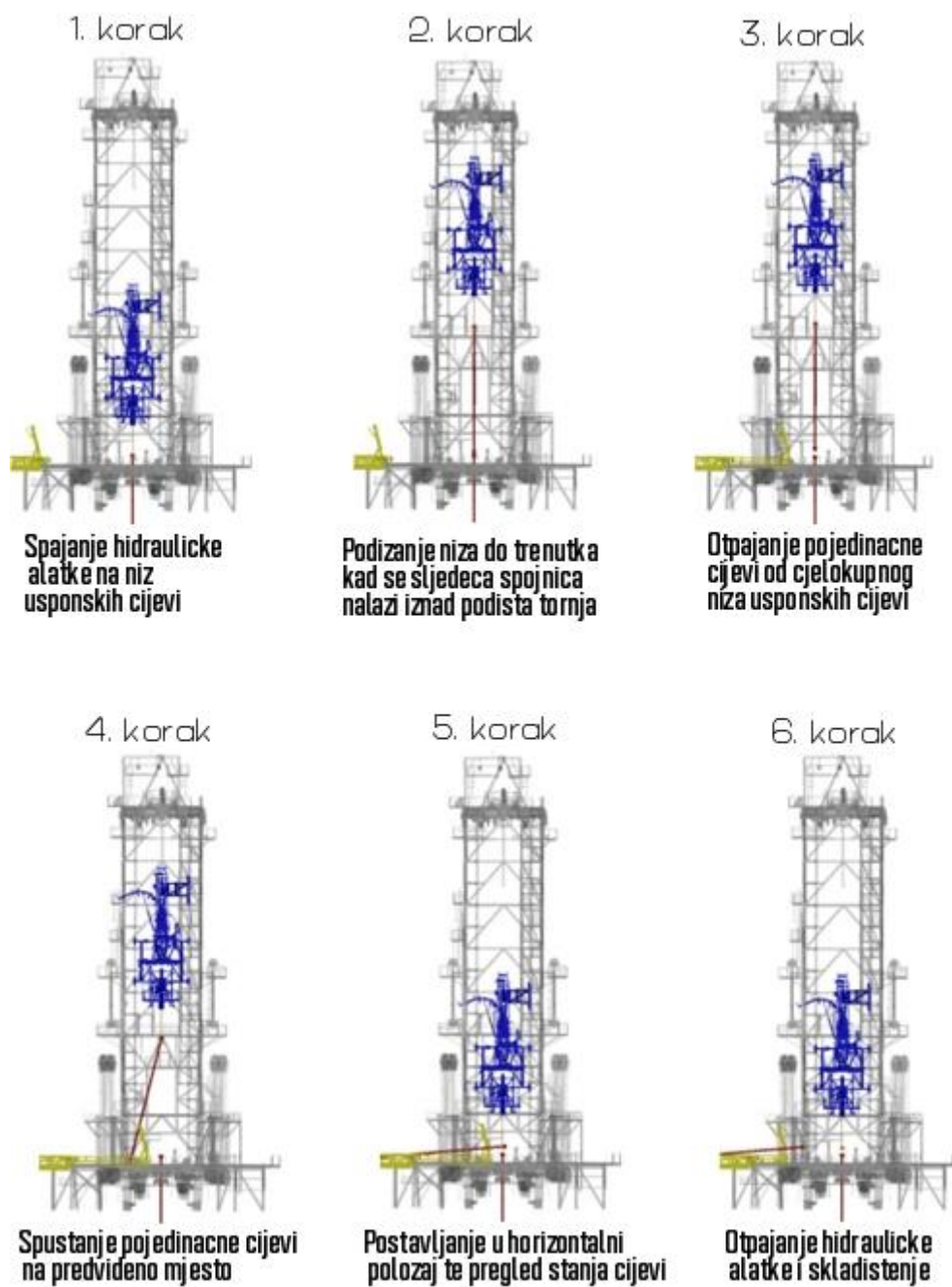
2. korak: Cijeli niz se podiže u toranj do trenutka kad se sljedeća spojnica usponskih cijevi ne nalazi otprilike 0,5 – 1 metar iznad podišta tornja. Hidraulična alatka mora biti sposobna podnijeti težinu cijelog niza. Niz usponskih cijevi potrebno je opet objesiti unutar stola.

3. korak: Pojedinačna cijev se otpaja od cjelokupnog niza usponskih cijevi. Mehaničkom rukom uređaja (engl. *catwalk machine*) zahvaća se pojedinačni element

4. i 5. korak: Pojedinačni element niza usponskih cijevi oprezno se spušta na predviđeno mjesto, u horizontalni položaj te se spojevi pregledavaju radi oštećenja, podmazuju i zaštićuju zaštitnim kapama.

6. korak: Elevator i mehanička ruka se otpajaju od pojedinačnog elementa niza usponskih cijevi nakon čega se skladišti.

Ovi koraci se ponavljaju sve do kad nije izvučena cijela duljina niza usponskih cijevi ili kad je postignuta dovoljno mala, proračunom dobivena, duljina niza usponskih cijevi koje odsjedaju u stolu s čeljustima. Na slici 8-5. može se vidjeti slikovni prikaz prije objašnjenih koraka kod izvlačenja niza usponskih cijevi (Roe Flobakk, 2012).



**Slika 8-5.** Shematski prikaz izvlačenja pojedinačnih elemenata niza usponskih cijevi po koracima (Roe Flobakk, 2012)

## 8.2. Kriterij naprezanja za vrijeme oluje

Za niz usponskih cijevi koji se koristi tijekom bušenja, maksimalna vrijednost naprezanja za vrijeme kad su cijevi otpojene, odnosno ovješene u stolu s čeljustima, prema zahtjevima standarda API RP 16Q, iznosi 67% granice elastičnosti (engl. *specified minimum yield strength*, u daljnjem tekstu SMYS). Ova vrijednost maksimalnog naprezanja ne uzima u obzir je li niz usponskih cijevi spojen na ušće bušotine ili ovješeno, kao ni različite situacije u kojima niz usponskih cijevi može biti otpojen, kao što su njegovo spuštanje/vađenje, otpajanje za vrijeme olujnog nevremena i sl. Nadalje, smatra se da je vrijednost dopuštenog naprezanja od 67% granice elastičnosti materijala premala za ekstremne uvjete kao što su olujna nevremena. Standardi API RP 2RD te ISO 13628-7 preporučuju kriterije za dimenzioniranje niza usponskih cijevi, bilo da se niz koristi u bušačim aktivnostima ili u proizvodnji, kao i za različita stanja, kao što su normalni operativni uvjeti, privremeno otpajanje ili ekstremni uvjeti preživljavanja. Budući da se otpajanje u slučaju olujnog nevremena smatra ekstremnim uvjetom, prema zahtjevima standarda API RP 2D, maksimalna vrijednost naprezanja trebala bi iznositi 80% granice elastičnosti. Prije spomenuti ISO standard, preporučuje maksimalnu vrijednost naprezanja za nizove usponskih cijevi koji se koriste kod opremanja bušotine (engl. *completion*) ili održavanja (engl. *workover*) te ona iznosi 100% granice elastičnosti.

Prema svemu navedenom, za sve vrste sustava niza usponskih cijevi (bušaće aktivnosti, opremanje bušotina, održavanje bušotina) može se uzeti srednja vrijednost od 80% granice elastičnosti, kao maksimalna vrijednost naprezanja za vrijeme olujnog nevremena (<https://www.offshore-mag.com>, 2010).

## 9. ZAKLJUČAK

Integrirana i hermetična veza plovnog objekta na površini mora i ušća bušotine na dnu mora jedna je od najbitnijih zadataka niza usponskih cijevi. Kako bi stvar bila kompliciranija, iscrpljivanjem starih ležišta ugljikovodika, operacije istražnih bušenja obavljaju se u sve nepristupačnijim područjima, odnosno sve većim dubinama mora te u sve nepogodnijim ležišnim uvjetima tlaka i temperature. Iz tog razloga velika se pažnja posvećuje projektiranju niza koji predstavlja jedan od fundamentalnih i tehnički najzahtjevnijih dijelova projekta bušotine.

Za olakšavanje i ubrzavanje procesa dizajniranja niza, u obzir se mogu uzeti „standardizirani“ i ranije primijenjeni sustavi niza usponskih cijevi koji su se koristili u sličnim regijama, dubinama mora, uvjetima u bušotini i sl.

Niz usponskih cijevi nalazi se u moru tijekom cijelog životnog vijeka polja. Stoga, mora biti sposoban prilagoditi se teškim uvjetima rada kao što su nepogodni maritimni uvjeti, okruženje visokih temperatura i tlakova, uvjeti korozije i sl. U svijetu djeluje nekoliko organizacija koje propisuju minimalne zahtjeve putem standarda ili preporuka koje bi oprema korištena u takvim uvjetima morala ispunjavati, a sve s ciljem povećanja sigurnosti ljudi i okoliša, ali i povećanju operativnih mogućnosti.

Proizvođači opreme svakim danom, korištenjem novih materijala, tehnologija i saznanja, nastoje unaprijediti dosadašnje proizvode koji se koriste u različitim operacijama da budu što pouzdaniji, trajniji i sigurniji, osiguravajući kompanijama, koje ih koriste, sve veću sigurnost za njezine radnike i okoliš te povećanje efikasnosti određenih postupaka.

## 10. LITERATURA

1. AIRD, P., 2019. *Deepwater Drilling*, Gulf Professional Publishing
2. AKER SOLUTIONS, 2010. *Aker Drilling Riser Brazil*
3. AMERICAN BUREAU OF SHIPPING - ABS, 2017. *Drilling Riser Analysis*, Houston, SAD
4. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE - API, 1993. *Recommended Practice for Design, Selection, Operation and Maintenance of marine Drilling Riser Systems (API RP 16Q)*, Washington, SAD
5. BAI, Y., BAI, Q., 2018. *Subsea Engineering Handbook, 2nd edition*, izd: Gulf Professional Publishing
6. CAMERON, 2017. *Drilling Products Overview*
7. CHAKRABARTI, S., 2005. *Handbook of Offshore Engineering (2-volume set)*, izd: Elsevier
8. CRUMPTON, H., 2018. *Well control for completions and interventions*, izd: Gulf Professional Publishing
9. DRILL-QUIP, 2014. *Rapid Deploy Marine Drilling System*, SAD
10. GUESNON, J., GAILLARD, C., RICHARD, F. 2002. *Ultra deep water drilling riser design and relative technology*, *Oil & Gas Science and Technology*, 57(1), 39-57.
11. HYDRIL, 2001. *Operator's Manual MSP 29 ½" – 500 psi Diverter*
12. KRIŠTAFOR, Z., 2021. *Usponske cijevi. Bilješke s predavanja iz kolegija Aktivnosti u akvatoriju*, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
13. LAIK, S., 2018. *Offshore Petroleum Drilling and Production*, izd: CRC Press (Taylor & Francis Group)
14. LIMA, A.J., SIMPSON, P.J., 2019. *Deepwater riser systems—historical review and future projections*, OTC-29787-MS
15. MUSTHAUS, K., 2018. *Brodovi za bušenje*, diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
16. NATIONAL OILWELL VARCO - NOV, 2011. *Dual Wireline Riser Tensioners*
17. OIL STATES INDUSTRIES, 2010. *Technical Manual for Subsea FlexJoints*, TM-001, Rev. H, Texas, SAD
18. OIL STATES INDUSTRIES, 2015a. *Technical Manual for Subsea FlexJoint Assembly*, Texas, SAD

19. OIL STATES INDUSTRIES, 2015b. *Technical Manual for Diverter II FlexJoint Assembly*, Texas, SAD
20. OIL STATES INDUSTRIES, 2019. *Offshore FlexJoint Technology*, Texas, SAD
21. ROE FLOBAKK, F., 2012. *Design of a Riser Equipment Handling System for a Well Intervention Unit*, izd: Norwegian University of Science and Technology
22. UPTON, L. T., 2009. *Improving the Reliability of Slip Joint Packer Systems*, izd: ExxonMobil Development Company

WEB IZVORI:

23. CRP SUBSEA, 2022. *Drill Riser Buoyancy Module Helically Grooved*  
URL:<https://www.crpsubsea.com/products/product-families/buoyancy-floats/drill-riser-buoyancy/drill-riser-buoyancy-module-helically-grooved/> (16.12.2021.)
24. DRILLINGFORMULAS, 11.10.2021. *Introduction to Diverters in Well Control*  
URL:<https://www.drillingformulas.com/introduction-to-diverters-in-well-control> (23.9.2021.)
25. ISTOCKPHOTO, 27.3.2011. *Oil Rig Riser and slip joint*  
URL:<https://www.istockphoto.com/photo/riser-and-slip-joint-on-drillship-gm183801139-1609563> (17.10.2021.)
26. KOMACHINE CO., 2021. *Drilling Solutions – Drill Riser Buoyancy Modules*  
URL:<https://www.komachine.com/en/companies/shinyang-technology/products/38278-Drilling-Solutions---Drill-Riser-Buoyancy-Modules> (25.8.2021.)
27. MEGA DEPOT, 2022. *A Guide to Types of Valves*  
URL: <https://megadepot.com/resource/a-guide-to-types-of-valves> (17.10.2021.)
28. NUSTAR TECHNOLOGIES, 2012. *Project – Scientific & Mining*,  
URL: [https://www.nustar-tech.com/Project\\_Jamstec1.html](https://www.nustar-tech.com/Project_Jamstec1.html) (8.6.2021.)
29. OFFSHORE MAGAZINE, 1.4.2010. *Analysis of drilling risers in harsh and deepwater environments*  
URL:<https://www.offshore-mag.com/rigs-vessels/article/16763767/analysis-of-drilling-risers-in-harsh-and-deepwater-environments> (9.10.2021.)
30. PARKER HANNIFIN CO., 2022. *Gimbals and gimbal bearings assembly*  
URL: <https://ph.parker.com/us/17577/en/gimbals-and-gimbal-bearing-assembly> (15.11.2021.)
31. YOUTUBE, 2009. *SS Flex Joint 2*

URL:[https://www.youtube.com/watch?v=RPIOBkY9KaA&ab\\_channel=pitglassiejohn](https://www.youtube.com/watch?v=RPIOBkY9KaA&ab_channel=pitglassiejohn)  
n (15.10.2021.)

## IZJAVA

*Izjavljujem da sam ovaj diplomski rad pod naslovom “Komponente niza usponskih cijevi”  
izradio samostalno na temelju znanja stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu  
služeći se navedenom literaturom.*

*Božić*

---

Dominik Božić





KLASA: 602-01/22-01/7  
URBROJ: 251-70-12-22-2  
U Zagrebu, 10.02.2022.

**Dominik Božić, student**

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/7, URBROJ: 251-70-12-22-1 od 11.01.2022. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

### KOMPONENTE NIZA USPONSKIH CIJEVI

Za mentora ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Izv.prof.dr.sc. Borivoje Pašić nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i komentora Dr.sc. Petar Mijić.

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)

Komentor:

(potpis)

Dr.sc. Petar Mijić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)