

# Spojnice u nizu usponskih cijevi

## Marine Riser

**Dominik Božić, mag. ing. petrol.**  
bozic.dominik97@gmail.com

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

**prof. dr. sc. Zdenko Krištafor**  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet,  
Sveučilište u Zagrebu  
zdenko.kristafor@rgn.hr



**Ključne riječi:** odobalne aktivnosti, bušenje, niz usponskih cijevi, kuglasta spojnica, teleskopska spojnica

**Key words:** offshore activities, drilling, marine riser, flex joint, telescopic joint



### 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.



### 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 po-

ssibility 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.

## 1. Uvod

Od samih početaka uvidjelo se da su aktivnosti u akvatoriju zahtjevnije od operacija koje se izvode na kopnu. Kako se je kroz godine povećavala dubina mora u kojem su se izvodile operacije te duljina kanala bušotina, usložnjavali su se i zahtjevi za projektiranjem izvođenja procesa bušenja, zacjevljivanja kanala i sl. Također su se povećali zahtjevi za sigurnošću, kako ljudi tako i okoliša, jer su se operacije obavljale u sve zahtjevnijim vremenskim uvjetima te nepogodnijem okruženju tlaka i temperature. S pojavom dinamički pozicioniranih postrojenja, kao što su poluuronjive platforme ili brodovi za bušenje, javila se potreba za ostvarivanjem sigurne veze postrojenja s dnom mora.

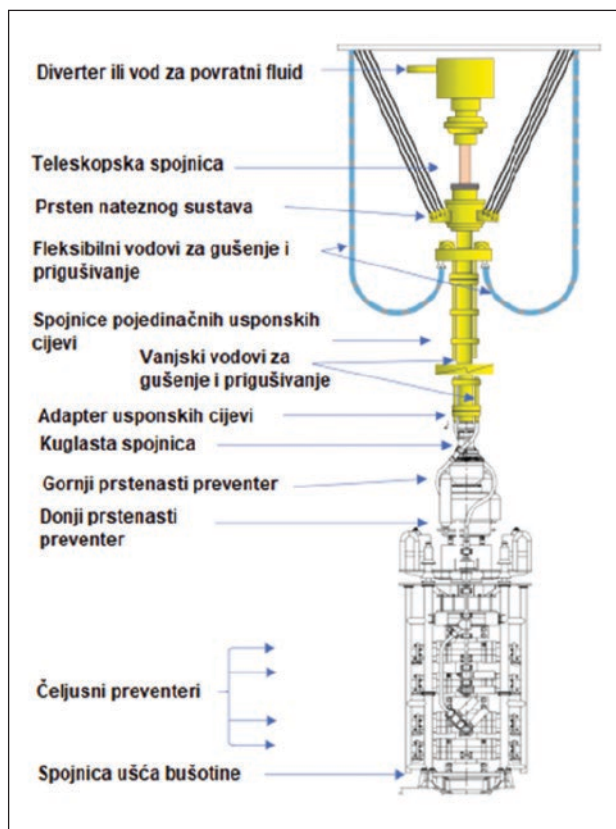
Za svaku odobalnu aktivnost, projektiranje sastava niza usponskih cijevi predstavlja jedan od fundamentalnih i tehnički najzahtjevnijih dijelova projekta. Nekoliko je razloga tome. Činjenica je da niz usponskih cijevi predstavlja vezu između plovnog objekta koji se nalazi na površini mora te ušća bušotine koje se nalazi na morskom dnu. Ukoliko dođe do prekida veze, velika je mogućnosti nastanka havarije čime

je ugrožena sigurnost ponajprije ljudi, zatim okoliša, oštećenje opreme uz prateće velike troškove za kompaniju. Zbog toga niz usponskih cijevi treba biti dizajniran na način da cijeli životni vijek naftnog i/ili plinskog polja, mora udovoljiti raznim dinamičkim maritimnim uvjetima i naprezanjima uslijed izvođenja raznih operacija te osigurati integritet i hermetičnost bušotine (Lima i Simpson, 2019).

U radu su navedene i opisane spojnice i spojni elementi niza usponskih cijevi kojima se tijekom projektiranja posebno posvećuje pažnja. Pritom se misli ne samo na komponente koje omogućuju međusobno povezivanje pojedinačnih usponskih cijevi, već i na komponente koje dozvoljavaju sve vrste prostornog pomaka i odstupanja u najnepovoljnijim hidrometeorološkim uvjetima zadržavajući integritet niza usponskih cijevi, ali i mogućnost njihova brzog otpajanja za slučaj hitnih i izvanrednih okolnosti.

## 2. Kuglasta spojnica

Uobičajena konfiguracija veze između bušačeg plovnog objekta i ušća bušotine sa sastavnim dijelovima o kojima će biti riječi u daljnjem tekstu prikazana je na slici 1.



Slika 1. Uobičajena konfiguracija veze između bušačeg plovnog objekta i ušća bušotine na dnu mora (prilagođeno prema DRILLING MARINE RISER COMPONENTS)

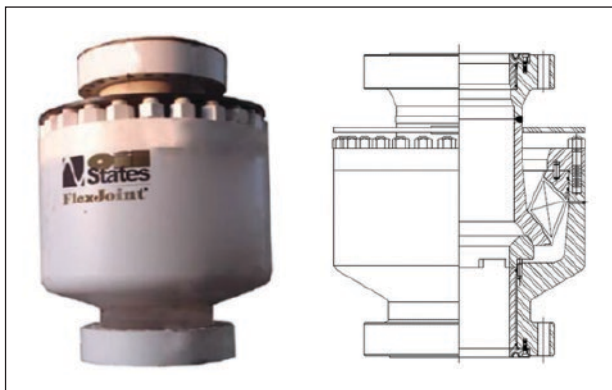
Kuglasta spojnica, kao inovativna komponenta niza usponskih cijevi, u naftnoj industriji pojavila se 80-ih godina prošlog stoljeća. Od tada je postala neizostavna komponenta u raznovrsnim odobalnim operacijama kao dio robusne, „mobilne“ i izdržljive veze između dinamički pozicioniranog objekta koji se nalazi na površini mora, kao što je poluuronjiva platforma ili bušači brod, te ušće bušotine koje se nalazi na morskom dnu.

Svrha kuglaste spojnice je da dopušta kutno odstupanje/pomak niza usponskih cijevi u odnosu na vertikalnu os. U sustavu usponskih cijevi uobičajeno se nalaze dvije kuglaste spojnice, međutim, postoje i 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).

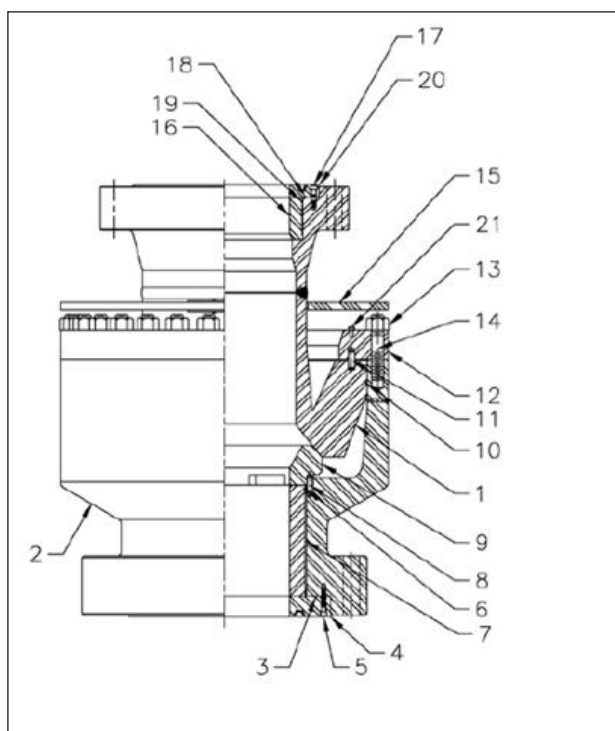
### 2.1. Donja kuglasta spojnica

Donja kuglasta spojnica ili fleksibilna spojnica nalazi se između preventerskog sklopa, odnosno donjeg sklopa sustava usponskih cijevi (engl. *Lower Marine Riser Package – LMRP*) i prijelazne spojnice za usponske cijevi. Njezina zadaća je da osigura čvrstu i nepropusnu vezu usponskih cijevi i preventerskog sklopa (engl. *BlowOut Preventer – BOP*) koji se nalazi na morskom dnu uz osiguranje hermetičnosti i dopuštanja kutnog odstupanja niza usponskih cijevi od vertikalne osi, uobičajeno od 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 zakretanje samog niza usponskog 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 prikazan je vanjski izgled donje kuglaste spojnice koja se nalazi iznad preventera, dok će njezina unutarnja građa biti prikazana u nastavku.

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, smješteni su elementi savit-



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



Slika 3. Prikaz unutarnjih dijelova podvodne kuglaste spojnice (Oil States Industries, 2015a)

lživog 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 (Oil States Industries, 2010). Takav dizajn ležaja omogućuje trajnost, odnosno dugi životni vijek kuglaste spojnice koja je podvrgnuta naprezanjima 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). Slika 3 prikazuje unutarnje dijelove donje kuglaste spojnice pri čemu su prije spomenuti elementi koji omogućuju kutni otklon niza usponskih cijevi od vertikalne ravnine označeni brojem 1.

#### 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. zatik 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. proturotacijski zatik (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 4 je sljedeća spojnica koja se može nalaziti u nizu usponskih cijevi. Njezina uloga je da osigura čvrstu vezu između usponskih cijevi i divertera te da dozvoli otklon usponskih cijevi od vertikalne osi od maksimalno 15° bez opasnosti od oštećenja opreme i nastanka nekontroliranog stanja.

Gornja kuglasta spojnica sastoji se od kućišta koje se kroz unapređenja i nova tehnološka rješenja sve više smanjuje, a sposobno je podnositi sve veća aksijalna opterećenja i radne tlakove koji mogu iznositi i do 35 bar. 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



Slika 4. Gornja kuglasta spojnica (engl. diverter flexible joint) na bušačem brodu (<https://www.youtube.com/watch?v=RPIOBK9KaA>)

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 5, je kuglasta spojnica koja na oba svoja kraja ima prirubničke spojeve. Uz gornju i donju kuglastu spojnicu, može se, ali ne mora nalaziti



Slika 5. Srednja fleksibilna spojnica (Oil States Industries, 2019)

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, koja će detaljnije biti opisana u nastavku.

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

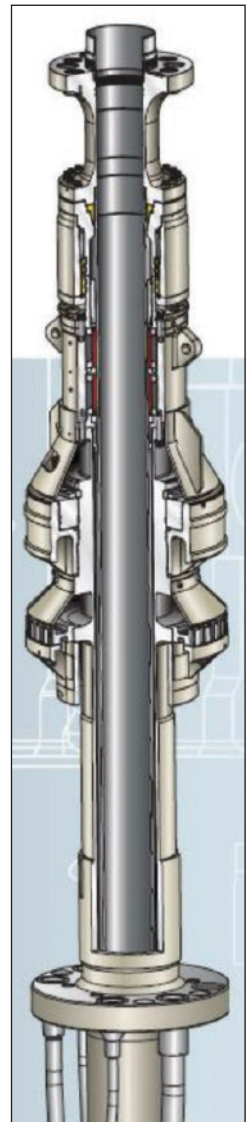
## 3. Teleskopska spojnica

Teleskopska spojnica (engl. *telescopic joint; slip joint*) s nateznom sustavom čini gornji dio sustava niza usponskih cijevi koji omogućuje hermetičnu i sigurnu vezu gornjeg dijela niza s platformom. 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 njene gornje strane, kojoj 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 slici 6 i 7 su prikazi teleskopskih spojnica. Može se 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 njoj je instaliran prsten za ovjes (engl. *tensioning ring*) preko kojeg se vanjska cijev, sustavom za natezanje, povezuje za plovni objekt na površini



Slika 6. Shematski prikaz teleskopske spojnice (Drill-Quip, 2014)

mora. Sustavom za natezanje neprekidno se ostvaruje relativno konstantna vlačna sila na niz usponskih cijevi. Unutarnja cijev (engl. *inner barrel*) koja je gornja komponenta sustava teleskopske spojnice, 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 3/4"). 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). Oni izvana brtve unutrašnju cijev osiguravajući integritet sklopa usponskih cijevi tijekom vertikalnog gibanja postrojenja (Crumpton, 2018).

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 rastegnutos spojnice (engl. *maximum stroke*);
- duljina 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 na zraku (engl. *outer barrel weight in air*);
- masa vanjske cijevi u vodi (engl. *outer barrel weight in water*);
- ukupna masa teleskopske spojnice na 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 u skupljenom položaju, ako postoji (engl. *tension limit when collapsed, if any*);



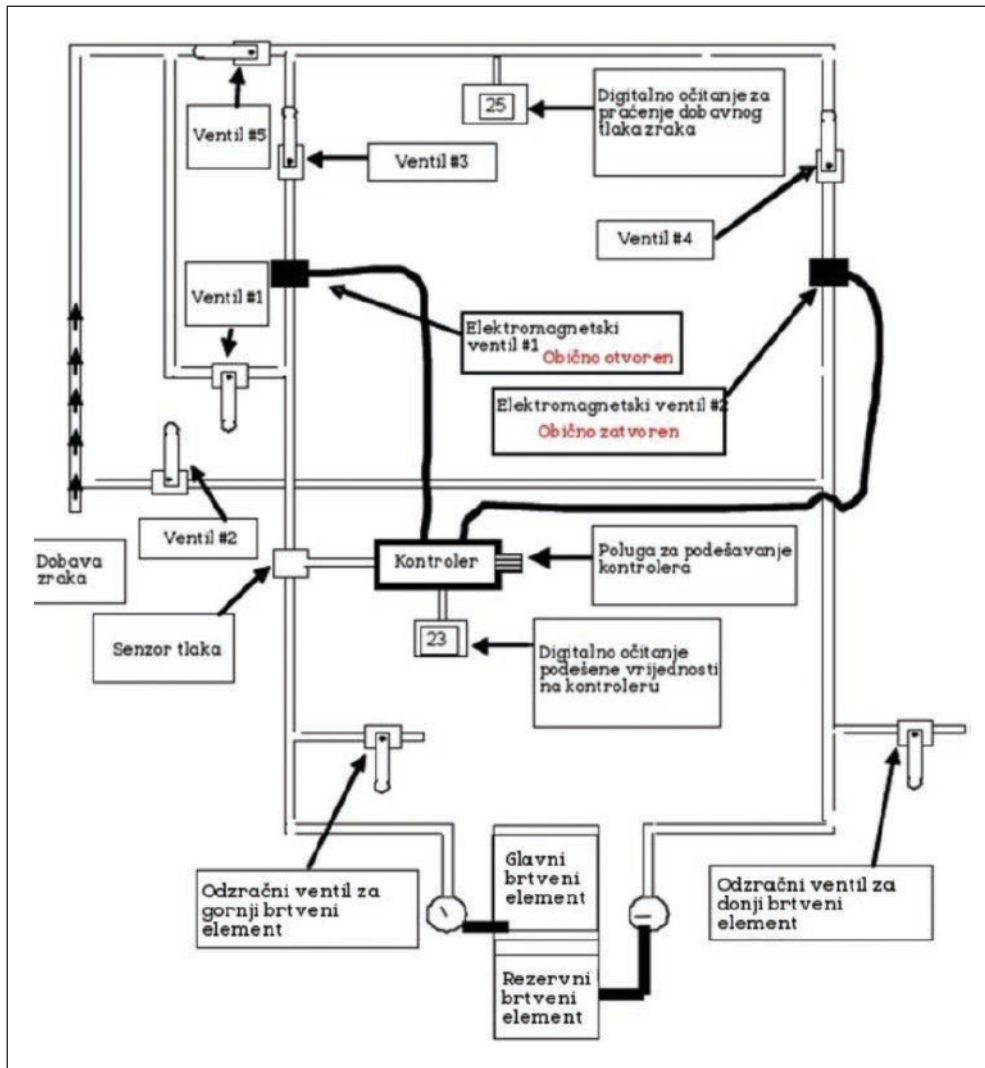
Slika 7. Prikaz teleskopske spojnice u radnom okruženju (www.istockphoto.com, 2011)

- granično naprezanje u rastegnutom položaju, ako postoji (engl. *tension limit when fully stretched, if any*).

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*), pri čemu 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, obvezna je praksa da mora postojati automatski rezervni sustav koji osigurava tlak za sekundarni (donji) brtveni element za slučaj zakazivanja primarnog sustava, od-



Slika 8. Prikaz sheme cjelokupnog sustava teleskopska spojnice – tlačni sustav (Upton, 2009)

nosno kad se na primarnom brtvenom elementu uoči određeni, prethodno definirani, pad tlaka. Rezervni sustav automatski aktivira sekundarni brtveni ele-



Slika 9. Nejednoliko potrošen brtveni element teleskopske spojnice (Upton, 2009)

ment. 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 inertni plin (dušik) ili hidraulični fluid, neovisne o primarnom tlačnom sustavu. Shema cijelog tlačnog sustava prikazana je na slici 8.

Unutar teleskopske spojnice postoje prstenovi za habanje (engl. wear rings) koji su ugrađeni u vanjsku cijev, a služe kao centralizatori 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 nejednalog 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 9. 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 10. Uklanjanje korozije s unutarnje cijevi i tretiranje zaštitnim premazom (Upton, 2009)

Sljedeći razlog nepotpune funkcionalnosti teleskopske spojnice je da površina unutarnje cijevi s vremenom nije više toliko glatka. Uzroci tomu mogu biti ili korozija unutarnje cijevi ili mehanička oštećenja nastala tijekom vremena 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 10).

S vremenom su se razvile određene preporuke i prakse kojih se danas pridržava većina kompanija, kao 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 u sustav teleskopske spojnice:

- 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*);

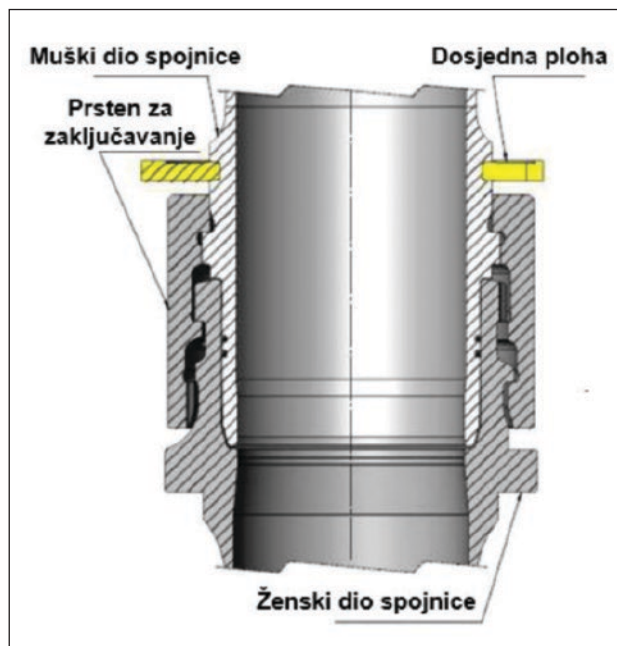
- svaki put kod ugradnje potrebno je pregledati stanje površine unutarnje cijevi te ju tretirati zaštitnim premazom;
- djelovanje automatskog rezervnog sustava za aktiviranje sekundarnih brtvi potrebno je periodički pregledavati;
- tlak zatvaranja brtvenih elemenata potrebno je podesiti na vrijednost 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 tijekom vremena ili zbog povećanja gustoće isplake.

#### 4. Spojnice pojedinačnih cijevi

Niz usponskih cijevi, koji predstavlja vezu platforme/bušaćeg 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 da niz usponskih cijevi podnosi velika opterećenja, potrebno je pomno odabrati dimenzije usponskih cijevi odnosno 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, u određenom smislu, pokušava održavati u ravnoteži rizik mogućeg oštećenja niza usponskih cijevi i posljedično tome ispuštanje u more te 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. Deblji-



Slika 11. Prikaz spojnice s čeljustima za spajanje pojedinačnih cijevi (Aker Solutions, 2010)

na 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 naprezanja 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 naprezanja te dubina mora, s kojom je tlak gnječenja sve veći (Aird, 2019). Odabir minimalne debljine stijenke najčešće se radi u skladu sa zahtjevima koje propisuje 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 spojnica 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 11. Takva spojnica sastoji se od 3 kovana elementa, odnosno dvorednih kovanih čeljusti (engl. *dog type*) koje su raspoređene tako da pokrivaju puni krug od 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 razmatrati njihovu jediničnu težinu na zraku kao i težinu u vodi. S povećanjem dubine povećava se i hidrostatski 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.

#### 4.1. Pomoćni vodovi

Na slikama 12 i 13 može se vidjeti da su za glavnu pojedinačnu cijev usponskog niza pričvršćeni pomoćni vodovi (engl. *auxiliary lines*) koji 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 13.

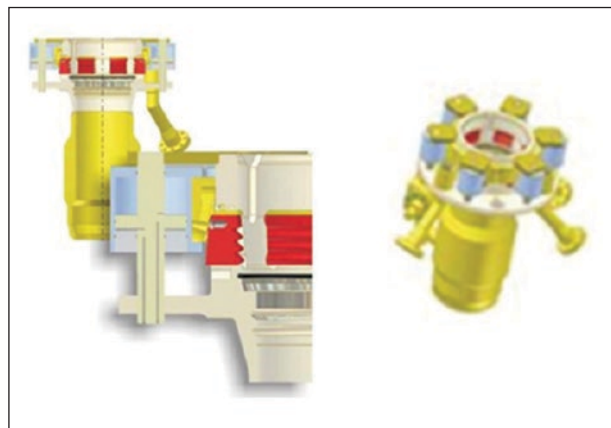
Pomoćni vodovi se također, kao i pojedinačne usponske cijevi, spajaju „stab-in“ spojnica, odnosno ubodnim/usadnim spojnica, koje omogućuju brzo spajanje. Ženski dio spojnice (engl. *the box*) sa-





Slika 12. Prikaz usponskih cijevi i pridruženih vodova (Krištafor, 2021)

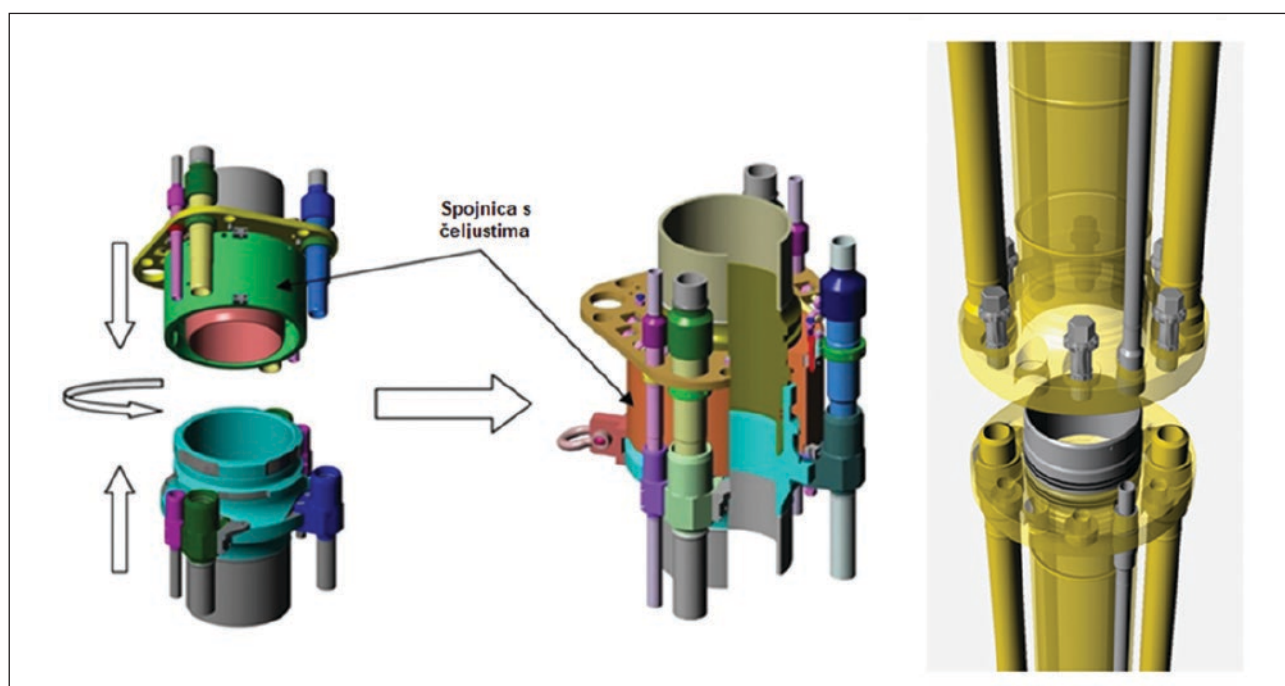
stoji se od elastomernog elementa u koji ulazi muški dio spojnice (engl. *the pin*) koji je glatke površine i sastoji se od materijala otpornog na abraziju. Nakon što se primijeni tlak, elastomerni element prianja uz muški dio spojnice i na taj način se ostvaruje hermetičan spoj.



Slika 14. Prikaz spoja/spojnice za povezivanje usponskih cijevi s kuglastom spojnicom (<https://patents.google.com/patent/US20120222865>)

#### 4.2. Spojnica (adapter) usponskih cijevi

Adapter (spojnica) usponskih cijevi (slika 14) prema potrebi povremeno omogućuje povezivanje ili oslobađanje sklopa usponskih cijevi s podvodnim sklopom ušća bušotine. To se postiže aktiviranjem hidrauličkog sklopa za zahvaćanje i otpuštanje donjeg kraja usponskih cijevi. Adapter također uključuje upravljačku ploču koja je komunikacijski povezana sa sklopom za zahvat kako bi se uhvatio ili oslobodio donji dio usponskih cijevi. Izveden je također priključak za dobavu dodatnog tlaka hidrauličkog fluida korištenjem, po potrebi, daljinski upravljane podvodne ronilice (engl. *Remotely Operated Vehicle – ROV*).



Slika 13. Prikaz međusobnog spoja dviju usponskih cijevi i pomoćnih vodova (Krištafor, 2021)

## 5. Zaključna razmatranja

Integrirana i hermetična veza plovnog objekta na površini mora i ušća bušotine na dnu mora jedna je od najbitnijih zadaća niza usponskih cijevi. Iscrpljivanjem ležišta na aktivnim eksploatacijskim poljima ugljikovodika, operacije istražnih bušenja obavljaju se u sve nepristupačnijim područjima, odnosno sve većim dubinama mora te u sve nepogodnijim uvjetima ležišnih tlakova i temperatura. Iz tog razloga velika se pažnja posvećuje projektiranju niza koji predstavlja jedan od fundamentalnih i tehnički najzahtjevnijih dijelova projekta bušotine.

Niz usponskih cijevi sa svim svojim komponentama mora biti sposoban prilagoditi se teškim uvjetima rada. Spojnice odnosno različite spojne komponente niza usponskih cijevi preduvjet su ostvarivanja čvrste i pouzdane veze. Pravilno odabrane i instalirane

kompenziraju sve pomake dinamički pozicioniranih plutajućih postrojenja kao i posljedična inducirana naprezanja u nizu usponskih cijevi i samim spojnim elementima, smanjujući istodobno neproduktivno vrijeme na najmanju moguću mjeru. U svijetu djeluje nekoliko organizacija koje putem standarada ili preporuka propisuju minimalne zahtjeve koje bi oprema korištena u takvim uvjetima morala ispunjavati, a sve s ciljem povećanja sigurnosti ljudi i okoliša, ali i povećanja 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.

## Literatura

1. AIRD, P., 2019. *Deepwater Drilling*, Elsevier, Imprint Gulf Publishing Company, pp 675.
2. AMERICAN BUREAU OF SHIPPING – ABS, 2017. *Drilling Riser Analysis*, Houston, SAD
3. BAI, Y., BAI, Q., 2018. *Subsea Engineering Handbook, 2nd edition*, Elsevier, Gulf Publishing Company, pp 968.
4. CHAKRABARTI, S., 2005. *Handbook of Offshore Engineering (2-volume set)*, Elsevier publications, pp 700.
5. CRUMPTON, H., 2018. *Well control for completions and interventions*, Elsevier, Gulf Publishing Company, pp 826.
6. KRIŠTAFOR, Z., 2021. *Usponske cijevi. Presentacija s predavanja iz kolegija Aktivnosti u akvatoriju*, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
7. LIMA, A. J., SIMPSON, P. J., 2019. *Deepwater riser systems—historical review and future projections*, OTC Brasil, Rio de Janeiro, October 29-31., paper OTC-29787-MS, pp 14.
8. OIL STATES INDUSTRIES, 2010. *Technical Manual for Subsea FlexJoints*, TM-001, Rev. H, Texas, SAD
9. OIL STATES INDUSTRIES, 2015a. *Technical Manual for Subsea FlexJoint Assembly*, Texas, SAD
10. OIL STATES INDUSTRIES, 2015b. *Technical Manual for Diverter II FlexJoint Assembly*, Texas, SAD
11. OIL STATES INDUSTRIES, 2019. *Offshore FlexJoint Technology*, Texas, SAD
12. UPTON, L. T., 2009. *Improving the Reliability of Slip Joint Packer Systems*,; SPE/IADC, Drilling Conference and Exhibition, Amsterdam, Netherland 17-19 March 2009. Texas, paper SPE/IADC 119292., pp 5.

## Web izvori

1. AKER SOLUTIONS, 2010. Aker Drilling Riser Brazil (<https://docplayer.net/21696563-Aker-drilling-riser-brazil.html>, 22.3.2022.)
2. DRILLING MARINE RISER COMPONENTS, 12.3.2022. <https://www.google.com/search?q=drilling+marine+riser+components&tbm>
3. DRILL-QUIP, 2014. *Rapid Deploy Marine Drilling System*, SAD (05. Rapid Deploy Marine Drilling Riser System. pdf (dril-quip.com), 22.3.2022.)
4. ISTOCKPHOTO, 27.3.2011. *Oil Rig Riser and slip joint*
5. URL: <https://www.istockphoto.com/photo/riser-and-slip-joint-on-drillship-gm183801139-1609563> (17.10.2021.)
6. YOUTUBE, 2009. *SS Flex Joint 2*
7. DRILLING RISER ADAPTER CONNECTION WITH SUBSEA FUNCTIONALITY, 12.3.2022. <https://patents.google.com/patent/US20120222865>