

Odobalna postrojenja za proizvodnju, skladištenje i iskrcaj nafte

Jovanović, Karlo

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:459676>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-04**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Prije diplomski studij naftnog rudarstva

**ODOBALNA POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU, SKLADIŠTENJE I ISKRCAJ
NAFTE**

Završni rad

Karlo Jovanović

N4486

Zagreb, 2024

ODOBALNA POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU, SKLADIŠTENJE I ISKRCAJ NAFTE

Karlo Jovanović

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

Sažetak

Porast potražnje za naftom i naftnim derivatima utjecao je na proširenje područja istraživanja s kopna na more. Istraživanje dubljih dijelova mora i oceana rezultiralo je otkrivanjem većeg broja manjih naftnih polja. Razvoj tehnologije za privođenje takvih naftnih polja eksploataciji rezultiralo je razvojem odobalnih postrojenja za proizvodnju, skladištenje i iskrcaj nafte. Korištenjem takvih postrojenja smanjeni su troškovi proizvodnje i obrade nafte, a mogućnost prekrcanja nafte na tankere utjecala je na povećanje broja naftnih tankera većih dimenzija i veće nosivosti.

Ključne riječi: FPSO, proizvodnja, skladištenje, iskrcaj, nafta, tanker

Završni rad sadrži: 25 stranica, 1 tablicu, 18 slika i 17 referenci .

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentori: Dr. sc. Katarina Simon, redovita profesorica RGNf-a

Pomagao pri izradi/komentor: Dr. sc. Katarina Žbulj

Ocjenjivači: Dr. sc. Katarina Simon, redovita profesorica RGNf-a
Dr. sc. Borivoje Pašić, izvanredni profesor RGNf-a
Dr. sc. Karolina Novak Mavar, izvanredna profesorica RGNf-a

Datum obrane: 17. svibnja 2024., Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu

SADRŽAJ

| | |
|---|------------|
| POPIS SLIKA | II |
| POPIS TABLICA | III |
| POPIS KRATICA..... | IV |
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. ODOBALNA POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU, SKLADIŠTENJE I ISKRCAJ NAFTE | 2 |
| 2.1 Funkcije odobalnih postrojenja..... | 4 |
| 2.2. Izgradnja FPSO postrojenja..... | 7 |
| 2.3. Sigurnost odobalnih postrojenja | 8 |
| 3. NAČIN RADA POSTROJENJA..... | 9 |
| 3.1. Primarni sustavi procesnog postrojenja..... | 14 |
| 3.1.1 Sustav za separaciju i obradu nafte | 14 |
| 3.1.2. Sustavi neophodni za samostalan rad postrojenja | 14 |
| 3.2. Način i sustav sidrenja postrojenja..... | 16 |
| 4. TANKERI ZA PRIJEVOZ NAFTE..... | 19 |
| 4.1 Podjela tankera..... | 20 |
| 4.2 Tankeri za prijevoz nafte i naftnih derivata..... | 21 |
| 5. ZAKLJUČAK | 23 |
| 6. POPIS LITERATURE..... | 24 |

POPIS SLIKA

| | |
|--|----|
| Slika 2-1. Prikaz povećanja broja odobalnih postrojenja s godinama | 3 |
| Slika 2-2. Odnos broja FPSO postrojenja i dubine vode na kojoj se mogu primijeniti | 3 |
| Slika 2-3. Kombinacija odobalnog postrojenja i fiksne konstrukcije bez pogona | 4 |
| Slika 2-4. Odobalno postrojenje za proizvodnju, skladištenje i iskrcaj nafte | 5 |
| Slika 2-5. Prikaz fiksne veze između tankera i postrojenja..... | 6 |
| Slika 2-6. Sustav istovara nafte fleksibilnim crijevom na površini mora | 6 |
| Slika 2-7. Prikaz procjene rizika za FPSO postrojenja sa smrtnim posljedicama..... | 8 |
| Slika 3-1. Primjer FPSO usidrenog postrojenja između dva polja | 9 |
| Slika 3-2. Prikaz palubnih objekata odobalnog postrojenja..... | 10 |
| Slika 3-3. Prikaz separacije proizvedenog fluida | 13 |
| Slika 3-4. Sustav obrade proizvodne vode..... | 15 |
| Slika 3-5. Sustav spaljivanja plina na baklji..... | 15 |
| Slika 3-6. Prikaz odabira sustava sidrenja ovisno o dubini vode i visini valova..... | 16 |
| Slika 3-7. Unutarnji sustav priveza kupole | 17 |
| Slika 3-8. Vanjski sustav priveza kupole | 17 |
| Slika 3-9. Konvencionalni sustav raširenog privezivanja | 18 |
| Slika 4-1. Tanker za transport sirove nafte i naftnih derivata | 19 |
| Slika 4-2. Podjela tankera prema veličini i nosivosti..... | 21 |

POPIS TABLICA

| | |
|---|----|
| Tablica 3-1. Opis palubnih objekata | 10 |
|---|----|

POPIS KRATICA

PIP – (engl.) Pre-insulted pipe

SRU – (engl.) Seawater Reverse Osmosis Unit

FPSO – (engl.) Floating Production, Storage and Offload

1. UVOD

Sedamdesetih godina prošlog stoljeća dolazi do razvoja odobalnih postrojenja za proizvodnju, skladištenje i iskrcaj sirove nafte (engl. *Floating Production, Storage and Offloading* - FPSO) kao plovila namijenjeni eksploataciji naftnih polja u dubokim vodama. Prva jedinica za odobalnu proizvodnju bila je Shell Castellon, sagrađena u Španjolskoj, a tijekom godina broj postrojenja raste iz dana u dan te danas postoji oko 270 aktivnih postrojenja diljem svijeta. Najčešće se takva postrojenja koriste za eksploataciju nafte u Sredozemnom i Sjevernom moru te zapadnoj Africi (Shimamura, 2002).

FPSO postrojenja imaju radni vijek od nekoliko desetaka godina jer se u prosjeku zadržavaju na lokaciji tijekom proizvodnog vijeka naftnog ležišta, dulje od 20 godina. Svako postrojenje za odobalnu proizvodnju, skladištenje i iskrcaj sirove nafte različitog je dizajna te se tehnički projektira ovisno o zahtjevima pojedinog proizvodnog područja i vlasnika postrojenja.

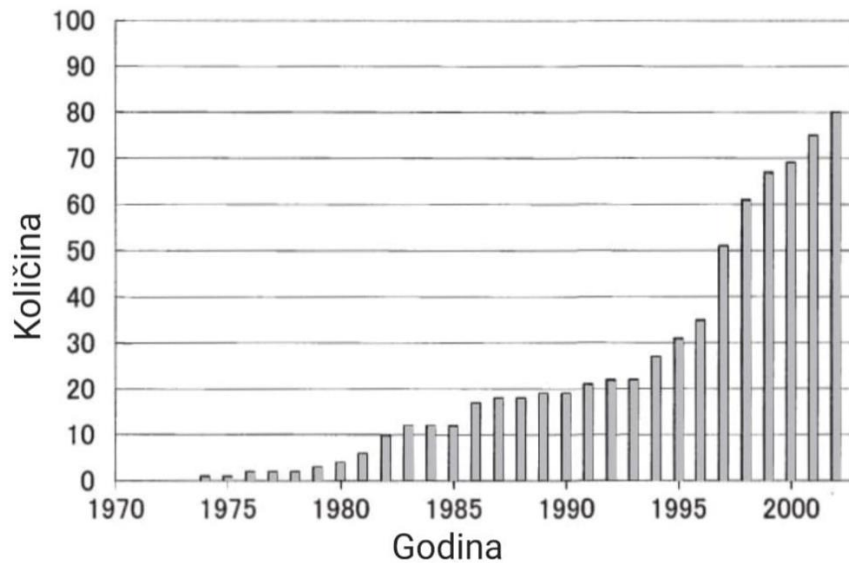
Ovaj tip odobalnih postrojenja često se nalazi na velikoj udaljenosti od obale pa je za transport proizvedene nafte neisplativo graditi podvodne cjevovode već se za njen transport koriste naftni tankeri. Transport nafte tankerima najstariji je oblik prijevoza nafte morima, a danas se na ovaj način transportira oko 60% sirove nafte i naftnih derivata u svijetu. Ostalih oko 40% čini prijevoz autocisternama, vagon-cisternama ili cjevovodima. Prednosti tankera u odnosu na druge načine transporta su te da je tanker moguće preusmjeriti na bilo koju lokaciju s lukom u kojoj tanker može pristati i iskrcati naftu dok je npr. transport nafte autocisternama ograničen na radijus od približno 482 kilometara jer je izvan tog radijusa transport neisplativ (Shimamura, 2002).

2. ODOBALNA POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU, SKLADIŠTENJE I ISKRCAJ NAFTE

Nekada se smatralo da je ekonomski neisplativo eksploatirati naftu iz odobalnih naftnih ležišta na velikim dubinama mora i velikim udaljenostima od kopna ali je pojava odobalnih FPSO postrojenja namijenjenih upravo takvim uvjetima to promijenila. Na porast broja odobalnih postrojenja za proizvodnju, skladištenje i iskrcaj nafte (Slika 2-1.) ponajviše je utjecalo smanjenje broja otkrivenih divovskih naftnih polja pa se proizvodnja okrenula poljima s manjim rezervama, a odobalna postrojenja za proizvodnju, skladištenje i iskrcaj nafte upravo su namijenjena takvim projektima. Postrojenja su projektirana i izrađena tako da mogu osigurati propisani radni vijek bez prekida proizvodnje.

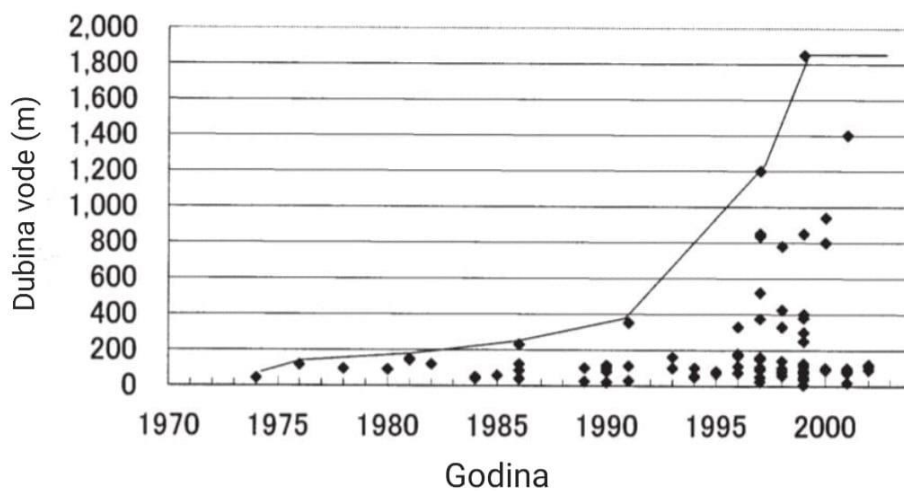
Prvo odobalno postrojenje Shell Castellion proizvodilo je naftu do dubine mora od 43 m. Na samom početku korištenja, FPSO postrojenja se smatralo privremenim rješenjem s ciljem proizvodnje nafte do postavljanja fiksnog proizvodnog postrojenja odnosno proizvodne platforme. Sredinom 1990-ih godina prošlog stoljeća prepoznate su radne prednosti FPSO sustava u dubljim vodama i težim okruženjima pa se njihov broj na takvim projektima povećava. Tijekom kasnih devedesetih godina prošlog stoljeća, razvoj projektiranja i izgradnje FPSO postrojenja su toliko napredovali da ih se moglo koristiti za proizvodnju nafte u područjima gdje je dubina vode dosegala 2000 m (Slika 2-2.), dok se danas proizvodnja ostvaruje i u dubljim vodama. U dubokim vodama (do 3000 m) ekonomičnije je korištenje odobalnog postrojenja od izgradnje fiksne proizvodne konstrukcije, ali postoji mogućnost kombinacije odobalnog postrojenja s navedenim objektima bez pogona (Slika 2-3.) koji se na lokaciju dopremaju tegljenjem (Mentes i Mollaahmetoglu, 2019).

Postoji i opcija kratkoročnog najma postrojenja koje u tom slučaju ostaje na lokaciji proizvodnog naftnog polja nekoliko godina, a po završetku ugovora o najmu seli na drugo naftno polje. Koncept najma postrojenja posebno je pogodan za razvoj malih naftnih polja u regijama gdje se nafta proizvodi dugi niz godina, a karakterizira ih smanjenje proizvedene količine.



Slika 2-1. Prikaz povećanja broja odobalnih postrojenja za proizvodnju s vremenom (Shimamura, 2002)

Tijekom narednog desetljeća može se očekivati veliki porast broja odobalnih postrojenja u zapadnoj Africi gdje je otkriveno mnogo naftnih polja. Zemlje zapadne Afrike karakteriziraju loša infrastruktura (manjak cjevovodi, objekti obrade proizvedenih fluida) kao i velike geografske udaljenosti od zemalja potrošača (Shimamura, 2002).



Slika 2-2. Odnos broja FPSO postrojenja i dubine vode na kojoj se mogu primijeniti (Shimamura, 2002)

Razvojem odobalnih postrojenja, tržište nafte je reagiralo u smjeru postizanja veće cijene po barelu. Prednost samih postrojenja u odnosu na cjevovode je ta da se sirova nafta koja se nalazi unutar skladišnog prostora postrojenja može prodati na različita tržišta u trenutku najviše cijene nafte dok su kapaciteti cjevovoda unaprijed zakupljeni po nižim cijenama barela, a ujedno ih definira i mjesto prodaje sirovine.



Slika 2-3. Kombinacija odobalnog postrojenja i fiksne konstrukcije bez pogona (Varenergy, 2019)

2.1. Funkcije odobalnih postrojenja

Svako odobalno postrojenje za proizvodnju, skladištenje i istovar nafte (Slika 2-4.) mora omogućavati skladišni prostor, zadržavanje broda u poziciji u odnosu na sidreni sustav, obavljanje remonta proizvodnih bušotina ili bušenje novih i mora imati dovoljnu površinu palube određene nosivosti.

Da bi to bilo moguće postrojenje treba sadržavati sljedeće komponente:

- postrojenje za obradu proizvedenog fluida s mogućnošću injektiranja vode i ugradnje plinskog lifta
- dovoljni skladišni kapacitet za proizvedeni fluid
- sustav za iskrcaj uskladištenog fluida
- sustav za kontrolu stabilnosti uslijed teških okolišnih uvjeta okoline
- sustav za proizvodnju električne energije potrebne za rad postrojenja
- dodatni kapacitet za buduća proširenja (rezervna površina, nosivost broda)

Tri glavne funkcije koje povezuju gore navedene komponente su: proizvodnja, skladištenje i iskrcaj nafte. Proizvodnja predstavlja pridobivanje sirove nafte iz odobalnih ležišta na velikim dubinama oceana i mora. Postrojenje za proizvodnju opremljeno je opremom koju koriste rafinerije te se sirova nafta obrađuje na brodu. Mogućnost obrade nafte u smislu dehidracije, izdvajanja plina proizvedenog s naftom kao i primjenom procesa destilacije, omogućavaju iskrcaj nafte u tankere, a da pritom nije potrebno sirovinu odvoziti u kopnene rafinerije već postoji mogućnost direktne prodaje ovisno o zahtjevima kupca. Druga funkcija postrojenja je skladištenje koje omogućava skladištenje nafte proizvedene iz različitih naftnih polja na istom brodu u različite spremnike kako ne bi došlo do miješanja nafte različitih gustoća, viskoznosti odnosno različite kvalitete. Iz tih razloga prilikom izgradnje posebna se pažnja posvećuje izradi odvojenih tankova i cijevi. Mogućnost izljeva pridobivenih fluida u mora ili oceane te onečišćenje istih svelo se na minimum i time održala svijest o zaštiti biljnog i životinjskog svijeta. Ujedno otklonila se mogućnost financijski nepredvidljivih troškova u obliku plaćanja kazni koje bi proizašle iz onečišćenja okoliša.



Slika 2-4. Odobalno postrojenje za proizvodnju, skladištenje i iskrcaj nafte (Oilgascourse, 2021)

Kategorija istovara, a ujedno i posljednja funkcija, predstavlja prijenos nafte s postrojenja ili broda u drugi tanker ili u sustav naftovoda. Prilikom prilaska tankera fiksnom postrojenju ili FPSO postrojenju uspostavlja se fiksna čelična veza do tankera (Slika 2-5.) te na taj način tanker preuzima sidrište postrojenja ili broda. Istovar nafte vrši se preko fleksibilnog crijeva namotanog na bubanj, smještenog na palubi postrojenja. Nakon ostvarivanja veze između

bubnja i tankerskog sustava prihвата nafte potrebno je obratiti pažnju da se fleksibilno crijevo uvijek nalazi na površini mora ili vode (Slika 2-6.) kako bi se izbjeglo moguće naprezanje i oštećenje istoga te izlijevanje nafte. Prikazani sustav istovara nafte iziskuje visoku koncentraciju radnika kako bi se u slučaju nepovoljnog scenarija moglo brzo reagirati i štetu svesti na minimum.



Slika 2-5. Prikaz fiksne veze između tankera i FPSO postrojenja (PES – Power and Energy Solutions, 2021)



Slika 2-6. Sustav istovara nafte fleksibilnim crijevom na površini mora (Youtube, 2018)

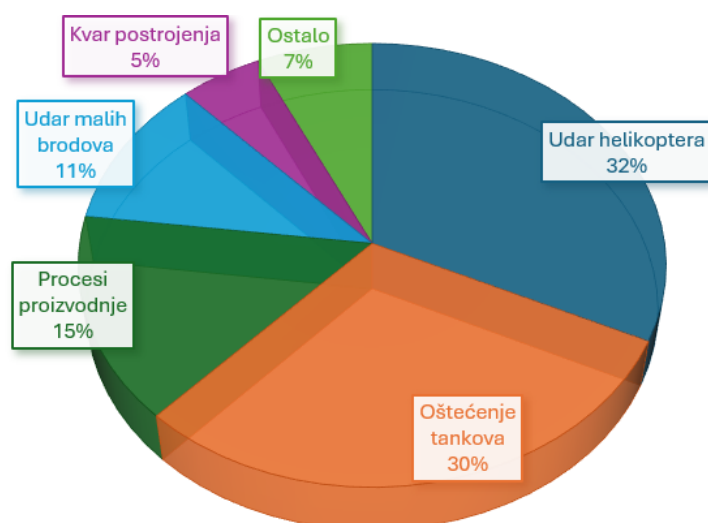
2.2. Izgradnja FPSO postrojenja

Poveznica tankera s odobalnim postrojenjem za proizvodnju, skladištenje i iskrcaj nafte vidljiva je u njihovim funkcijama i postupku proizvodnje. Mnoga odobalna postrojenja su izgrađena i još uvijek se grade, prenamjenom tankera za prijevoz nafte. Pretvorbom tankera ostvaruju se prednosti u financijskom smislu zbog postojećeg sustava skladištenja. Kupovna cijena tankera uvelike ovisi o tržištu tankera i mogućnostima slobodnih brodogradilišta. Dvostruko dno odnosno dvostruka oplata nije obavezna na odobalnim postrojenjima osim u slučajevima rada u priobalnim područjima. Postupno ukidanje tankera s jednom oplatom, rezultiralo je povećanje broja tankera na tržištu po pristupačnim cijenama, a time se povećao broj prenamijenjenih tankera u odobalna postrojenja za proizvodnju, skladištenje i iskrcaj nafte. Opseg i vremenski period prenamjene razlikuju se ovisno o zahtjevima projekta. Prosječna prenamjena u brodogradilištu traje od 10 do 18 mjeseci, uključujući vrijeme puštanja u pogon (Brodosplit, 2020).

Mnoga odobalna postrojenja izrađuju se s ciljem ostanka na lokaciji minimalno 15 godina bez odlaska na suhi vez. Kako bi se ispunio taj zahtjev potrebno je provesti temeljnu analizu konstrukcije trupa u posebnim okolišnim uvjetima i uvesti održivi sustav zaštite od korozije. Projektiranje sustava za zaštitu od korozije ključan je dio konstrukcijskog projekta, a posebno je važan sustav kod površina uronjenih u more i obloga spremnika. Neuspjeh u području očuvanja postrojenja rezultirao bi zatvaranjem postrojenja zajedno s visokim troškovima popravka. Za potopljene dijelove područja, tradicionalno korištenje premaza na bazi katrana kamenog ugljena i epoksidne smole pružalo je zadovoljavajuće rezultate. Međutim, postoji potreba za razvojem novih sustava premaza koji imaju veću otpornost na abraziju i pružaju dugovječniju zaštitu od korozije. Zbog svoje tamne boje i glavne komponente katrana kamenog ugljena, koji je poznat kao kancerogen, dolazi do njegove zamjene modificiranim epoksidnim premazima u svjetlijim nijansama. Osim toga, postavljaju se i zahtjevi za jednostavnim održavanjem i brzom zamjenom komunalnih sustava. U tom segmentu novoizgrađena odobalna postrojenja imaju prednost. Novoizgrađeno postrojenje zahtijeva puno veća ulaganja i više vremena za projektiranje i izgradnju uzimajući u obzir namjenu i buduću lokaciju postrojenja. Problem izgradnje novog odobalnog postrojenja je česta zauzetost brodogradilišta koja su posvećena tradicionalnim morskim plovilima, a izgradnja i projektiranje novog postrojenja procjenjuje se na period od 18 do 24 mjeseci (Brodosplit, 2020).

2.3. Sigurnost odobalnih postrojenja

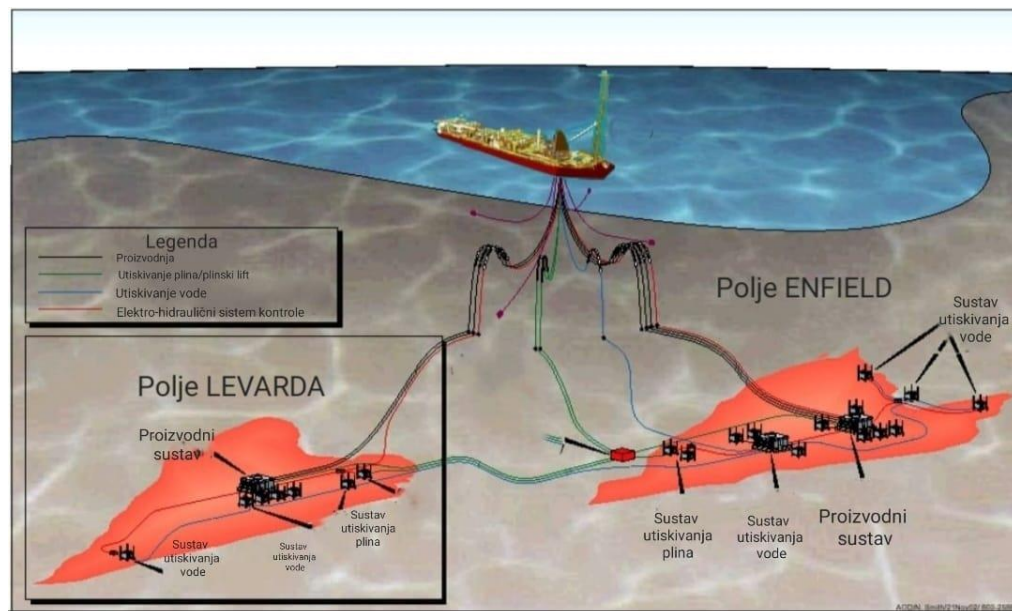
Sigurnost je primarna briga svih naftnih kompanija, a zahtjevi iz dana u dan postaju sve stroži s obzirom na nesreće u industriji nafte. Kompanije se trude da utvrde, procjene i ublaže moguće rizike stalnim unaprjeđivanjem sustava sigurnosti. Primjena sustava sigurnosti u sustavima odobalnih postrojenja za proizvodnju, skladištenje i iskrcaj nafte postala je obavezna u većini zemalja svijeta. Kao dio pripreme sustava provodi se službena sigurnosna procjena sustava uz grubu i kvalitativnu procjenu rizika. Provodi se kvantitativna procjena rizika temeljem statističkih podataka o različitim mogućim vrstama rizika, kao što je propuštanje prirubnica ili sudar plovila. Prosječni godišnji rizik koristi se kao kriterij za ocjenjivanje sigurnosti postrojenja. Odobalna postrojenja spadaju u kategoriju visokorizičnih plovila, a razlog te kategorizacije je mogućnost požara i eksplozija u pogonima za obradu nafte ili spremnicima za skladištenje. Potencijalni gubitak života godišnje i uzroci koji tome doprinose (Slika 2-7.) izračunavaju se s obzirom na cijelu posadu i prosjek godišnjih posjetitelja. Iz priloženog dijagrama može se vidjeti da će na smrtnost posade najviše utjecati sudar helikoptera odnosno njegov pad na postrojenje, kao i oštećenja tankova i mogućnost njihovog zapaljenja. Rezultati procjene rizika životne opasnosti razlikovat će se od postrojenja do postrojenja stoga će se mjere poduzete za ublažavanje rizika također razlikovati. Procjena rizika ovisi o količini i kvaliteti statističkih podataka. Svaki incident bilježi se u bazu podataka koja inženjerima daje povratne informacije o projektiranju i sigurnosti postrojenja (Mentes i Mollaahmetoglu, 2019).



Slika 2-7. Prikaz procjene rizika za FPSO postrojenja sa mogućim smrtnim posljedicama (Izrađeno prema Shimamura, 2002)

3. NAČIN RADA POSTROJENJA

Odobalna postrojenja za proizvodnju nafte u dubokom moru obrađuju i skladište proizvedene ugljikovodike. Usidrena su različitim sustavima priveza, a razlikuju se privezi za duboka i ultra duboka naftna polja. Podvodne bušotine nalaze se na različitim dubinama i nejednakim udaljenostima od postrojenja smještenog na površini mora. Slika 3-1. prikazuje usidreno odobalno postrojenje za proizvodnju, skladištenje i iskrcaj nafte smješteno centralno između dva polja različitih dubina i veličina. Kada se FPSO jedinica poveže s podmorskim proizvodnim bušotinama, pridobiveni ugljikovodici prenose se cjevovodima do usponskih cijevi koje omogućuju transport ugljikovodika s morskog dna do FPSO jedinice. Cjevovodima su povezani i sustavi proizvodnje i sustavi utiskivanja plina ili vode. Cjevovodni sustav za proizvodnju osigurava komunikaciju od polja do proizvodnog sustava smještenog na FPSO jedinici, a sustavi utiskivanja vode i plina ostvaraju komunikaciju od postrojenja do bušotina. Nakon određenog vremenskog perioda prestaje eruptivna proizvodnja nafte pa se utiskivanjem plina i vode podržava ležišni tlak i omogućava duži radni vijek ležišta (Mentes i Mollaahmetoglu, 2019).



Slika 3-1. Primjer FPSO postrojenja usidrenog između dva naftna polja (Mentes i Mollaahmetoglu, 2019)

Palubna procesna postrojenja odobalne jedinice jednaka su onima na proizvodnim platformama. Sastoje se od modula i proizvodnih sustava, a čine ih sustav za dehidraciju nafte, sustav za pročišćavanje plina, jedinica za preradu nafte, jedinica za utiskivanje vode, jedinica za kompresiju plina i drugi. Slika 3-2. prikazuje označene palubne objekte jednog odobalnog postrojenja za proizvodnju, skladištenje i iskrcaj nafte, a Tablica 3-1. daje opis svakog označenog objekta na Slici 3-2.



Slika 3-2. Prikaz palubnih objekata odobalnog postrojenja za proizvodnju, skladištenje i iskrcaj nafte (Mentes i Mollaahmetoglu, 2019)

Tablica 3-1. Opis palubnih objekata (Mentes i Mollaahmetoglu, 2019)

| | | | | | |
|----------|--|-----------|--------------------------|-----------|---|
| 1 | Kupola i okretni stup za sidrenje FPSO-a | 6 | Proizvodnja el. energije | 11 | Usponski cjevovodi i energetski i signalni kabeli |
| 2 | Toranj s bakljom | 7 | Razvodna prostorija | 12 | Skladišni tankovi |
| 3 | Sustav stlačivanja plina | 8 | Stambeni dio | 13 | Mjerenje razine fluida |
| 4 | Procesno postrojenje | 9 | Heliodrom | 14 | Crijevo za istovar |
| 5 | Ogrjevni medij | 10 | Sustav sidrenja | 15 | Kontrolna soba |

Za FPSO postrojenja vrijede okolišni i sigurnosni standardi kojima je definirano da se:

- izvori i zalihe ugljikovodika moraju nalaziti daleko od smještaja
- u područjima procesa obrade izbjegavaju izravni izvori topline
- generatori električne energije nalaze na maksimalnoj mogućoj udaljenosti od procesnih posuda
- oprema s povećanim rizikom od ispuštanja plina (npr. postrojenja za kompresiju plina) moraju biti odvojena od posuda/spremnika koji sadrže tekuće ugljikovodike
- ploča palube mora služiti kao početna protupožarna barijera između opreme i skladišta tereta.

Primarni sustavi povezani s procesnim postrojenjem su:

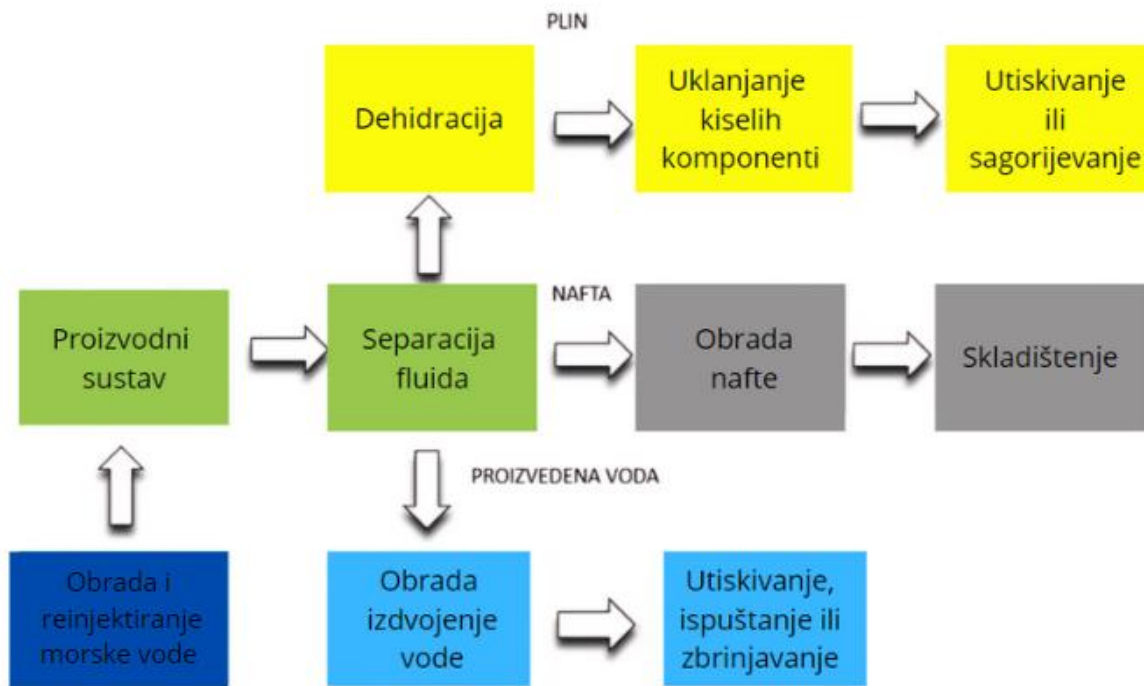
- sustav separacije i obrade nafte,
- sustav kompresije i obrade plina,
- sustav izdvajanja vode,
- sustav injektiranja vode,
- sustav sagorijevanja plina na baklji,
- sustav grijanja i hlađenja,
- sustav odvodnje.

Na površini palube odobalnih postrojenja za proizvodnju, skladištenje i iskrcaj nafte nalazi se:

- Separacijski niz s jednim ispitnim separatorom
- Trofazni separator
- Dvije 100% jednostupanjske jedinice za povrat pare
- Plinski turbinski generatori
- Sustav dehidracije plina adsorpcijom s molekularnim sitima
- Jednostupnjaski i dvostupanjski kompresor nizvodno od obrade plina
- Sustav za filtraciju goriva s dvostrukim 100% filterima
- Sustav za ubrizgavanje kemikalija

- SRU sustav za obradu morske vode uključujući, pumpe za podizanje, usisne kesone i crijeva, gruba cjedila, filter rashladnog medija, vakumski defibrilator s pripadajućim vakumskim pumpama, membranski sustav
- Zatvoreni sustav procesnog rashladnog medija s cirkulacijskim pumpama i jednom ekspanzijskom posudom
- Sustav medija za grijanje s dvije cirkulacijske pumpe i jednim ekspanzijskim spremnikom
- Jedinice za povrat otpadne topline koje se nalaze na svakom glavnom generatoru
- Jednog otvorenog odvodnog sustava, koji se sastoji od odvojenih opasnih i neopasnih odvodnih kolektora na lijevoj i desnoj strani odobalne jedinice
- Jednog cirkulacijskog sustava protoka, uključujući dvije 50% cirkulacijske pumpe protoka, dvije pumpe za ispitivanje propuštanja od 100 %,
- Jednog sustava grijanja predizoliranim cijevima (engl. *Pre-insulated pipe* – PIP), koji se sastoji od jednog PIP spremnika vode i jednog PIP grijača vode.

Prilikom projektiranja palubnog sustava odobalnog postrojenja mora se osigurati odvajanje plina, vode i sirove nafte. Pridobiveni fluid prolazi kroz proces trofazne separacije gdje dolazi do odvajanja nafte, vode i plina (Slika 3-3.) koji se u nastavku zasebno obrađuju. Nafta, nakon odvajanja odlazi na dehidraciju i destilaciju, a zatim se skladišti u spremnicima smještenim u trupu postrojenja. Nakon separacije, voda se obrađuje te se utiskuje u bušotine ili se, ovisno o lokalnim zakonskim propisima, ispušta u more odnosno odlaže u spremnike odakle se prevozi do kopna i zbrinjava. Proizvedeni plin prolazi kroz proces stlačivanja, nakon čega se iz njega uklanjaju kiseli plinovi (sumporovodik i ugljikov dioksid) ukoliko su prisutni. Procesom dehidracije završava obrada plina te se omogućuje njegovo ponovno utiskivanje ili korištenje kao gorivog medija (Speight, 2015).



Slika 3-3. Prikaz separacije proizvedenog fluida (Mentes i Mollaahmetoglu, 2019)

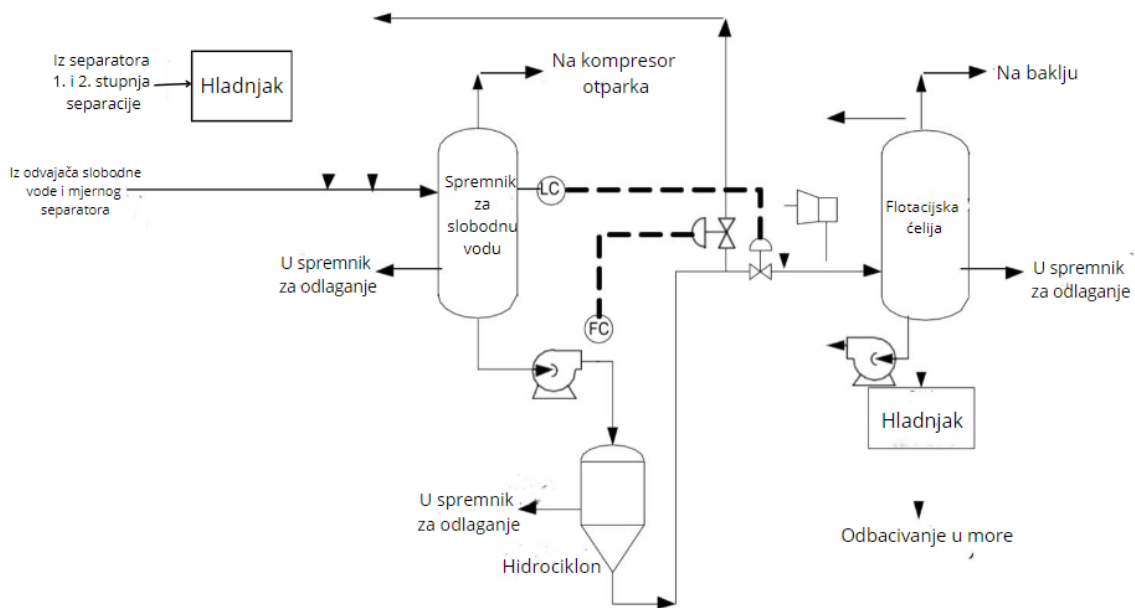
3.1. Primarni sustavi procesnog postrojenja

3.1.1. Sustav za separaciju i obradu nafte

Sustav za separaciju i obradu nafte odvaja naftu, plin i vodu. Nafta se obrađuje ovisno o zahtjevima kupca. Bolje obrađena nafta manje gustoće odnosno veće API gustoće postići će veću cijenu i brže se prodati. Prisutnost vode smanjuje vrijednost API gustoće, a time i prodajnu cijenu nafte. Također veći udio vode u nafti poskupljuje transport jer dio transportiranog kapaciteta utrošen na vodu koja nije iskoristiva. Mineralne soli prisutne u slojnoj vodi uzrokuju koroziju proizvodne opreme i spremnika. Zato je jeftinije obraditi zasebno svaki fluid - naftu, vodu i plin na mjestu proizvodnje. U prvom stupnju obrade sirova nafta se dovodi u separator slobodne vode, voda koja se nalazi u sirovoj nafti se odvaja principom gravitacije. Nakon odvajanja vode dolazi do drugog stupnja separacije kod koje sirova nafta prolazi kroz testne separatore koji omogućavaju razdvajanje ostatka vode, plina i nafte. Testni separatori omogućuju precizno mjerenje protoka i sadržaja vode, plina i nafte u sirovoj nafti kako bi se ustvrdila njena svojstva i odredila potrebna obrada. U trećem stupnju primjenjuju se dodatne tehnike separacije kako bi se postigla potpuna obrada nafte. To uključuje korištenje dodatnih filtera, grijača, korištenje elektrostatskih tritera prvog i drugog stupnja. Ovim načinom obrade rješavaju se uobičajeni problemi povezani s FPSO jedinicama kao što su pjenjenje nafte i stabilizacija separacije (Mentes i Mollaahmetoglu, 2019).

3.1.2. Sustavi neophodni za samostalan rad postrojenja

S naftom se proizvodi i velika količina vode. Dnevno se na postrojenjima proizvodi od 16 000 do 25 000 m³ vode (Mentes i Mollaahmetoglu, 2019). Voda se na postrojenju koristi kao rashladna tekućina postrojenja i tekućina za komunalnu upotrebu, dok je preostalu vodu potrebno zbrinuti. Sustav pročišćavanja vode (Slika 3-4.) osigurava čistoću vode i omogućava njezino odlaganje u more, a da pritom ne dođe do onečišćenja i ugrožavanja biljnog i životinjskog svijeta. Osim odlaganja u more, voda se koristi u sustavu injektiranja morske vode u proizvodni sloj kako bi se podržao ležišni tlak i održala razina proizvodnje nafte nakon smanjenja ležišnog tlaka tijekom eksploatacije ležišta.



Slika 3-4. Sustav obrade proizvodne vode (Mentes i Mollaahmetoglu, 2019)

Sustav za stlačivanje i obradu plina obrađuje plin koji se unutar postrojenja koristi kao gorivo u sustavu grijanja postrojenja (propan) ili za utiskivanje u slučaju korištenja metode plinskog podizanja nafte iz bušotine. Postrojenja su opremljena sustavom za spaljivanje na baklji (Slika 3-5.) koja služi i za sagorijevanje ugljikovodičnih tekućina oslobođenih tijekom pokretanja postrojenja ili tijekom smetnji u radu procesne opreme.



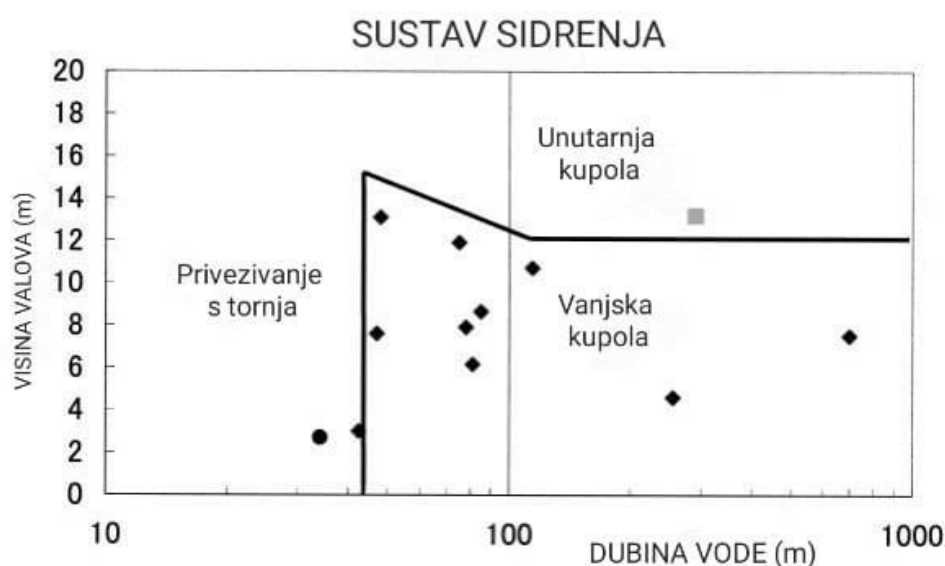
Slika 3-5. Spaljivanje plina na baklji (Reportingoilandgas, 2016)

3.2. Način i sustav sidrenja postrojenja

Odobalna postrojenja za proizvodnju, skladištenje i iskrcaj nafte su postrojenja koja se na svojoj lokaciji zadržavaju godinama, a kako bi se osigurala njihova stabilnost s vremenom su razvijeni različiti sustavi priveza, odnosno sidrenja postrojenja.

Od kad se postrojenja koriste u dubljim vodama i pri težim radnim uvjetima potaknut je razvoj i prilagodba sidrenih sustava za različite primjene. Glavni napredak u projektiranju sidrišta vidljiv je u području analitičkih alata, razvoja poliesterskih linija za vezivanje, te različitih vrsta sidara. Analiza alata za sustave privezivanja potvrđena je ispitivanjima modela i terenskim iskustvom.

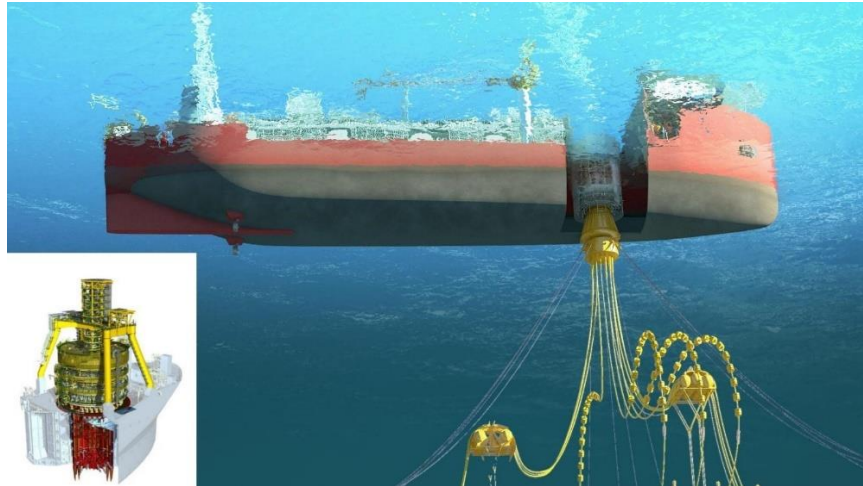
Načini privezivanja dijele se na: unutarnji sustav privezivanja kupole, vanjski sustav privezivanja kupole i konvencionalni sustav raširenog privezivanja. Odabir sidrenog sustava ovisi o dubini i visini valova te lokaciji, odnosno vremenskim i okolišnim uvjetima koji se mogu očekivati tijekom godine. Slika 3-6. prikazuje odabir načina sidrenja ovisno o dubini vode i visini valova pojedinog područja u kojem se FPSO postrojenje nalazi.



Slika 3-6. Prikaz odabira sustava sidrenja ovisno o dubini vode i visini valova (Shimamura, 2002)

Unutarnji sustav privezivanja kupole (Slika 3-7.) koristi se za sidrenja kod dubina mora većih od 100 metara i pri valovima čija visina prelazi 15 metara. Ova vrsta privezivanja kupole dobro je prilagođena teškim uvjetima i velikom broju usponskih cjevovoda i energetskih i signalnih kabela. Zbog malog razmaka između sidrenog lanca i ležajeva ova vrsta kupole mora imati veliku otpornost na vanjske sile. Unutarnja kupola postavljena na

dnu objekta odnosno integrirana je u prednji spremnik plovila, te na taj način smanjuje skladišni volumen postrojenja. Ovakav sustav uspješno je primijenjen u Sjevernom moru i u Australiji (NOV, 2024).



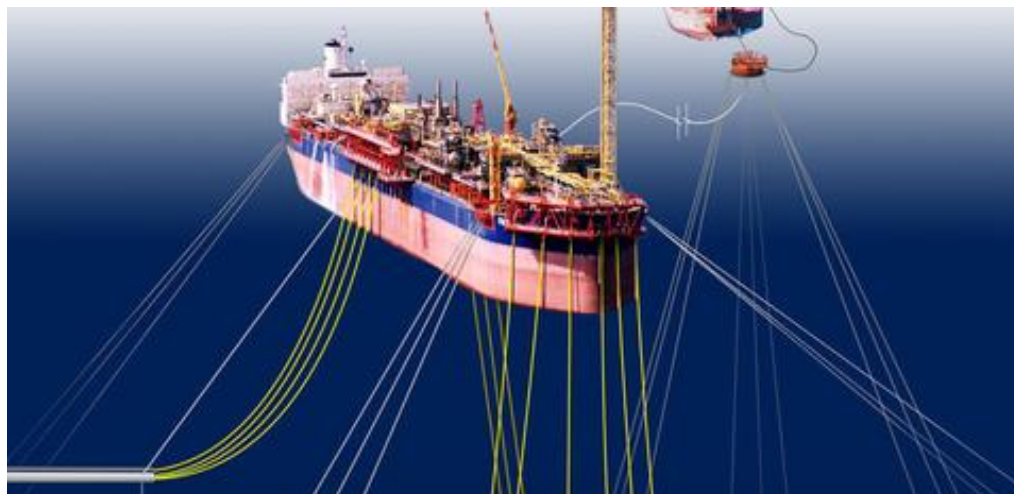
Slika 3-7. Unutarnji sustav priveza kupole (NOV, 2024)

Vanjska kupola smještena je na pramcu plovila (Slika 3-8.). Prednost kupole tog tipa je jednostavnost izrade i integracije, te činjenica da ne utječe na kapacitet spremnika ili raspored opreme na palubi. Opterećenje ostvareno privezivanjem prenosi se na plovilo okretnim ležajevima i krutim rukama. Ovakva kupola najčešće se primjenjuje kod postrojenja koja su nastala prenamjenom tankera odnosno na postrojenjima smještenim u morima u zapadnoj Africi i jugoistočnoj Aziji (Mentes i Mollaahmetoglu, 2019).



Slika 3-8. Vanjski sustav priveza kupole (T2Alloys, 2020)

Konvencionalni sustav raširenog privezivanja (Slika 3-9.) široko se koristi u zapadnoj Africi zbog niskih troškova i povoljnih okolišnih uvjeta u toj regiji. Čestu primjenu ima kod manjih postrojenja na manjih dubinama. Pri takvim uvjetima ostvaruje se manje opterećenje i naprezanje te neće doći do promjena orijentacije plovila. Jedini nedostatak sustava raširenog privezivanja je otežani pristup tankera i ostvarivanje sidrene veze s tankerom prilikom iskrcaja nafte.



Slika 3-9. Konvencionalni sustav raširenog privezivanja (FukyMarinTech, 2017)

4. TANKERI ZA PRIJEVOZ NAFTE

Prijevoz nafte i naftnih derivata brodovima čiji je trup podijeljen u tankove poznat je još od 19. stoljeća kada se nafta prevozila od Meksičkog zaljeva u Englesku. Tanker je brod za prijevoz tekućeg tereta kojem je teretni prostor podijeljen pregradama u uzdužnom i poprečnom smjeru na nepropusne tankove (Hrvatska tehnička enciklopedija, 2018). Tankeri za prijevoz sirove nafte su najveći brodovi koji plovo svjetskim morima. Opseg međunarodne trgovine naftom bilježi konstantan porast kao rezultat svjetskog gospodarsko rasta. Najveći potrošači nafte su i najindustrializiranije zemlje poput SAD-a i Japana. Transport nafte tankerima (Slika 4-1.) čini oko 60% ukupnog transporta, ali postotak varira s godinama. Ostalih oko 40% čine autocisterne, naftovodi i vagoni (Galović i dr., 2008). Naftovodi, autocisterne i vagon cisterne koriste se za prijevoz od terminala do krajnjih potrošača. Zbog troškova prijevoza cestovni prijevoz nafte ograničen je maksimalnom udaljenosti od 483 km dok pomorski tanker može biti dostići bilo koje udaljenije odredište u kojem se nalazi luka. U praksi nije strano da se sirovina preprodaje po većim cijenama u trenutku transporta, te da tankeri u tom trenutku, zbog svoje mobilnosti, budu preusmjereni u veće industrijske sile svijeta. Takve situacije događale su se tijekom razdoblja pandemije Covid-19 proteklih godina kada je Japan kupovao sirovine po većim cijenama i plaćao penale kako njihova industrija uslijed nestašice nafte ne bi usporila i ostvarila značajne gubitke na gospodarskom i ekonomskom planu.



Slika 4-1. Tanker za transport sirove nafte i naftnih derivata (Brodosplit, 2020)

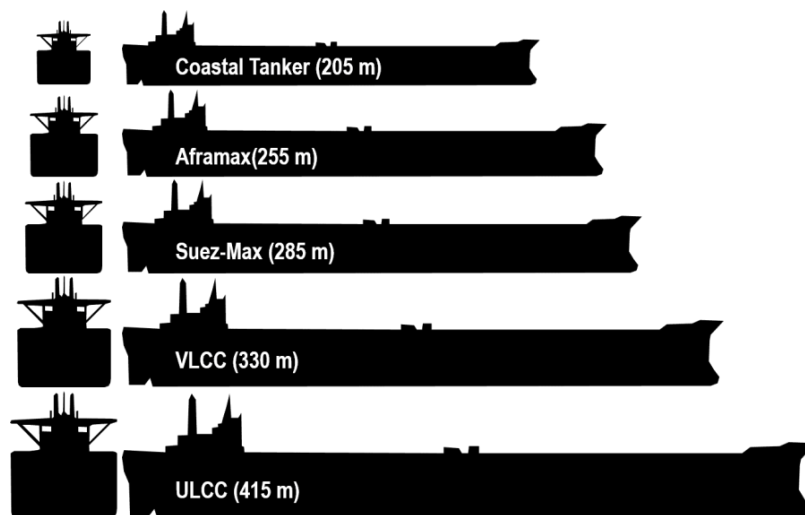
4.1 Podjela tankera

Riječ tanker asocira na brod za prijevoz nafte i naftnih derivata, međutim tankeri služe i za prijevoz drugih tekućinama kao što npr. ukapljenog prirodnog plina, raznih kemikalija, pitke vode i posebnih vrsta tereta. Naftni tankeri dijele se prema dimenzijama i nosivosti u pet grupa (Slika 4-2.):

- Obalni tankeri dužine do 205 metara i nosivosti do 6000 tona, najčešće služe za prijevoz sirove nafte i derivata uz obalu. Čestu upotrebu nalaze i na terminalima kao rasteretni brodovi za velike tankere bez mogućnosti pristanka uz obalu zbog velikog gaza.
- Tankeri manje tonaže dužine do 245 m i nosivosti od 6000 do 35 000 tona koriste se za transport produkata sirove nafte.
- Tankeri srednje tonaže, do 285 metara dužine, s nosivošću od 35 000 do 160 000 tona služe za prijevoz sirove nafte, a ponekad i za transport teškog ulja. U ovu kategoriju svrstani su i tankeri posebne konstrukcije koji služe za prolazke bitnim pomorskim prolazima i kanalima s obzirom na njihov gaz. Razlikuju se dva tipa tankera: Aframax nosivosti od 80 000 do 110 000 tona i Suezmax nosivosti do 160 000 tona.

Aframax tankeri dobili su ime po veličini trupa koja je optimalna za prolazak afričkim kanalima duž afričke obale. Suezmax tankeri su veći od Aframax tankera, a njihovo ime potječe od njihove sposobnosti za prolazak kroz Sueski kanal. Tankeri Suezmax često su korišteni za prijevoz nafte između Bliskog istoka i Europe ili Sjeverne Amerike.

- Super tankeri nosivosti do 400 000 tona i Mamut tankeri nosivosti preko 400 000 tona služe isključivo za prijevoz sirove nafte. Glavni nedostatak ovih tankera je potreba za velikim pristanišnim lukama i veliki okretni promjer od oko 2 km (Balić, 2020).



Slika 4-2. Podjela tankera prema veličini i nosivosti (Notteboom i dr., 2022)

4.2 Tankeri za prijevoz nafte i naftnih derivata

Bitna razlika između tankera za prijevoz nafte i naftnih derivata je da su tankeri za prijevoz nafte dulji i veće nosivosti od tankera za prijevoz naftnih derivata. Manji tankeri za prijevoz naftnih derivata omogućuju prijevoz više vrsta tekućih tereta jer sadrže veći broj tankova. U slučaju da se odobalno postrojenje nalazi na prihvatljivoj udaljenosti od obale i da proizvodi s više naftnih polja koristiti će se tankeri za prijevoz naftnih derivata kako bi se nafta iz svakog ležišta mogla odvojeno skladištiti, te na taj način očuvati pojedina svojstva, kvalitetu i cijenu nafte.

S godinama dolazi do potražnje za većim količinama nafte, pa su izgrađeni tankeri većih dimenzija i veće nosivosti kako bi se u kraćem roku prevezla veća količina nafte. Flota tankera za prijevoz sirove nafte i naftnih derivata uključuje 517 VLCC i ULCC tankere nosivosti ispod 200.000 tona. U prošlih desetak godina bila je predviđena izgradnja 176 tankera nosivosti veće od 200 tisuća tona (Galović, 2008) na temelju čega se može zaključiti da se flota naftnih tankera neprestano širi, uz smanjuje prosječne starosti aktivnih tankera.

Prilikom gradnje novih tankera potrebna je ugradnja dvostruke oplata trupa, ugradnja dvostrukog dna po cijeloj dužini broda i ugradnja tankova za balast koji su odvojeni od tankova za prijevoz tekućeg tereta (Dvornik, 2013). Time se povećava sigurnost transporta nafte i smanjuje se broj izlivanja nafte. Tijekom godina izgradnjom novih tankera uklonjeni su stari tankeri s jednostrukom oplatom, a pogodnost ove situacije iskoristila su brodogradilišta prenamjenom naftnih tankera s jednostrukim trupom u odobalna postrojenja za proizvodnju, skladištenje i iskrcaj nafte. Koncept izgradnje tankera s dvostrukim dnom

omogućio je odjeljivanje tankova s teretom od vanjske oplata broda. Takva konstrukcija garantira da i u slučaju udarca manje snage (nasukavanje, sudar) neće doći do izlivanja sadržaja iz spremnika broda odnosno zagađenja okoliša. (Dvornik, 2013).

Velika većina tankera je u najmu. Kako bi iznajmljivači ostvarili što veću ekonomsku korist unajmljuju brodove maksimalnih veličina. Veliki brodovi koriste se za plovidbu morem između različitih pristupnih točaka i ostvarivanje utovara i istovara bez ulaska u luku. S tom svrhom izgrađeni su posebni utovarni molovi, umjetni otoci ili velike plutače usidrene daleko od obale. Na taj način smanjili su se troškovi izgradnje većih pristupnih luka.

5. ZAKLJUČAK

Svakodnevnim porastom potražnje za naftom i naftnim derivatima utjecao je na širenje istraživanja na odobalnim područjima. Istraživanje dubljih dijelova mora i oceana, te otkrivanje većeg broja manjih naftnih polja zahtijevalo je razvoj odgovarajuće tehnologije za proizvodnju nafte iz tih ležišta. Porast ekološke svijesti i tehnološki napredak dovode do ekonomski i ekološki prihvatljivih rješenja za proizvodnju nafte u morima i oceanima u vidu odobalnih postrojenja za proizvodnju, skladištenje i iskrcavanje nafte. FPSO postrojenjima omogućen je neovisan i samostalan rad sustava na većim dubinama i većim udaljenostima od obale.

Razvojem sustava sidrenja postrojenja u dubokim morima i oceanima omogućena je sigurna proizvodnja iz više naftnih polja bez obzira na uvjete okoline te zadržavanje postrojenja na lokaciji do nekoliko desetaka godina.

Tankeri čine završnu fazu iskrcavanja nafte i oslobađanja skladišnih kapaciteta za daljnju proizvodnju. Oni se na postrojenja spajaju fiksnom čeličnom užetom kako bi se usidrili za postrojenje, dok se transport proizvedenog fluida iz spremnika FPSO postrojenja u tanker ostvaruje cjevovodom položenim na površini mora. Sustav proizvodnje zahtijeva i velike skladišne kapacitete spremnika trupa postrojenja, po uzoru na tankere za prijevoz nafte. S povećanjem količine proizvedene nafte u svijetu povećava se i broj i veličina tankera za prijevoz nafte i naftnih derivata.

6. POPIS LITERATURE

- 1) Balić, S. 2020. *Konstruktivska obilježja tankera*. Završni rad. Split: Pomorski fakultet u Splitu
- 2) Dvornik J. 2013. *Konstrukcija broda*. Znanstveni rad. Split: Pomorski fakultet u Splitu.
- 3) Galović P., Kovačević, M., Podobnik, M. 2008. *Brodovi za prijevoz sirove nafte i naftnih derivata, ukapljenog plina i kemikalija*. Pomorski zbornik, 45(1), str. 111-122.
- 4) Mentés, A., Mollaahmetoglu, E. 2019. *Floating Production Storage and Offloading Units and topside facilities*. Izvještaj. Istanbul Technical University, Dept. of Naval Arch. and Ocean Engineering.
- 5) Notteboom, T., Pallis, A., Rodrigue, J. 2022. *Port Economics, Management and Policy*. Analiza. SAD. Routledge.
- 6) Shimamura, Y. 2002. *FPSO/FSO: State of the art*. Journal of Marine Science and Technology.
- 7) Speight, J. 2015. *Handbook of Offshore Oil and Gas Operations*. Priručnik. SAD.

WEB IZVORI

- 8) Brodosplit. 2020. *Oil tankers*.
URL: <https://www.brodosplit.hr/en/shipbuilding/oil-tankers/> (21.4.2024.)
- 9) FukyMarinTech. 2017. *Permanent Mooring*.
URL: <http://fukymarintech.weebly.com/permanent-mooring.html> (17.7.2023.)
- 10) Hrvatska tehnička enciklopedija. 2018. *Tanker*.
URL: <https://tehnika.lzmk.hr/tanker/> (10.8.2023.)
- 11) NOV. 2024. *Business Unit - Marine and Construcion*.
URL: <https://www.nov.com/about/our-business-units/marine-and-construction> (3.8.2023.)
- 12) Oilgascourse. 2021. *Maritime & Nautical*.
URL: <https://oilgascourse.com/ogc/maritimenautil/> (7.5.2024.)
- 13) PES - Power and energy solutions. 2021.
URL: <https://pes.eu.com/> (1.5.2024.)

- 14) Reportingoilandgas. 2016. Impact of the Oil and Gas Industry on the Environment.
URL: <https://reportingoilandgas.org/impact-of-the-oil-and-gas-industry-on-the-environment/> (3.8.2023.)
- 15) T2Alloys. 2020. *Tungum tube used in offshore applications.*
URL: [https://www.t2alloys.com/Tungum tube used in offshore applications--post--83.html](https://www.t2alloys.com/Tungum_tube_used_in_offshore_applications--post--83.html) (22.4.2024.)
- 16) Varenergy. 2019. *Successful appraisal well in the Goliat licence in the Barents Sea.*
URL: <https://varenergi.no/en/about-us/production/> (2.5.2024.)
- 17) Youtube. 2018. *MacGregor's 5 generation Pusnes bow loading system.*
URL: <https://www.youtube.com/watch?v=xavXFX-zAIo> (7.8.2023.)

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno na temelju znanja stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu služeći se navedenom literaturom.





KLASA: 602-01/24-01/67
URBROJ: 251-70-11-24-2
U Zagrebu, 9. 5. 2024.

Karlo Jovanović, student

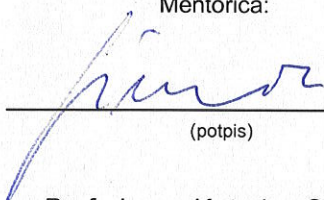
RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/24-01/67, URBROJ: 251-70-11-24-1 od 07.05.2024. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

Odobalna postrojenja za proizvodnju, skladištenje i iskrcaj nafte

Za mentoricu ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Prof. dr. sc. Katarina Simon nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i komentoricu Dr. sc. Katarina Žbulj.

Mentorica:

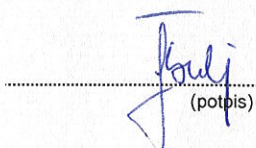


(potpis)

Prof. dr. sc. Katarina Simon

(titula, ime i prezime)

Komentorica:

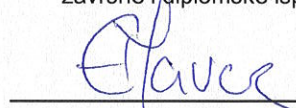


(potpis)

Dr. sc. Katarina Žbulj

(titula, ime i prezime)

Predsjednica povjerenstva za
završne i diplomske ispite:

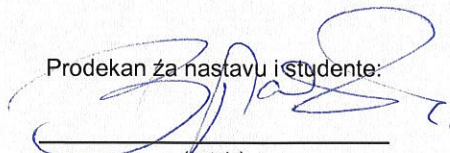


(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Karolina
Novak Mavar

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:



(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Borivoje
Pašić

(titula, ime i prezime)