

Platforme za bušenje u dubokom moru

Novosel, Mateo

Master's thesis / Diplomski rad

2015

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:169:883658>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij naftnog rudarstva

PLATFORME ZA BUŠENJE U DUBOKOM MORU

Diplomski rad

Mateo Novosel

N-127

Zagreb, 2015.

Platforme za bušenje u dubokom moru

Mateo Novosel

Diplomski rad je izrađen na: Sveučilištu u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu
Zavod za naftno inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

U diplomskom radu opisane su platforme za bušenje u dubokom moru. U uvodnom dijelu razrađuju se opće karakteristike platformi, njihova primjena, vrste, te odabir tipa platformi za izradu i proizvodnju ugljikovodika na temelju ključnih parametara. Slijedi detaljan opis spar platformi, njihova podjela, primjena, način sidrenja i konstrukcijske karakteristike. U nastavku slijede opis platformi s nategom u nogama s ciljem opisivanja glavnih posebnosti takvih tipova platformi i njihova primjena te naposljetku razlike u odnosu na mini TLP platforme.

Ključne riječi: spar, podvodni i površinski erupcijski uređaji, nateg rajzera s površine, čelični ovješeni rajzerski sustav, platforme s nategom u nogama, ukrućene cijevi za učvršćenje, trup platforme, mini TLP

Diplomski rad sadrži: 68 stranica, 35 slika i 19 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad je pohranjen u knjižnici Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Zdenko Krištafor, redoviti profesor RGNF

Ocjenjivači:

1. Dr. sc. Zdenko Krištafor, redoviti profesor RGNF
2. Dr. sc. Katarina Simon, redoviti profesor RGNF
3. Dr. sc. Vladislav Brkić, docent RGNF

Datum i mjesto obrane: 18. 12. 2015., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

Drilling platforms in deep sea

Mateo Novosel

Thesis completed in: University of Zagreb

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Institute of Petroleum Engineering

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

The content of master's thesis deals with platforms for drilling and production in deep sea. In the introductory part in general about platforms is covered, their use, types, and selection of the platform type to be used for drilling and production of hydrocarbons, based on key parameters. A detailed description of spar platform, their types, use, method of anchoring, construction characteristics is followed. In addition, the next section deals with tension leg platforms, with the main characteristics of this type of platforms and its application is described, and finally taking into consideration the differences in relation to mini TLP platforms.

Keywords: spar, wet and dry X-mas tree, top tensioned risers, steel catenary risers, tension leg platforms, tendons, hull, mini TLP

Thesis contains: 68 pages, 35 figures and 19 references

Original in: Croatian

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

Supervisor: PhD Zdenko Krištafor, Full Profesor

Reviewers:

1. PhD Zdenko Krištafor, Full Profesor
2. PhD Katarina Simon, Full Profesor
3. PhD Vladislav Brkić, Assistant Professor

Date of defense: 18. December 2015., Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Zagreb

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. SPAR PLATFORME	5
2.1. Vrste spar platformi.....	6
2.2. Sidrenje i transport trupa platforme.....	11
2.2.1. Postavljanje postolja na trup platforme.....	14
2.2.2. Postupak sastavljanja nadgrađa i trupa korištenjem barži/brodova.....	15
2.3. Rajzer pod nategom na površini (<i>engl. top tensioned riser – TTR</i>).....	17
2.4. Čelični ovješeni rajzerski sustav.....	26
2.4.1. Dijelovi SCR-a.....	27
2.5. Sustavi s površinskim ili podvodnim erupcijskim uređajem.....	30
2.6. Bušenje i proizvodnja sa spar platforme.....	37
2.7. Proizvodni rajzeri.....	41
2.8. Bušenje.....	46
3. PLATFORME S NATEGOM U NOGAMA	49
3.1. Sustav platformi s nategom u nogama i konstrukcija trupa.....	51
3.2. Razvoj rajzera i bušotinskih sustava.....	57
3.3. Razvoj cijevi za učvršćivanje platforme i sustav temeljenja.....	59
4. MINI TLP	62
5. ZAKLJUČAK	66
6. POPIS LITERATURE	67

POPIS SKRAĆENICA

FPSO - Floating Production Storage Outloading (Plutajuće skladište proizvedene nafte uz pretovar u tanker)

TLP - Tension Leg Platform (Platforma s nategom u nogama)

TTR - Top Tensioned Riser (Rajzer s nategom na površini)

SCRs - Steel Catenary Riser system (Čelični ovješeni rajzerski sustav)

MODU - Mobile Offshore Drilling Unit (Mobilna postrojenja za bušenje u moru)

BOP - Blowout Preventer Stack (Preventerski sklop)

ROV - Remotely Operated Vehicle (Daljinski upravljiva ronilica)

TJ - Tension Joint (Cijev koja omogućava prenošenje vlačnog naprezanja s rajzerskog niza na natezni sustav)

ITB - Tieback Connector (Unutrašnja povezna spojnica)

TAD - Tender Assist Drilling (Bušenje uz pomoć pomoćne platforme)

DVA - Direct Vertical Access (Direktni vertikalni pristup)

VIV - Vortex Induced Vibrations (Vrtložne vibracije uzrokovane djelovanjem morskih struja)

TDP - Touch Down Point (Dodirna točka)

LMRP - Lower Marine Riser Package (Donji sklop rajzera)

ESP - Electric Submersible Pumps (Uronjene električne dubinske sisaljke)

CTLP - Conventional TLP (Konvencionalni TLP)

ETLP - Extended TLP (Produženi TLP)

SSIP - Self Stabilized Installed Platform (Samopostavljajuća stabilizirana TLP platforma)

POPIS SLIKA

Slika 1-1. Vrste platformi za izradu bušotina u dubokim morima.....	3
Slika 2-1. Perdido spar platforma.....	5
Slika 2-2. Vrste spar platformi.....	6
Slika 2-3. Klasična spar platforma.....	8
Slika 2-4. Sidreni sustav.....	11
Slika 2-5. Postupak postavljanja sidrenog pilota korištenjem čekića za nabijanje.....	12
Slika 2-6. Transport trupa spar platforme tegljačima.....	13
Slika 2-7. Uspravljanje trupa spar platforme.....	13
Slika 2-8. Postavljanje nadgrađa spar platforme barža dizalicom za težak teret.....	14
Slika 2-9. Spajanje nadgrađa sa trupom spar platforme.....	15
Slika 2-10. Postupak sastavljanja nadgrađa i trupa korištenjem barži.....	16
Slika 2-11. Rajzerski sustav za bušenje i proizvodnju.....	18
Slika 2-12. Spar i TLP rajzerski sustav.....	19
Slika 2-13. Dvostruki sustav rajzera.....	20
Slika 2-14. Kizomba TLP proizvodni natezni sustav.....	22
Slika 2-15. Perdido natezni sustav.....	23
Slika 2-16. Bušaće operacije sa platforme sa površinskim erupcijskim uređajem.....	25
Slika 2-17. Čelični ovješeni rajzerski sklop.....	27
Slika 2-18. VIV trake.....	28
Slika 2-19. Bušaći i proizvodni sustav spar-a.....	37

Slika 2-20. Podište bušotinskih glava.....	39
Slika 2-21. Raspored bušotinskih glava na dnu mora.....	40
Slika 2-22. Presjek trupa spar platforme.....	42
Slika 2-23. „Potrošna cijev“.....	44
Slika 2-24. Struktura dna trupa.....	45
Slika 2-25. Bušaći prostor.....	47
Slika 2-26. Okvir za vođenje bušaćeg rajzera.....	48
Slika 3-1. Platforma s nategom u nogama.....	49
Slika 3-2. Transport platforme s nategom u nogama.....	50
Slika 3-3. Konstrukcija TLP-a.....	51
Slika 3-4. Tipovi trupova TLP platforme.....	52
Slika 3-5. Dijelovi TLP-a.....	54
Slika 3-6. Merlin spojnica.....	61
Slika 4-1. Morpeth mini TLP.....	62
Slika 4-2. Mini TLP s pomoćnim plovilom.....	65

1. UVOD

Platforma (*franc. plate-forme*) je učvršćeno (nepokretno) ili pokretno (plovno, plutajuće) postolje s nadgrađem namijenjeno za odobalno (*engl. offshore*) bušenje dna ispod vodenih površina radi istraživanja i/ili proizvodnje nafte ili prirodnoga plina. Nadgrađe platforme prostor je za smještaj postrojenja, procesnih sustava i opreme, za slijetanje helikoptera, za rad i boravak osoblja. Prema namjeni se razlikuju dva osnovna tipa platformi: bušaća platforma za izradu istražnih ili razradnih bušotina te proizvodna platforma, a osim toga platforma može biti procesna, servisna, za smještaj osoblja i opreme te za posebne namjene.

Bušaća platforma u načelu je autonomna pokretna plovna jedinica s vlastitim sustavom propulzije ili bez njega. Prema načinu postavljanja i zadržavanja u radnom položaju razlikuju se: poduprta platforma (samopodižuća i uronjiva), koja je tijekom normalnoga rada poduprta o dno, a jedino ju tijekom premještanja s jedne lokacije na drugu na površini održava uzgon, i plutajuća platforma (barža, poluuronjiva platforma i brod za bušenje), kod koje potporu u svim fazama rada ostvaruje samo njezin vlastiti uzgon. Samopodižuća poduprta platforma ograničena je na dubine mora do najviše 150 m, iako su za većinu platformi operativne mogućnosti uglavnom do dubine od 100 m. Za veće dubine mora koriste se poluuronjiva platforma i brod za bušenje. Poluuronjiva platforma tegli se na lokaciju predviđenu za bušenje i zatim se, ovisno o dubini mora, sidri ili se njezin položaj održava dinamičkim pozicioniranjem. Tijekom rada, platforma pluta, djelomično uronjena do dubine gaza predviđenoj za tegljenje, bušenje ili orkansko nevrijeme (*engl. survival*). Danas već postoje konstrukcije koje uspješno rade na dubinama mora do 3000 m. Brod za bušenje namijenjen je ponajprije za bušenje na velikim dubinama mora. Zadržavanje na istoj lokaciji ostvaruje se dinamičkim pozicioniranjem, uz korištenje vlastitoga sustava propulzije. Osnovna mu je prednost velika mobilnost, ali nije toliko stabilan za većega nevremena. Brod za bušenje The Dhirubhai Deepwater KG1 tvrtke Transocean izradio je bušotinu za India's Oil and Natural Gas limited u moru dubine 3174 m (10411 ft). Proizvodna platforma služi za crpljenje nafte ili plina iz bušotine i u načelu je cijeli radni vijek vezana za mjesto proizvodnje. Može biti samo proizvodna ili platforma s koje se obavljaju razradna bušenja i proizvodnja. Četiri su karakteristična tipa proizvodnih

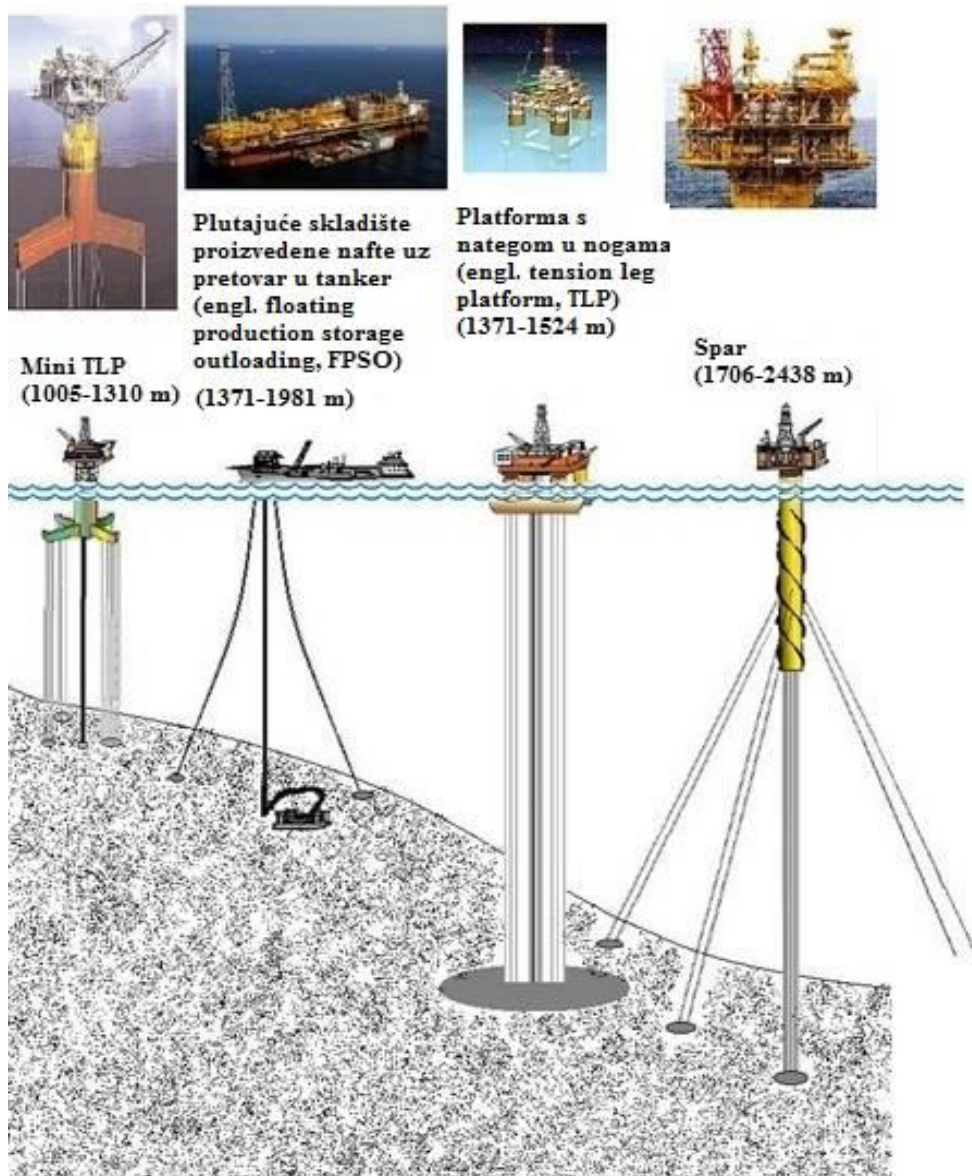
platformi: nepomična (fiksna) čelična, nepomična gravitacijska, plutajuća sa zategnutim kracima te platforma fleksibilno pričvršćena za morsko dno. Nepomična čelična platforma prevladavajući je tip proizvodne platforme. Čeličnim cijevnim rešetkastim postoljem čvrsto je vezana za morsko dno pomoću pilota. Uz proizvodna postrojenja opremljena je i uređajima za bušenje na veće dubine. Fiksna gravitacijska platforma armiranobetonska je konstrukcija s dugim nogama i s donjim dijelom postolja u obliku ćelija, kesona ili spremnika koji služe kao spremnički prostor. Kada se dotegli na proizvodnu lokaciju, noge i spremnici pune se balastom, tako da vlastitom težinom uranja u morsko dno. Plutajuća platforma pričvršćena je za morsko dno sidrenim lancima, cijevima ili užadi. Primjenjuje se za veće dubine mora i može se premještati. Fleksibilno pričvršćena platforma učvršćena je za morsko dno zgloбно ili s pomoću temeljnih ploča i pripona.

S jedne platforme može se izraditi i do 60 bušotina, što ovisi o veličini polja, dubini i broju ležišta te načinu opremanja. Nafta i plin otpremaju se podmorskim cjevovodima na obalu ili se nafta na samome mjestu skladišti u spremnike platforme ili u brodove.

Istraživanje jadranskog akvatorija na naftu i plin započelo je 1970. godine. Danas su u vlasništvu hrvatskih tvrtki dvije bušaće platforme. Samopodižuća Labin (izgrađena 1985. godine u Brodogradilištu »Viktor Lenac« u Rijeci) te poluuronjiva platforma Zagreb I, izgrađena 1977. godine u Dunkerqueu. Na istražnom prostoru Sjeverni Jadran, korištenjem samopodiznih platformi, izbušeno je više od 130 istražnih i proizvodnih (razradnih) bušotina, izrađenih s 19 postolja proizvodnih platformi na plinskim poljima Ivana, Marica, Ika, Ida, Katarina, Irina, Ana, Vesna, Izabela, Annamaria i Ika-JZ. Samo platforme Ivana A i Annamaria A imaju stalno osoblje.

Tipovi platformi za izradu bušotina u dubokom moru

Pod uvjetnim terminom „duboko more“ podrazumijevaju se dubine koje se ne mogu dohvatiti korištenjem samopodižućih platformi (*engl. jack-up platform*). Najveća dubina mora koja je dohvatljiva samopodižućim platformama najnovije generacije danas iznosi 170 m. Od te, pa i nešto plićih dubina mora, moraju se koristiti platforme različitih konstrukcija koje omogućuju bušenje i/ili proizvodnju do danas ekstremnih dohvatljivih dubina koje već premašuju 3000 m. Na slici 1-1. prikazani su tipovi platformi za izradu bušotina u dubokim morima.



Slika 1-1. Vrste platformi za izradu bušotina u dubokim morima (www.pinterest.com)

Odabir tipa platformi koji će se primijeniti za izradu bušotina i proizvodnju ugljikovodika u određenom okruženju temelji se na razumijevanju brojnih pokazatelja, poput:

- geografskog položaja ležišta ugljikovodika;
- dubini mora i konfiguraciji morskog dna;
- udaljenosti od obale;
- veličini ležišta i količini pridobivih rezervi;
- cijenama nafte i plina;
- troškovima proizvodnje i transporta, itd.

Predmet ovog diplomskog rada bit će prikaz spar platformi i platformi s nategom u nogama (*engl. tension leg platform*; u daljnjem tekstu TLP).

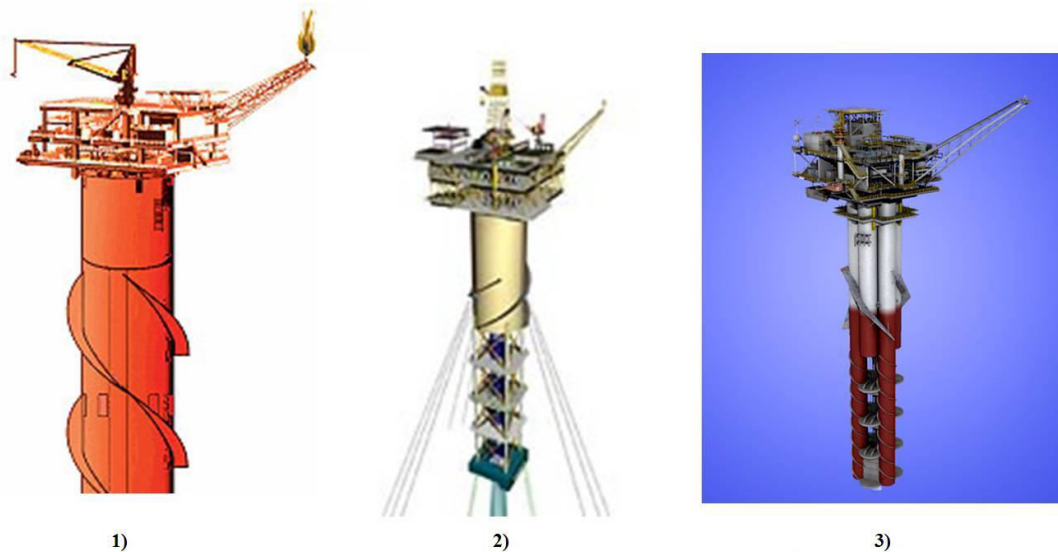
2. SPAR PLATFORME

Spar je plutajuća platforma za bušenje u dubokom moru. U prošlosti se često koristila za prikupljanje oceanografskih podataka, te za skladištenje nafte. Dubine mora u kojima se danas predviđa korištenje spar platformi je oko 3000 m (10 000 ft). Gotovo 90% platforme nalazi se ispod površine mora. Razvile su se kao alternativa konvencionalnim platformama. Zbog velike dubine gaza umanjen je utjecaj valova, morskih mijena, vjetra te morskih struja. Najrasprostranjenije su u Meksičkom zaljevu, Norveškoj i Maleziji. Platforma se sastoji od vertikalnog cilindričnog trupa velikog promjera koji podupire ponton. Pri dnu trupa nalazi se komora za punjenje koja služi za podešavanje visine težišta kako bi se osigurala potrebna stabilnost platforme. Komora se puni materijalom veće gustoće od gustoće vode. Dodatno, trup je okružen s helikodalnim rebrima (izbojima) koje smanjuju vrtložni utjecaj morskih struja. Na donji dio trupa učvršćuje se sustav sidrenih linija lanac-čelično uže-lanac ili lanac-uže od poliestera-lanac i sidri se o morsko dno korištenjem pilota. Na slici 2-1. prikazana je Perdido spar platforma.



Slika 2-1. Perdido spar platforma (www.rigzone.com)

2.1. Vrste spar platformi



Slika 2-2. Vrste spar platformi (minyakdangasmalaysia.blogspot.hr)

Na slici 2-2. prikazani su sljedeći, danas poznati, tipovi spar platformi:

- 1) klasična spar platforma-ima trup iz jednog komada
- 2) truss spar platforma-središnji dio podvodnog trupa je rešetkaste konstrukcije
- 3) cell spar platforma-trup sastavljen od više cilindričnih vertikalnih cijevi

Jedna od glavnih karakteristika spar platformi je povećana stabilnost s obzirom na maritimne utjecaje tijekom izrade ili proizvodnje iz bušotina. Zbog malih pomaka tijekom plutanja omogućene su različite izvedbe opreme bušotine odnosno mogu se koristiti sustavi s podvodnim ili površinskim erupcijskim uređajem sa ili bez bušačkog postrojenja i sa ili bez postrojenja za proizvodnju. Danas se unaprijeđuju spar platforme kako bi se poboljšale karakteristike s obzirom na područja u kojima se buši jer potražnja za naftom i plinom raste, buši se u sve dubljim vodama i zahtijevnijim uvjetima bušenja. Postoje modificirane konstrukcije, koje obuhvaćaju ugradnju spremnika za sirovu naftu unutar trupa platforme, kako bi se olakšalo korištenje površinskog erupcijskog uređaja i rajzer sustava osjetljivog

na pomake. Značajnije promjene u konstrukciji odnose se na primjenu platformi za duboko bušenje u arktičkom području gdje karakteristike platforme moraju omogućiti nesmetano funkcioniranje u teškim vremenskim uvjetima, razbijati led kao ledolomac uz mogućnost otpajanja u slučaju opasnosti od ledenih santi.

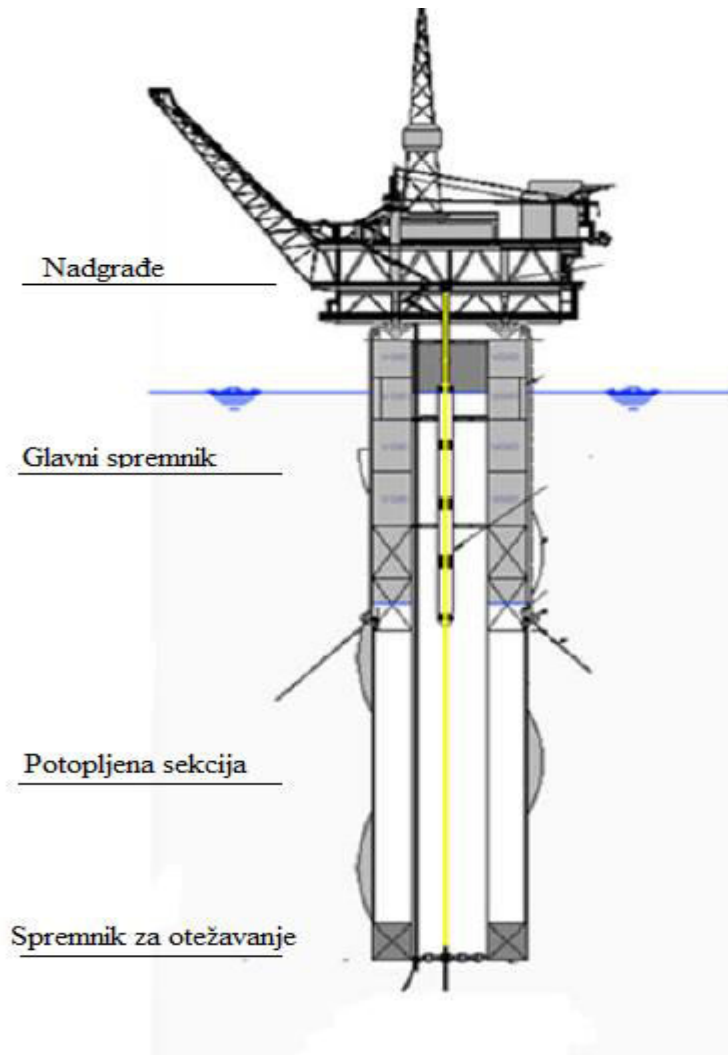
Funkcionalni zahtjevi, infrastruktura, konstrukcijski i instalacijski kapaciteti platforme bitno se razlikuju ovisno o regiji u kojoj se izvodi bušenje. Prema tome se i izrađuju i rekonstruiraju spar platforme. Za različita područja i uvjete rada koriste se spar platforme različitih konstrukcija koje mogu biti klasične, truss i cell spar platforme (Slika 2-2.). Specifična područja za bušenje i proizvodnju nafte i plina u kojima dolazi u obzir primjena spar platformi su: duboko more Meksičkog zaljeva, Jugoistočna Azija, Zapadna Afrika, Sjeverno more, Brazil i arktička područja Istočne Kanade i Barentsovo more.

Spar platforme su puno otpornije i stabilnije u odnosu na klasične platforme. Zahvaljujući dugačkom trupu stabilnost same strukture proizlazi iz različite visine težišta i visine djelovanja uzgona. Težište se može podesiti balastiranjem spremnika unutar trupa platforme. Minimalno ljuljanje spar platforme omogućava korištenje krutih rajzera (koji su osjetljivi na pomake) s nategom na površini (*engl. TTR-top tensioned riser*) i čelični ovješeni rajzerski sustav (*engl. SCRs-steel catenary riser system*) na dubinama mora od 300 do 3000 m. Postoji više varijacija tipova spar platformi ovisno o području i dubini na kojoj se koriste. Trenutno je u funkciji 17 spar platformi, od toga 3 klasične, 13 truss i 1 cell spar. Prva klasična spar platforma izrađena 1996. godine spar platforma Neptun. Trup klasične spar platforme sastoji se od tri glavna dijela (Slika 2-3.):

Cilindrični glavni spremnik (*engl. hard tank*) čini gornju sekciju trupa koji omogućava potreban uzgon za održavanje težine trupa, nadgrađa, rajzera i sustava sidrenja te uključuje odjeljke za balast kao i prazne, šuplje odjeljke.

Potopljena središnja šuplja sekcija, koja se nalazi ispod gornje cilindrične sekcije glavnog spremnika, osigurava odvajanje strukture gornje uzgonske i donje balastne sekcije.

Spremnik za otežavanje u kojem se nalaze fiksni balasti



Slika 2-3. Klasična spar platforma (Sablok, Barras 2009)

Sve instalirane klasične spar platforme imaju natezni sustav rajzera podržan s modulima za ostvarivanje uzgona. Truss spar platforma razvila se iz klasične spar platforme s ciljem da se može koristiti u težim vremenskim uvjetima, uz smanjenje težine trupa. Središnja cilindrična sekcija zamijenjena je s prozračnijom, lakšom rešetkastom konstrukcijom između kojih se nalaze metalne ploče za ublažavanje vertikalnih pomaka platforme (*engl. heave plates*). Truss spar ima smanjenu ukupnu težinu trupa u odnosu na klasičnu spar platformu i manja vertikalna kretanja izazvana utjecajem prirodnog okruženja. Smanjena hidrodinamička težina platforme i pomaci smanjuju potrebnu opremu za sidrenje i automatski smanjuju ukupnu cijenu same platforme. Manja težina i dimenzije olakšavaju izgradnju i transport trupa u jednom komadu. Prva truss spar platforma Nansen postavljena

je 2001. godine u Meksičkom zaljevu i sve su, osim jedne platforme takvog tipa, transportirane u jednom komadu na svoju poziciju.

Cell spar platforma je konstruirana za polja male i srednje veličine. Za razliku od klasične i truss spar platforme koje imaju trup velikog promjera izrađen iz jednog komada, trup cell spar platforme sastoji se od više vertikalnih cijevi malog promjera tvoreći simetričnu tvorevinu. Izrada ovakve strukture uključuje već poznati i uobičajeni postupak valjanja, uz brzinsko automatsko varenje, što omogućava manje troškove i bržu izradu same platforme kao i česte potrebne preinake za svako posebno područje bušenja. Prva cell spar platforma Red Hawk postavljena je 2004. godine u Meksičkom zaljevu. Koja će se vrsta platforme izabrati za bušenje ovisi o ukupnoj težini nadvodnog dijela (*engl. payload*), potrebnom skladišnom prostoru u trupu, funkcionalnosti i željenom načinu transporta na odredište.

Klasična spar platforma ima veliki proizvodni skladišni prostor. Jedna od opcija za skladištenje sirove nafte je ograđeni spremnik u središnjoj sekciji trupa platforme iznad spremnika za otežavanje. Središnji otvor za bušenje (*engl. moonpool*) proteže se od vrha trupa do skladišnog prostora na dnu. Sirova nafta može se skladištiti u razdvojenim odjeljcima u trupu, ali najbolji način je skladištenje iznad površine mora na samoj platformi. Ako se sirova nafta skladišti iznad površine mora, donji dio svakog odjeljka spremnika je otvoren prema moru. Voda ulazi ili izlazi unutar odjeljka na dnu trupa ovisno da li se puni ili istovaruje sirova nafta na površini. Ako je potrebno može se postaviti privremena brana izvan spremničkog prostora, zajedno s grijačem sirove nafte.

Sva nadgrađa spar platformi u Meksičkom zaljevu postavljena su pomoću barže dizalice za teški teret na trup platforme nakon što se trup prethodno uspravno postavi na svojoj poziciji. Nadgrađe za Kikeh spar platformu u Maleziji postavljeno je tzv. „floatover“ postupkom na licu mjesta. Jedan od načina transportiranja nadgrađa na lokaciju je tegljenjem kompletne strukture nadgrađa na brodu ili barži (baržama) (*engl. floatover*). Teret se navozi iznad balastiranog trupa i postavlja se na trup pomoću usadnih modula koji se dovode nad odgovarajuće usadne vodilice trupa. Kompletno nadgrađe se montira ili debalastiranjem trupa ili hidrauličkim sustavom (*engl. hydraulic jacking system*) podizanja/spuštanja nadgrađa instaliranim na barži. Nadgrađe se, ovisno o konstrukciji bušaće/proizvodne platforme, može uvući između usadnih vodilica ili se nadgrađe tegli na dvjema baržama koje se istovremeno kreću i navode nad vodilice te se zatim hidraulički

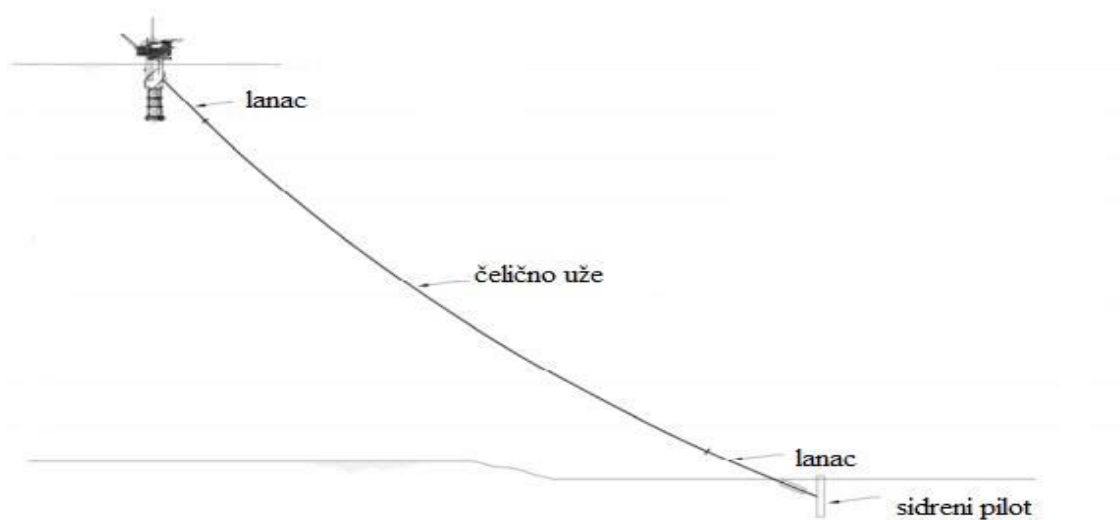
spušta. Kako bi se mogao izvesti taj postupak spar platforma mora imati mali gaz. To se postiže privremenim punjenjem praznih odjeljaka morskom vodom i potapljanjem trupa. Odjeljci u ravnini vodene linije potpuno su popunjeni morskom vodom tijekom navođenja i spajanja kako bi se smanjio rizik od daljnjeg gubitka uzgona spar platforme u slučaju sudara s baržom za tegljenje ili drugim plovnim objektima. Glavna prednost takvog načina tegljenja i spajanja je što omogućava izgradnju i postavljanje nadgrađa iz jednog komada do težine 32000 tona na licu mjesta s time da se većina radova na kompletiranju nadgrađa obavlja u samom brodogradilištu. Takvim se postupkom smanjuje korištenje velikih plovnih dizalica, montaža na moru i značajno se smanjuje vrijeme do proizvodnje prve nafte. Može se izvoditi u lošijim vremenskim uvjetima nego što je slučaj kod korištenja barže dizalice i nije ovisan o dostupnosti same dizalice. Svi ti faktori utječu na konačnu povoljniju cijenu kompletiranja spar platforme. U počecima izgradnje spar platformi, nateg rajzera s površine (*engl. top tensioned riser, TTR*) je bio potpomognut uzgonskim spremnicima smještenim u središtu glavnog spremnika (*engl. hard tank centrewell*). Posljednje tri spar platforme s površinskim nateznom sustavom rajzera imaju hidrauličko-pneumatski natezni sustav za potporu TTR-u. Kod hidrauličko-pneumatskog nateznog sustava težina rajzera prenosi se na trup platforme. Postoje čeljusni i viseći hidrauličko-pneumatski natezni sustavi. Razlog zbog kojeg se počeo koristiti hidrauličko-pneumatski natezni sustav su veće dubine bušenja što znači veća duljina i težina rajzera koji treba biti pod nategom s površine. Jednostavno je postalo nepraktično korištenje uzgonskih spremnika zbog dizajna samog spara kao i njihova smještaja u sredini trupa. Na svim spar platformama koje su danas u upotrebi podvodni povezni proizvodni rajzeri su pretežito čelični progibni rajzeri (*engl. steel catenary risers, SCR*) ili fleksibilni sustav rajzera. Dok se na spar platformu može ugraditi pomični zglobovi ili prihvatna mjesta za odsjedanje rajzera, tipa cijevi za rasterećenje naprezanja (*engl. stress joint type hang-off porches*), reakcija spara na blagi pomak omogućuje primjenu drugih tipova kliznih rasteretnih cijevi (*engl. pull tubes/I tubes*) za oba tipa poveznih proizvodnih rajzera (SCR i fleksibilni sustav). Ovo omogućuje puno jednostavnije instaliranje i ovjes rajzera sa samo jednim vitlom instaliranim na platformi za povlačenje rajzera korištenjem klizne cijevi i rastavljive prirubnice za vješanje/odsjedanje (*engl. split flange hang-off connection*) u razini podišta spar platforme, bez potrebe za ronionicima i podvodnom daljinski upravljivom podmornicom za manipulaciju spojnim elementima i prirubnicama.

2.2. Sidrenje i transport trupa platforme

U prvoj fazi postavljaju se sidreni piloti zajedno sa sidrenom linijom na dno mora. Na slici 2-4. prikazan je sidreni sustav spar platforme.

Sidreni sustav se sastoji od:

- pilota
- lanaca na dnu
- čeličnog užeta
- lanaca na platformi



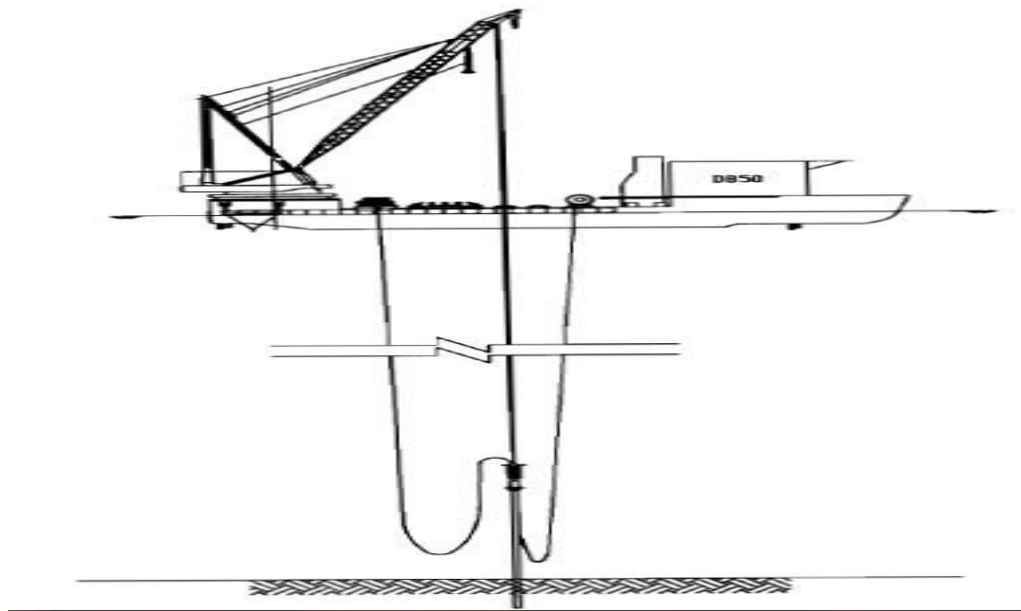
Slika 2-4. Sidreni sustav (Kocaman, Verdin 1997)

Piloti se postavljaju prije dolaska trupa spar platforme na poziciju. Prilikom postavljanja moraju se zadovoliti određeni kriteriji (Kocaman, Verdin 1997):

- dopušteno odstupanje pilota od prethodno određene pozicije prilikom postavljanja iznosi oko 9 m;

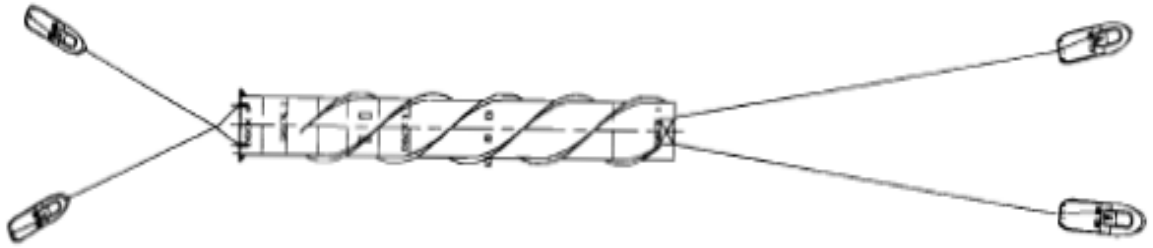
- odstupanje pilota od vertikale do 5°;
- na dnu mora vrh pilota smije izvirivati oko 1,5 m;

Piloti se nabijaju o morsko dno uz pomoć čekića za nabijanje kojim se upravlja sa površine (Slika 2-5.).

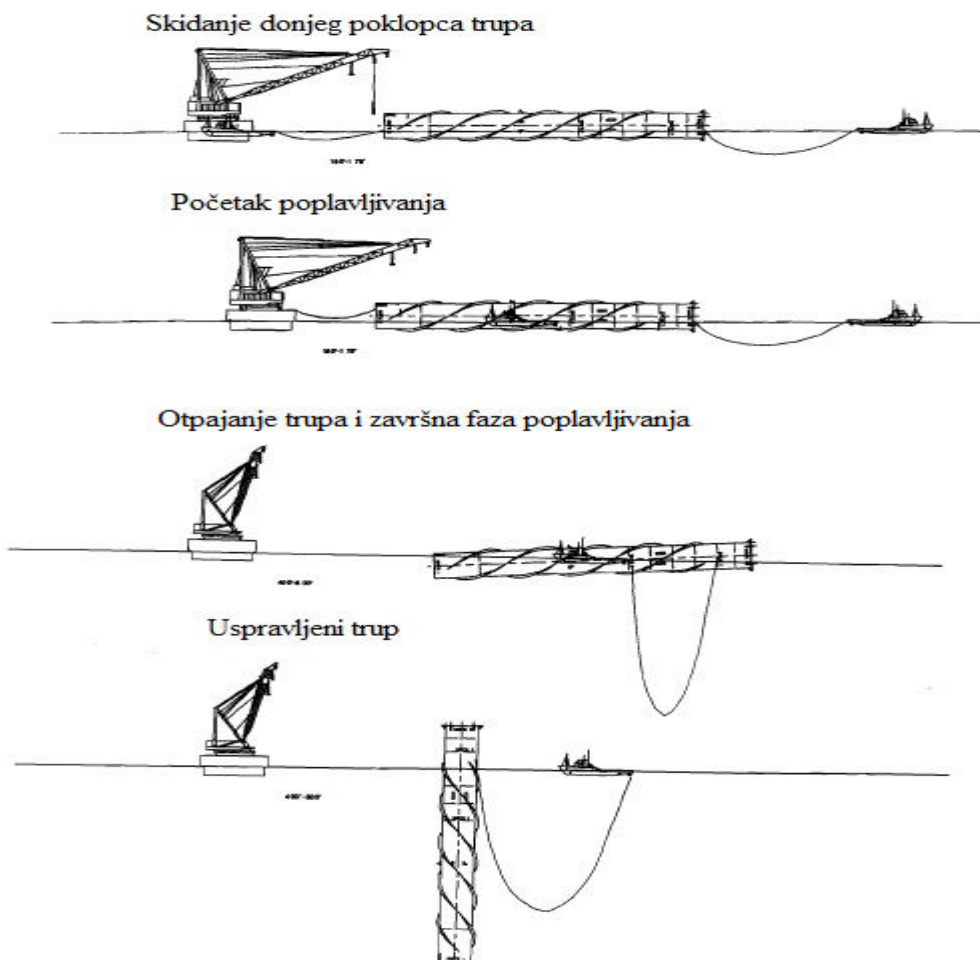


Slika 2-5. Postupak postavljanja sidrenog pilota korištenjem čekića za nabijanje (Kocaman, Verdin 1997)

U drugoj fazi trup platforme se mora transportirati na željeno mjesto, povezati sa sidrenom linijom i postaviti u uspravan položaj. Transport trupa može se obaviti tegljenjem na barži ili korištenjem brodova tegljača (Slika 2-6.). Ukoliko se koriste tegljači, trup se može transportirati s potopljenim ili suhim prostorom za smještaj ušća bušotina (*engl. wellbay*). U slučaju suhog prostora, tijekom tegljenja moraju se određeni balastni spremnici napuniti vodom, kako bi se trup mogao transportirati s potrebnom dinamičkom stabilnošću. Kako ne bi došlo do poplavlivanja središnjeg dijela bušotinskog prostora tijekom transporta se na dno i vrh trupa postavljaju sigurnosne ploče. Za transport trupa koriste se tegljači. Kada je trup na željenoj poziciji poplavljuje se spremnik za balast, voda ulazi u središnju sekciju trupa koji se polako uspravljuje. Postupak uspravljanja traje oko 15 min (Slika 2-7.).



Slika 2-6. Transport trupa spar platforme tegljačima (Kocaman, Verdin 1997)



Slika 2-7. Uspravljanje trupa spar platforme (Kocaman, Verdin 1997)

2.2.1. Postavljanje postolja na trup platforme

Postoje dva načina instaliranja postolja na trup platforme, uz pomoću barže dizalice za teški teret i tegljenjem na brodu ili barži i navođenjem na trup (Slika 2-10.). Najam barže dizalice je jako skup, nisu uvijek raspoložive i zbog toga se rjeđe koriste. Ukoliko se nadgrađa postavlja dizalicom za težak teret, njom se obično manipulira sa segmentima koji se postupno sastavljaju na licu mjesta (Slika 2-8.).



Slika 2-8. Postavljanje nadgrađa spar platforme barža dizalicom za težak teret (www.quora.com)

2.2.2. Postupak sastavljanja nadgrađa i trupa korištenjem barži/brodova

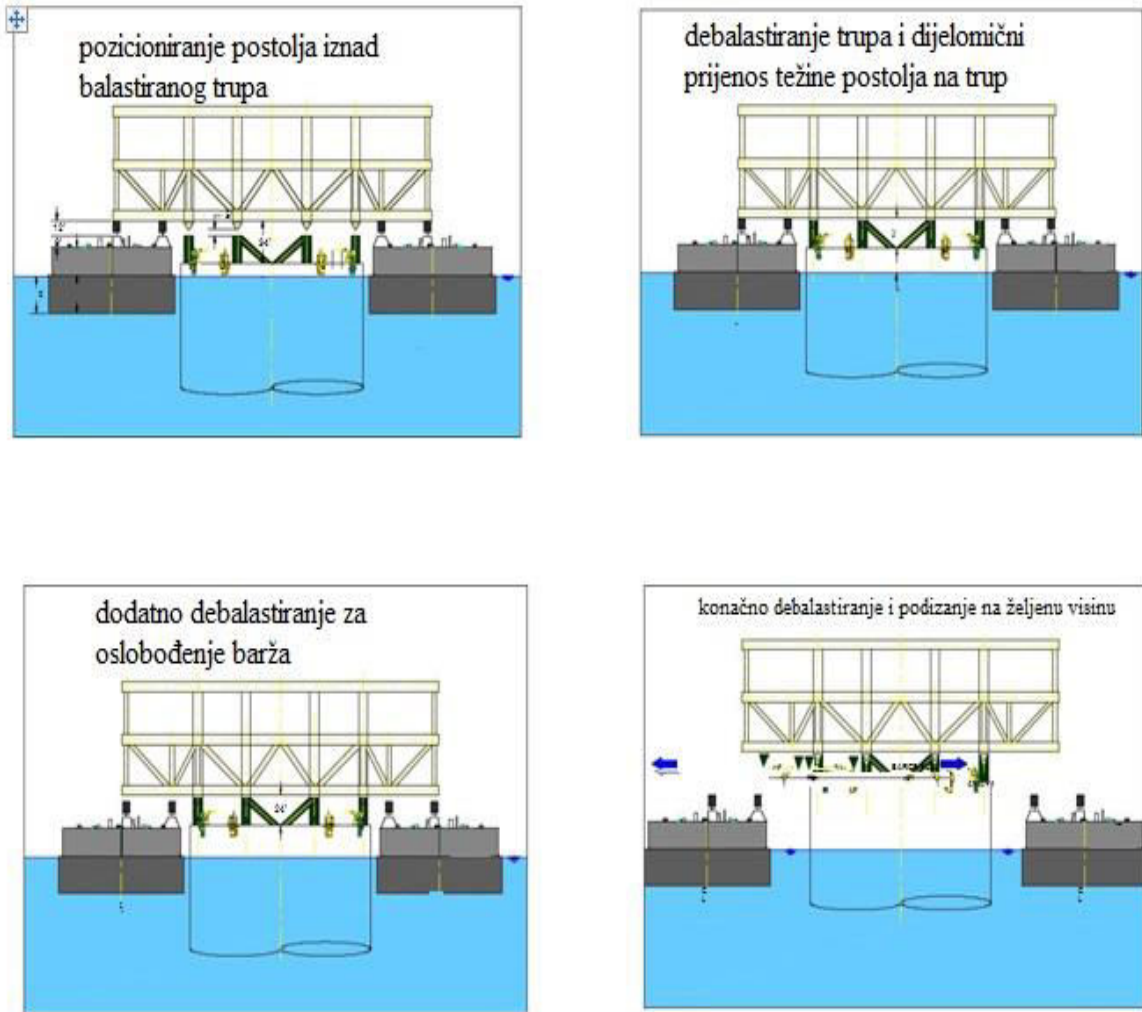
Postolje platforme postavlja se u brodogradilištu na dvije barže ili broda. Nakon što se postolje postavi na barže, učvršćuje se i barže se debalastiraju na dubinu gaza koja je pogodna za transport. Kada barže zajedno s postoljem dođu blizu trupa platforme tegljači se spajaju sa sidrenom linijom sa svake strane kako bi se moglo bolje izvesti pozicioniranje postolja iznad trupa. Dvije su kritične situacije kod takvog načina spajanja:

- 1) trenutak spajanja trupa s postoljem;
- 2) odvajanje barži od postolja.

Trup je prethodno balastiran na određenu visinu. U trenutku kada se postolje nalazi iznad trupa i želi se obaviti njihovo spajanje, trup se debalastira a barže se po potrebi balastiraju. Usadni moduli (Slika 2-9.) u obliku konusa i usadne vodilice olakšavaju pozicioniranje i spajanje. Nakon završenog spajanja barže se izvlače.



Slika 2-9. Spajanje nadgrađa s trupom spar platforme (www.offshorekinematics.com)



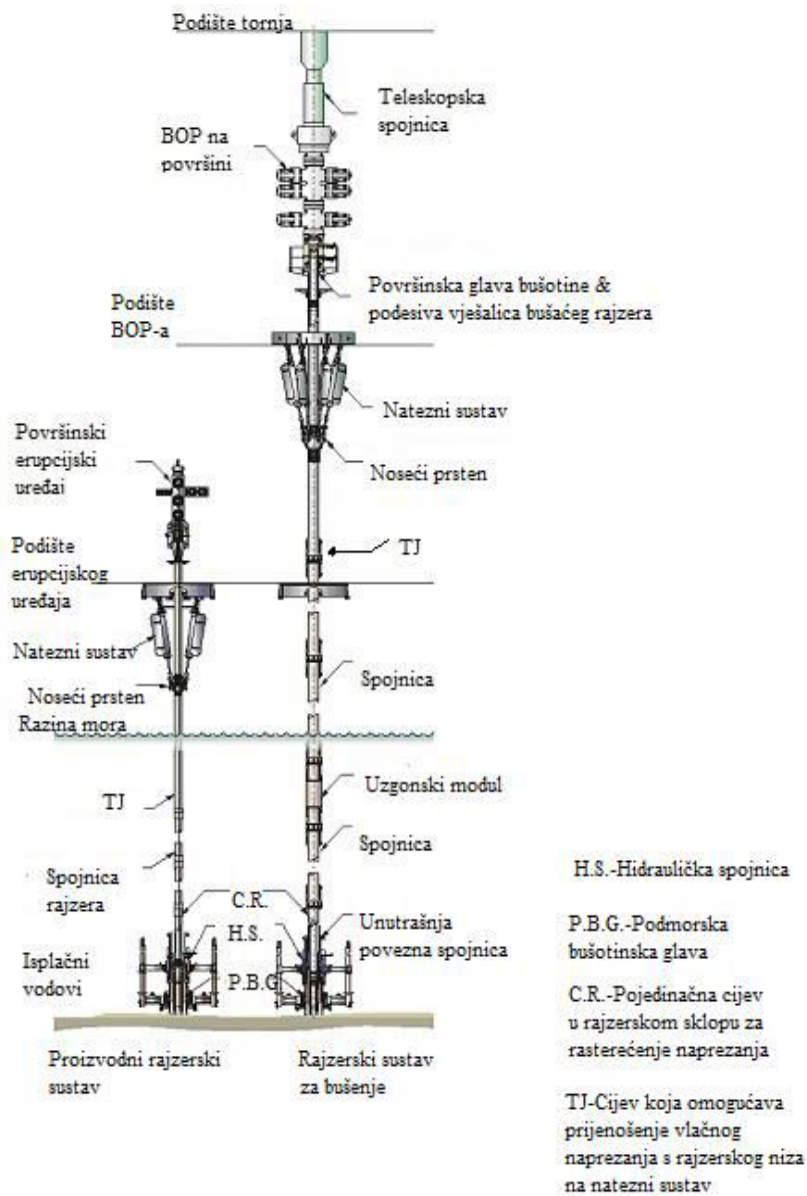
Slika 2-10. Postupak sastavljanja nadgrađa i trupa korištenjem barži (Maher et al. 2001)

2.3. Rajzer pod nategom na površini (*engl. top tensioned riser – TTR*)

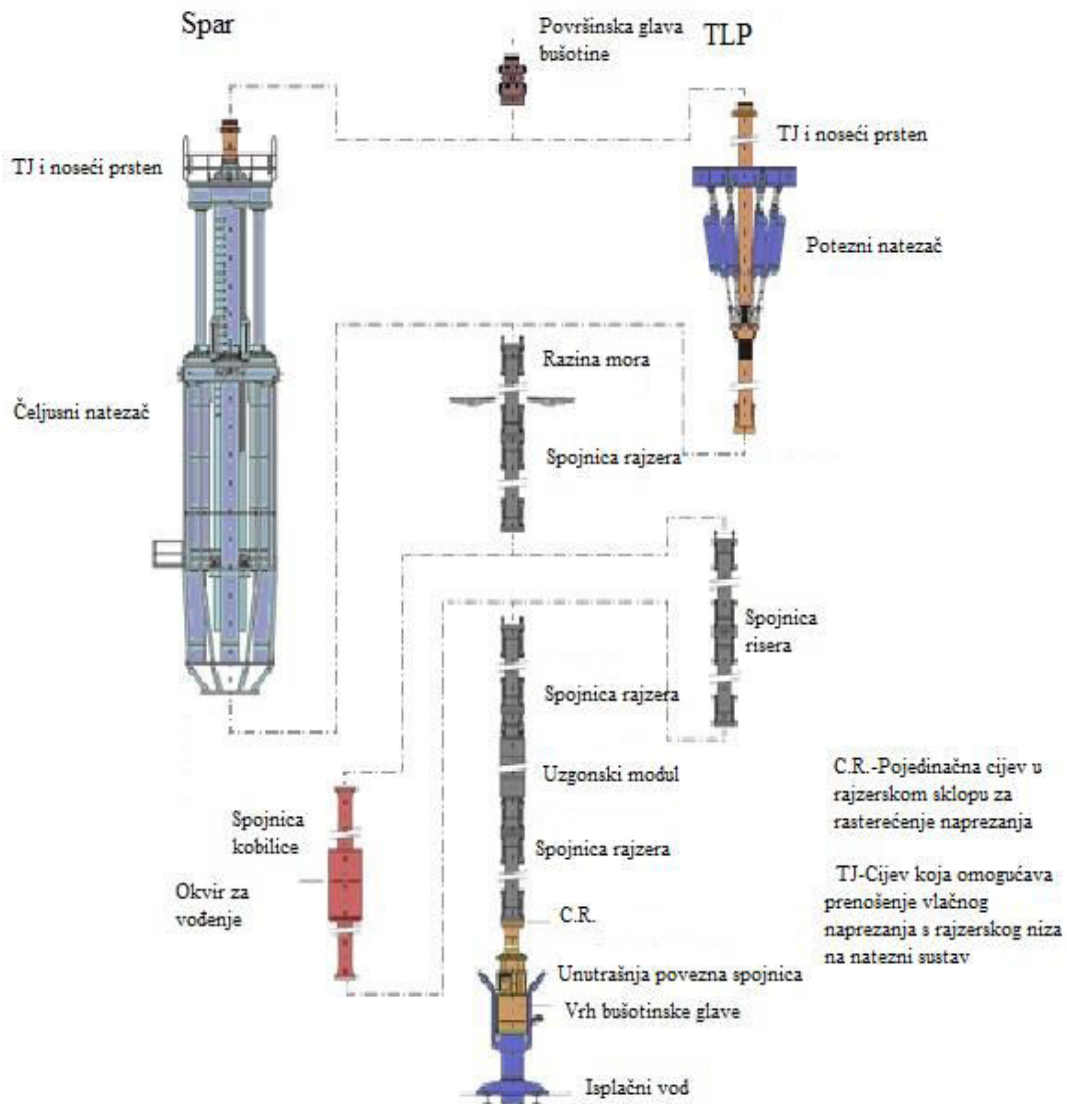
Na plutajućim proizvodnim postrojenjima koriste se i bušači i proizvodni rajzeri (vertikalni (usponski) cijevni nizovi). Bušači rajzer na plutajućim proizvodnim postrojenjima (TLP i spar platformama) sličan je onome na mobilnim postrojenjima za bušenje na moru (*engl. mobile offshore drilling unit - MODU*) osim što se koristi površinski preventerski sklop (*engl. blowout preventer stack – BOP*). Dakle, rajzer se smatra dijelom preventerskog sklopa i zbog toga se može zahtijevati njegova veća otpornost na tlak nego kod konvencionalnog sustava rajzera za bušenje. Još jedna razlika je u tome što se upravo zbog površinskog BOP-a ne koriste vodovi za gušenje i prigušivanje.

Proizvodni rajzer ima manji promjer od rajzera za bušenje jer ne mora imati prolaznost za cjelokupnu opremu ušća bušotine i alate; manji je promjer poželjan kako bi se smanjile uzdužne sile i njegova ukupna težina. Vanjski promjer kreće se u rasponu od 0,279 m do 0,305 m (11“ - 12“) ukoliko se radi o jednostrukom sustavu rajzera ili od 0,356 m do 0,381 m (14“ – 15“) ako se radi o dvostrukom sustavu rajzera (Slika 2-13.).

Na slici 2-11. prikazan je proizvodni i bušači rajzerski sustav spara a na slici 2-12. razlike između rajzerskog sustava spar platforme i platforme s nategom u nogama. Rajzer se spaja s podmorskim ušćem bušotine pomoću hidrauličke spojnice korištenjem daljinski upravljive ronilice (*engl. remotely operated vehicle – ROV*). Sustav rajzera može biti desetljećima u zabavljenom položaju na podmorskoj bušotinskoj glavi pa zbog toga spoj mora biti otporan na koroziju, zamor materijala i biti pouzdan bez potrebnog održavanja. Pojedinačna cijev u rajzerskom sklopu za rasterećenje naprezanja (*engl. stress joint*) je jedan od glavnih i najskupljih dijelova u sustavu. Dopušta savijanje rajzerskog sustava i omogućuje dispergiranje naprezanja bez opasnosti od pucanja. Za razliku od uobičajenih rajzerskih cijevi, kritične komponente njene izrade su promjeri i površinska obrada što ograničava broj proizvođača koji su u stanju izvesti potrebnu toplinsku obradu materijala. Duljina takve cijevi je oko 15 m (50 ft).



Slika 2-11. Rajzerski sustav za bušenje i proizvodnju (Dunn 2013)

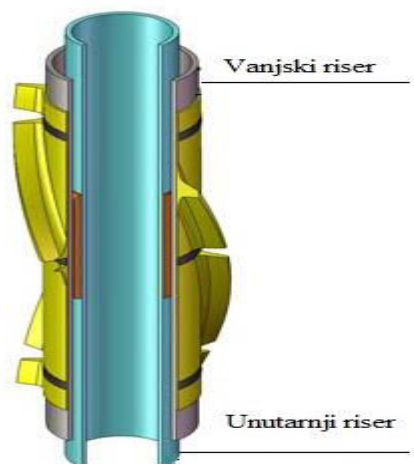


Slika 2-12. Spar i TLP rajzerski sustav (Dunn 2013)

Površinski erupcijski uređaj kruto je spojen na vrh rajzera i kreće se zajedno s cijelim sustavom. Spojen je na proizvodni sustav na platformi pomoću fleksibilne cijevi sa spojnicom (*engl. flexible jumper*) koja se prilagođava tim gibanjima. Rajzeri mogu biti jednostruki ili dvostruki. Koji sustav će se koristiti ovisit će o radovima koji se planiraju, ležišnom tlaku, dubini mora, cijeni, pouzdanosti i sigurnosti sustava. Jednostrukim rajzerom smanjuje se težina sustava, cijena i dopušta manji vanjski promjer što smanjuje i

potreban nateg. Međutim, jednostruki rajzerski sustav povećava rizik po okoliš. Dvostruki sustav rajzera predstavlja dodatnu barijeru, omogućava otkrivanje propuštanja putem praćenja prstenastog prostora te poboljšava izolaciju. Unatoč većoj cijeni i težini samog sustava dvostruki sustav rajzera se danas smatra povoljnijom konfiguracijom zbog navedenih prednosti.

Cijev koja omogućava prenošenje vlačnog naprezanja s rajzerskog niza na natezni sustav (*engl. tension joint, TJ*) je još jedan kritični spojni element u sustavu rajzera. Pričvršćena je na dosjedni prsten koji je sastavni dio nateznog sustava. Cijev je s prstenom učvršćena navojnim spojem kako bi se omogućilo podešavanje položaja i potrebnog hoda nateznog sustava. Mogućnost potrebnog podešavanja na nateznoj cijevi (TJ), te stoga njena ukupna dužina, ovisna je o duljini rajzera, njezinoj krutosti i poniranju same platforme. Vrijedi pravilo da čim je veća dubina mora bit će potrebno više podešavanja natega TJ-a.



Slika 2-13. Dvostruki sustav rajzera (www.2hoffshore.com/documents)

Platforme s nategom u nogama (TLP)

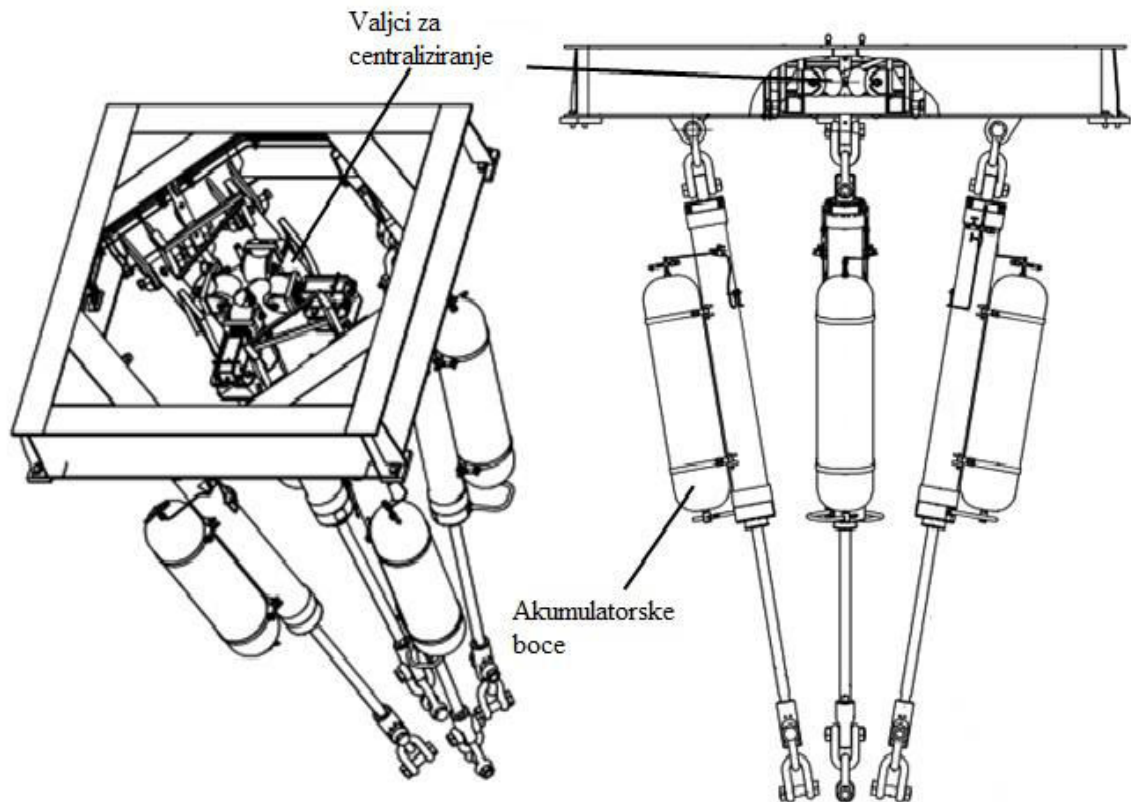
Glavna svojstvo koje opisuje kretanja platformi s nategom u nogama (*engl. tension leg platform, TLP*) je što nema poniranja (vertikalnog pomaka) platforme, zbog čega se ostvaruje malo relativno vertikalno kretanje između same platforme i sustava rajzera. To

omogućava upotrebu nateznog sustava rajzera (*engl. tensioner system*) malog hoda. Standardni natezni sustav sastoji se od niza cilindara koji su pričvršćeni na noseći prsten (*engl. tension ring*). Unutar nateznog sustava rajzera se mogu vertikalno i bočno pomicati kako god se platforma bočno pomiče. Spoj između osovine cilindra i nosećeg prstena mora omogućiti prilagođavanje takvom kretanju. Potezni natezači (*engl. pull-up tensioner*) su općenito manji, jednostavniji i jeftiniji od čeljusnih (*engl. ram tensioner*).

Na slici 2-14. je prikazan Kizomba TLP proizvodni natezni sustav. Duljina hoda mu iznosi 1,78 m, a nominalna vlačna sila je 9,42 MN. Stvarna sila ostvarena natezačem zapravo ovisi o njegovu položaju na svome putu, a maksimalno vršno opterećenje kod punog hoda može biti dvostruko od nominalnog. Kizomba bušaći natezni sustav ima slične karakteristike samo što koristi osam cilindara kako bi postigao nominalnu vlačnu silu od 18,84 MN ($1,92 \times 10^6$ lb). Duljina hoda je identična. Površina okvira natezača iznosi 0,0916 m² (142 in²). Visina nateznog sklopa se kreće u rasponu od 6,4 m (252 in - kod najvećeg hoda prema dolje) do 4,6 m (182 in - kod najvećeg hoda prema gore) (Dunn 2013).

Unutrašnji rajzer, kad se koristi, učvršćen je u unutrašnjosti bušotinske glave preko prijelaza za zaključavanje (*engl. lockdown sub*), ili s rajzerskom cijevi za rasterećenje natega (*engl. stress joint*) pomoću unutrašnje povezne spojnice (*engl. tieback connector, ITB*). ITB osigurava brtvljenje posljednje vješalice kolone zaštitnih cijevi unutar glave bušotine i dopušta ostvarivanje potrebnog natega na unutrašnji rajzer. Nakon ostvarivanja potrebnog natega, unutarnji rajzer se reže i odsjeda unutar površinskog ušća bušotine. Nisu potrebne nikakve posebne spojnice u sastavu kolone unutarnjeg rajzera osim centralizera.

Vanjski rajzer ima veći vanjski promjer, veća je krutost niza, a s tim u vezi i veća vršna naprezanja. Zbog toga se vanjski rajzer primarno smatra strukturalnom komponentom u sustavu dvostrukog rajzera. Ne postoji univerzalni, preporučljivi dizajn proizvodnog rajzerskog sustava već se za svaku specifičnu primjenu dizajnira novi sustav. Opća analiza rajzerskog sustava obuhvaća zahtjeve koji proizlaze iz potrebnog natega u sustavu, savijanja i zamora materijala.



Slika 2-14. Kizomba TLP proizvodni natezni sustav (Dunn 2013)

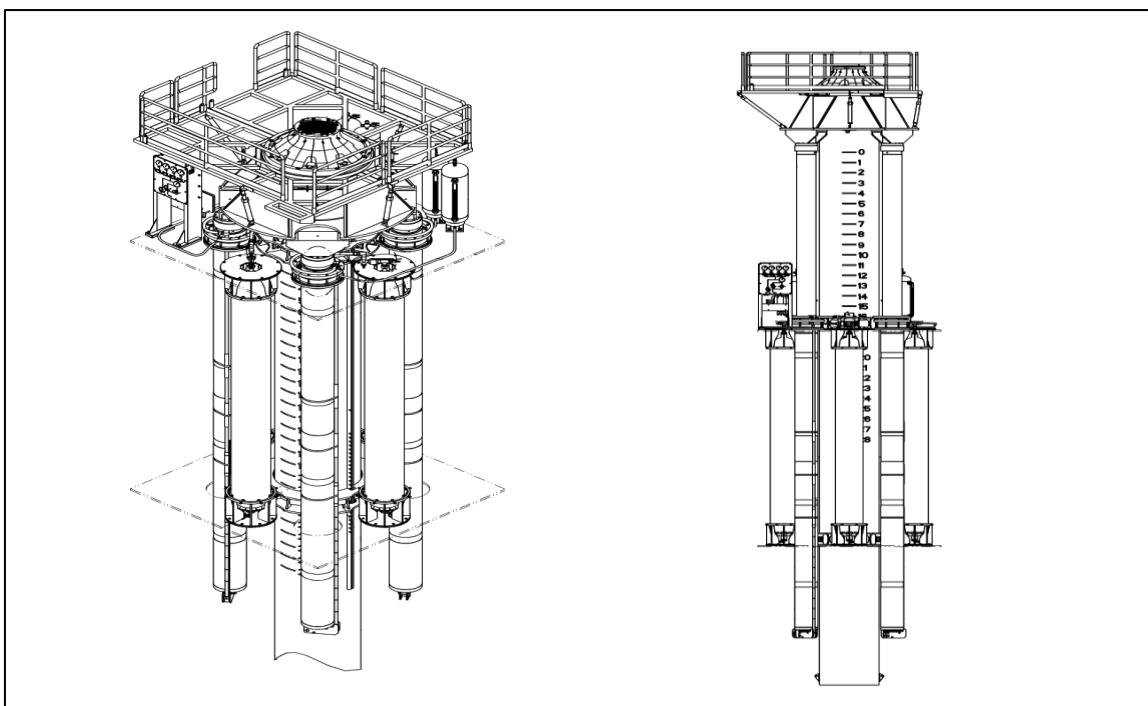
Spar platforme

Prve spar platforme koristile su zračne spremnike za nateg sustava rajzera. Zračni spremnici ostvaruju gotovo konstantan nateg tijekom korištenja ali može doći do njihova oštećenja zbog međudjelovanja s rajzerima ili trupom platforme. Sposobnost ostvarivanja natega pomoću zračnog spremnika izravno ovisi o njegovoj veličini. Dimenzije spremnika ograničene su prostorom unutar glavnog trupa platforme (*engl. spar hard tank*) kao i promjer koji je ograničen prostorom u kojem su unutar glavnog trupa smješteni ušće bušotine i erupcijski uređaj (*engl. well bay spacing*). Budući da je težina rajzera proporcionalna dubini vode te se udaljenost do nosećeg dijela strukture (*engl. truss spar*) smanjuje u odnosu na visinu glavnog uzgonskog spremnika (gornji dio trupa platforme), zračni spremnici postaju nepraktični za primjenu u dubokim morima. Osim toga, postavljanje i održavanje zračnih spremnika je puno kompliciranije i skuplje nego kod primjene čeljusnog tipa nateznog sustava. Posljednjih se godina zračni spremnici gotovo ne

koriste, ali u nekoj se modificiranoj formi takav način može ponovno pojaviti u praksi ukoliko se riješe problemi s dizajnom.

Čeljusni suosni natezači dopuštaju samo vertikalno kretanje, a ne i bočni pomak sustava rajzera. Takvo ograničenje omogućuje puno veći hod. Na slici 2-15. je prikazan Perdido natezni sustav čija je duljina hoda 8,38 m (27,5 ft), a nominalna nosivost sustava 14,72 MN ($1,5 \times 10^6$ lb). Površina okvira natezača (*engl. tensioner footprint*) iznosi 3,94 m \times 4,47 m (155 \times 176 in), a ukupna visina 16,51 m (650 in) (Dunn 2013).

Holstein je bila prva spar platforma koja je koristila suosni čeljusni ili potisni (*engl. push-up*) natezni sustav. Sastoji se od hidro-pneumatskih cilindara koji se upiru o noseći natezni prsten. Čeljusni natezači imaju nekoliko prednosti. Na manjem se prostoru i jednostavnije povezuju s postrojenjem i rajzerom što osigurava pouzdanost te jednostavnije instaliranje i održavanje. Ukoliko je potrebno, pojedinačni se cilindri lakše uklanjaju i nadomještaju. Osiguravaju veću fleksibilnost kontrole natega rajzera podešavanjem tlaka u cilindrima te volumena zraka i ulja, što osim operativnih svojstava omogućuje brži razvoj novih dizajna postrojenja s većim prostorom za smještaj ušća bušotine i erupcijskog uređaja nego ranije.



Slika 2-15. Perdido natezni sustav (Dunn 2013)

Bušaće operacije na platformi s površinskim erupcijskim uređajem

Spar platforme mogu imati instaliran površinski ili podvodni (otvoreni) erupcijski uređaj ili njihovu kombinaciju. Razlika je u tome što je podvodni erupcijski uređaj tip proizvodnog erupcijskog uređaja (s ventilima, sapnicama i manometrima) koji se instalira na ušću bušotine na morskom dnu i izložen je vodi (nije smješten u komori ušća bušotine). Takav tip protuerupcijskog uređaja opslužuju ronjoci. Na slici 2-16. prikazane su platforme s površinskim erupcijskim uređajem koje izvode različite bušaće operacije:

a) Prethodno bušenje (*engl. pre-drill*) – bušotine se izrađuju korištenjem bušaće platforme, bušotine se zatim opremaju sa spar platforme korištenjem remontnog postrojenja koje je na njoj instalirano. Postrojenje se također može koristiti za potrebe održavanja bušotine tijekom radnog vijeka platforme.

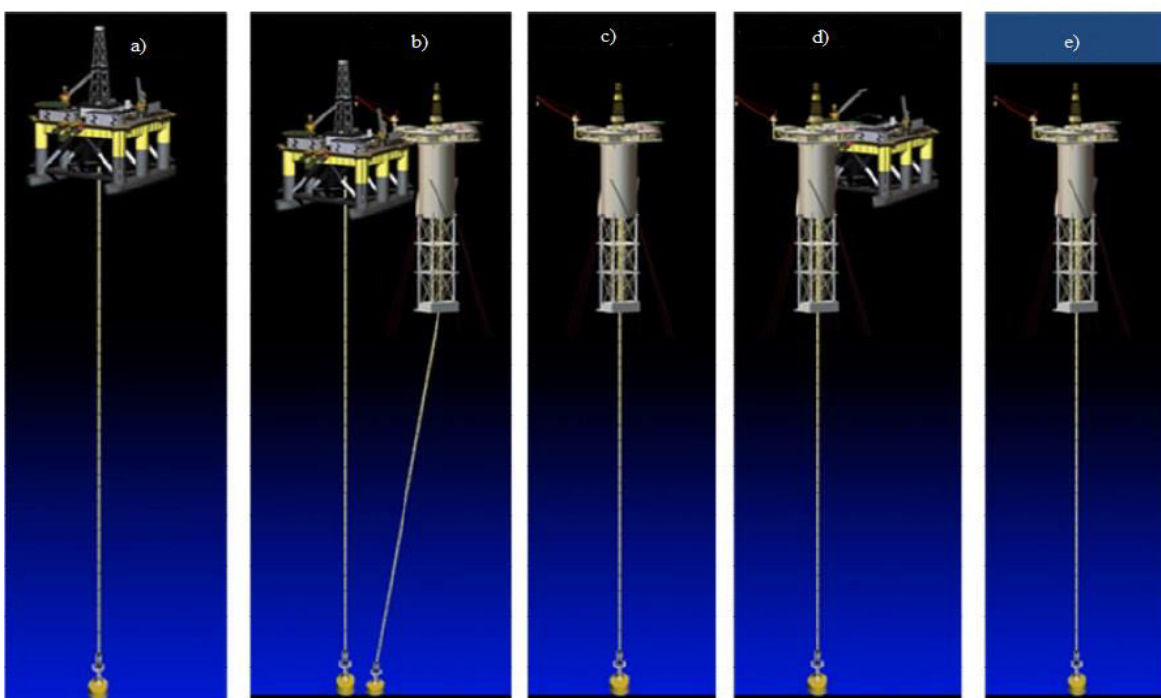
b) „Offset“ bušenje – smisao bušenja s pomakom platforme (*engl. offset drilling*) sličan je prethodnom bušenju, ali se obavlja sa spar platformom već postavljenom na predviđenoj poziciji. Spar platforma se pomiče na dovoljnu udaljenost od bušotine koja je potrebna da se iznad njenog ušća postavi bušaća platforma kako bi izradila bušotinu. Pomak spar platforme postiže se povlačenjem (*engl. pulling in*) ili odmatanjem (*engl. paying out*) sustava sidrenih linija tako da se ne zahtijeva intervencija drugih plovila. Bušotina se zatim završno proizvodno oprema i kasnije održava korištenjem instaliranog remontnog postrojenja, kako je ranije opisano.

c) Bušenje s platforme – bušotine se izrađuju korištenjem bušaćeg postrojenja koje se nalazi na spar platformi. Njime se također mogu obaviti operacija opremanja i održavanja bušotina. Nakon što su bušotine izrađene alternativu umjesto bušaćeg postrojenja može predstavljati manje remontno postrojenje, ovisno o operacijama i zahvatima koje je potrebno obaviti.

d) Bušenje uz pomoć pomoćne platforme (*engl. tender assist drilling, TAD*) - bušenje se obavlja sa spar platforme uz pomoć dodatne platforme koja je s njom spojena. Bušaća oprema se s pomoćne platforme premješta na nadgrađe spar platforme dok je varijabilni teret (slagalište šipki, isplačni bazeni, spremnici, itd.) smješten na pomoćnoj platformi. Time se smanjuje težina bušaćeg tereta na samoj spar platformi. Na isti način se može

izvesti i opremanje bušotina. Za razliku od toga, održavanje se izvodi s remontnim postrojenjem instaliranim na spar platformi kad uz nju nije pomoćna platforma.

e) Direktni vertikalni pristup (*engl. direct vertical access, DVA*) - bušotine su raspoređene na dnu mora ispod spar platforme i može im se za bušenje ili remont pristupiti natezanjem sidrenih linija (*engl. winching over*) ili poravnavanjem (*engl. lining up*) bušačeg/remontnog postrojenja s podvodnim ušćima. Proizvodnja iz različitih podvodnih bušotina se obavlja korištenjem razdjelnika s kojih se fluid na platformu prenosi pomoću rajzera pod nategom na površini (TTR) ili ovješnog rajzerskog sustava (*engl. catenary risers*).



Slika 2-16. Bušaće operacije na platformi s površinskim erupcijskim uređajem (Sablok, Barras 2009)

U svim slučajevima spar platforme imaju mogućnost samopomicanja po površini mora uz pomoć vitla i sidrenih linija do željene pozicije iznad bilo koje bušotine na dnu, kao što je prethodno opisano. Sustav rajzera je zaštićen unutar trupa platforme od površinskih struja i valova pa nije potrebna natezna užad za završavanje bušotinske glave ili sustava rajzera.

2.4. Čelični ovješeni rajzerski sustav

Čelični ovješeni rajzer, SCR spada u posebnu skupinu prilagodljivih rajzera (*engl. compliant risers*). Izrađeni su na način da se prilagođavaju dinamičkom gibanju plovnog objekta bez potrebe korištenja dodatne opreme za kompenzaciju kretnji ili poniranja. Prvi puta se koristio 1994. godine na Shellovoj TLP Auger platformi na dubini mora 872 m. Danas se SCR tehnologija pokazala kao vrhunsko rješenje za proizvodnju ugljikovodika u dubokom moru. Prednost SCR-a je ekonomična konstrukcija i instalacija sustava te jeftina i jednostavna izrada dužih i većih sekcija. Zahvaljujući materijalu od koje su izrađene, cijevi su otpornije na tlak gnječenja i tlak rasprskavanja koji se povećavaju proporcionalno s dubinom mora. Čelične cijevi se mogu dodatno legirati kako bi im se povećala čvrstoća. SCR-ovi su osjetljiviji na dinamička kretanja kad su olakšani u vodi (na primjer proizvodni rajzeri ili rajzeri za injektiranje).

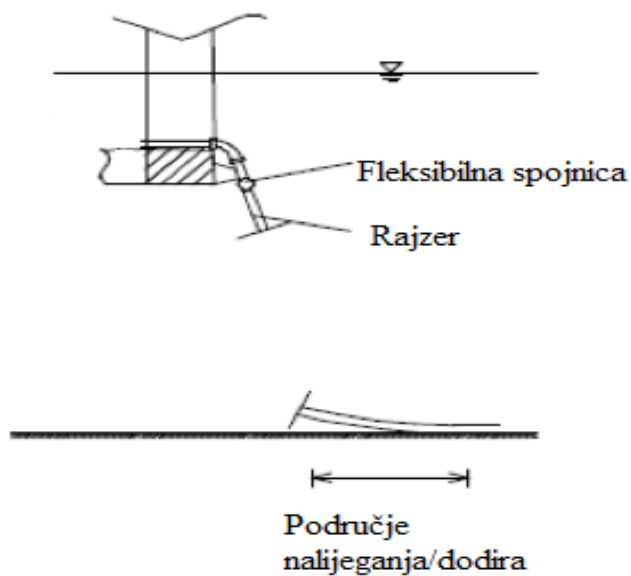
2.4.1. Dijelovi SCR-a

U nastavku su opisani dijelovi SCR sustava zaduženi za kontrolu stabilnosti i opterećenja te za protok fluida.

Stabilnost i opterećenje

Vanjske sile i opterećenja konstantno djeluju na rajzer. Slijede dijelovi zaduženi za kontrolu stabilnosti i opterećenja (slika 2-17.).

Fleksibilna spojnica: Smanjuje moment savijanja na vrhu SCR sustava. Sastoji se od naizmjeničnih slojeva elastomernog materijala i metala koji dopuštaju kutni progib rajzera pri vrhu sustava.



Slika 2-17. Čelični ovješeni rajzerski sklop (Buberg 2014)

Cijev za rasterećenje natega: spaja krutu fiksiranu i manje krutu sekciju rajzera. Smanjuje pojavu lokalnog naprezanja na savijanje i istovremeno osigurava veću fleksibilnost rajzera pri vrhu.

VIV trake (*engl. vortex induced vibrations strakes*)(slika 2-18.): U dubokim vodama pojavljuju se jake morske struje koje uzrokuju vrtložne vibracije na sustav te u takvim slučajevima VIV trake smanjuju moguća oštećenja uslijed zamora materijala.



Slika 2-18. VIV trake (Buberg 2014)

Protok fluida

SCR se sastoji od dva dijela: sekcije statičkog protoka i dinamične rajzer sekcije. Statična rajzer sekcija se proteže od dodirne točke (*engl. touch down point, TDP*) do završetka SCR sustava na dnu mora dok se dinamična sekcija proteže od TDP do mjesta na spoju s plovilom. Ta je sekcija puno izloženija djelovanju sila.

Te dvije sekcije tvore cjelokupni rajzerski sustav. Spojna mjesta u sustavu rajzera mogu se podijeliti na spojnice na početku i na kraju rajzera - to su spojevi rajzera s plovilom i spojevi na završetku rajzera na dnu mora. Spojevi su hermetični na oba kraja. Spoj na kraju rajzera na dnu mora se prilagođava opterećenjima uslijed gibanja SCR-a.

Spojnica rajzera: spaja dvije sekcije rajzera i ostvaruje hermetičnost. Ne smije biti najslabija karika u sustavu.

Izbor konfiguracije rajzera znatno utječe na izvodljivost operacija sa SCR sustavom.

Tri su najčešće konfiguracije SCR-a:

- slobodni ovjes;
- lagano valovita (koja omogućuje pomake);
- uz podršku uzgonskih modula

2.5. Sustavi s površinskim ili podvodnim erupcijskim uređajem

Platforme koje koriste sustav s površinskim erupcijskim uređajem (*engl. dry tree host system*) podrazumijevaju povezivanje ušća bušotine na dnu mora putem pojedinačnih rajzera s erupcijskim uređajem koji je smješten na platformi. Prednosti takvog sustava su sposobnost nadzora operacija te mogućnost intervencije u svakoj pojedinačnoj bušotini budući da je bušaće postrojenje smješteno na platformi. Platforma mora imati dovoljnu nosivost da podrži težinu svakog zasebnog sustava rajzera i bušaćeg postrojenja (što povećava ukupnu težinu i složenost operativnih zahvata). Zbog toga je potrebno optimiranje konstrukcije palube, odnosno trupa, u pogledu razmjesta opreme. Ta dva svojstva se smatraju ograničavajućim u pogledu dubine mora u kojem se odvijaju radnje kao i u pogledu fleksibilnosti daljeg razvoja konstrukcija.

Kod sustava s podvodnim erupcijskim uređajem (*engl. wet tree host system*) svaka bušotina ima instaliran zasebni erupcijski uređaj na bušotinskoj glavi na dnu mora te sustav cjevovoda/rajzera koji se spajaju u manji broj rajzera koje vode na površinu do prihvatnog postrojenja - platforme. Takav dizajn može prouzročiti složeniji pristup razrade ležišta, posebno pri provođenju hidrodinamičkih ispitivanja pojedinačnih bušotina te probleme u osiguravanju protjecanja koje će ovisiti o tipu i svojstvima ležišnog fluida. U načelu, sustav podvodnog erupcijskog uređaja omogućava izbor većeg tipa platformi. Osim što imaju jednostavniji sustav rajzera, sustavi s podvodnim erupcijskim uređajem također smanjuju ukupno opterećenje koje platforma mora preuzeti.

Ključni čimbenici u izboru između sustava s površinskim ili podvodnim erupcijskim uređajem

Proces odabira platforme odnosno podvodnog zbirnog sklopa (*engl. host, host facility*) je iterativan postupak koji obuhvaća brojne pristupe u razradi ležišta kao i ekonomsku procjenu komponenti inženjerskog sustava na temelju sigurnosnih pokazatelja, proizvedenih količina, ukupnog iscrpka, troškova (početnih kapitalnih i ukupnih) te operativnih razmatranja poput zastoja i potrebe za mogućim interventnim radovima na bilo kojem dijelu ključne opreme.

Kritični čimbenici u izboru između sustava s površinskim ili podvodnim erupcijskim uređajem uključuju sljedeće:

- fizikalna svojstva ležišta koja obuhvaćaju lokaciju, dubinu, svojstva ležišnog fluida, tlak i temperaturu;
- kvalitetu procjene iscrpka na temelju nepoznanica o ležištu i njegovoj daljnjoj razradi;
- poželjni režim proizvodnje;
- moguće rasporede i složenost projektiranja bušotina;
- procesne zahtjeve na platformi odnosno podvodnim zbirnim sklopovima;
- zahtjeve tijekom razrade ležišta te
- potrebni skladišni prostor za ležišni fluid.

Prostorni položaj ležišta

Velika pojedinačna ili vertikalno uslojena ležišta koja se djelotvorno mogu iscrpiti s jednog središnjeg mjesta usmjerenim bušotinama, poput mnogih dubokih ležišta u Meksičkom zaljevu 90-ih godina, pogodnija su za primjenu sustava s površinskim erupcijskim uređajem. Masivna ležišta ili nepravilno raštrkana ležišta kod kojih se bušotinama ne mogu dohvatiti ključna drenažna područja s jedne centralne pozicije te ona koja se razrađuju grmovima bušotina kojima je omogućeno povezati brojna prostorno udaljena ležišta na jedno prihvatno/zbirno mjesto tipična su za primjenu podvodnog proizvodnog sustava.

Topografska svojstva morskog dna i opasnosti plitkih podmorskih naslaga

Ležišta ispod nepristupačnih konfiguracija morskog dna koje ometaju usmjerenom bušenje s jedne centralne lokacije kako bi se dosegle sve potencijalno interesantne strukture ili s kojih je problematično bušiti kroz kompleksnu litološku strukturu do samog ležišta zbog čega centralnu lokaciju treba izbjegavati, pogodnije su za primjenu podvodnog erupcijskog sustava.

Svojstva ležišta

Ležišni uvjeti koji se uzimaju u razmatranje su tlak, temperatura i svojstva ležišnog fluida. Budući da tlak i temperatura ponekad premašuju dokazana tehnološka ograničenja odabir površinskog ili podvodnog erupcijskog sustava postaje kritičan. Primjerice, visoka temperatura pogoduje odabiru sustava s podvodnim erupcijskim uređajem zbog boljeg hlađenja fluida, ali s tehnološkog gledišta jednostavnije se je prikloniti površinskom sustavu nego forsirati razvoj istih tehnologija uz dodatnu kompleksnost podmorskih uvjeta.

Infrastruktura za transport nafte i plina

Konačno, vrlo je bitno razmatranje pristupa infrastrukturi za transport nafte i plina na nekom području. U Meksičkom zaljevu to ne predstavlja problem, ali u graničnim područjima poput Francuske Gvajane ili u područjima u kojima djeluju pojedinačne kompanije, kao što je to slučaj u Brazilu, značajne izazove i troškove predstavljaju način morskog skladištenja i razvoj pojedinačnih transportnih cjevovoda. Ti razlozi upućuju operatorske kompanije ka čvrstom opredjeljenju na sustav s podvodnim erupcijskim uređajem.

Broj bušotina/kompleksnost i potrebni zahvati

Ključni parametri koji su oduvijek određivali izbor između sustava s površinskim ili podvodnim erupcijskim uređajem su broj bušotina i cijena njihove izrade. K tomu, važnu ulogu čine i potrebni zahvati u bušotinama čija cijena značajno raste kad se radi o podmorskim radovima zbog korištenja bušačkih postrojenja za duboko more. Zbog toga predložak prema kojem se za ležišta s većim brojem bušotina i većim brojem potrebnih intervencija favorizira sustav površinskog erupcijskog uređaja, a da se za manji broj bušotina i manje intervencija teži podvodnom erupcijskom uređaju, postaje sve više nejasan. Sustavi s površinskim erupcijskim uređajem s direktnim pristupom bušotinama s platformi koje imaju integrirano bušaće/remontno postrojenje očito imaju prednost u smislu troška izrade i održavanja bušotine, smanjenja zastoja tijekom bušenja i povećanja moguće proizvodnje. To se posebno odnosi na bušotine koje proizvode uz primjenu sekundarnih metoda koje uključuju električne uronjene pumpe (*engl. electric submersible pumps*) ili plinsko podizanje (*engl. gas lift*). Takve tehnologije zahtijevaju stalni pristup bušotini, zahvate i održavanje. Platforme s integriranim postrojenjem podrazumijevaju

veća kapitalna ulaganja, složeniju konstrukciju, povećanu nosivost cijelog sustava, složenije izvođenje simultanih operacija te, za zadanu nosivost, ograničenje u pogledu projektiranih broja otvora (*engl. slot*) bušotina/rajzera.

Složenost izrade bušotina

Složenost izrade bušotina u dubokom podmorju, potaknuta pomicanjem granica u dosezanju dubina mora i zalijeganja ležišta, uz pripadajuće promjene tlakova i temperatura, mijenja dosadašnja razmišljanja. Broj i težina zaštitnih cijevi potrebnih za sigurno dosezanje ležišta utječu na nosivost platforme, opterećenje na kuki i u skladu s tim, na ukupnu nosivost bušaćeg postrojenja. Najam platforme koja zadovoljava sve potrebne uvjete je jako skup te je potrebno izraditi veći broj bušotina kako bi bila isplativa. U skladu s ograničenjima koja su opisana nameće se zaključak da je za manji broj bušotina složenije izrade povoljniji sustav s podvodnim erupcijskim uređajem, a za veći broj bušotina jednostavnije izrade sustav s površinskim erupcijskim uređajem. Za slučajeve koji nisu prethodno spomenuti potrebne su detaljnije analize. Treba uočiti da kad god je utjecaj kompleksnosti bušotine relativno lako kvantificirati definiranjem broja otvora za bušenje, što ovisi o znanju i iskustvu tima vezano na karakteristike ciljanog ležišta, preveliki ili premali broj često može negativno utjecati na ukupnu ekonomičnost projekta. Kombinacija sustava s površinskim erupcijskim uređajem koji može prihvatiti ograničeni broj bušotina s podvodnim erupcijskim uređajem putem pripadajućih risera može riješiti takav problem.

Složenost potrebnih zahvata u bušotini

Na kraju, broj bušotina koje se izrađuju i potrebni zahvati u njima u smislu ekonomičnosti projekta ovise o dva glavna pokazatelja:

- 1) početnim troškovima bušotine i troškovima budućih zahvata;
- 2) nepouzdanosti informacija o samom ležištu te povoljnom/potrebnom broju bušotina.

Izbor isplativijeg i boljeg sustava ovisi o dubini mora, ukupnom opterećenju i učestalosti potrebnih zahvata u bušotinama.

Zaštita okoliša i sigurnost na radu

Nakon razmatranja fizikalnih svojstava polja i njegovog položaja, složenosti konstrukcije bušotina i potrebnih zahvata, slijedi izbor sustava koji će osigurati sigurnost izvedbe uz minimalni utjecaj na okoliš.

Sigurnost

Ukoliko se operacije bušenja i proizvodnje obavljaju zasebno, smanjuje se rizik međusobnog utjecaja. Osim toga odvajanjem izvođenja radova u bušotinama i procesnog dijela na platformi od smještajnog prostora dodatno se smanjuje rizik od potencijalnih opasnosti. Konačno, smještanje bušačeg/remontnog postrojenja na proizvodnoj platformi rezultira skučenom platformom uz povećanje pridruženih rizika. Iako proizlazi da sustav s podvodnim erupcijskim uređajem s inherentnim odvajanjem podvodnog erupcijskog uređaja i same platforme predstavlja sigurnije rješenje, sustav s površinskim erupcijskim uređajem također može doseći usporedivu razinu rizika. Danas se za duboka mora razvijaju platforme s površinskim erupcijskim uređajem koje su odvojene od plovila s procesnom i skladišnom jedinicom, a omogućuju zasebnu izradu bušotina i proizvodnju.

Stanje okoliša

Kako bi se pridobili ugljikovodici na dno mora postavlja se potrebna oprema kao i neophodna nadvodna struktura. Ovisno o tomu koji se sustav koristi, smještaj opreme će biti različit i drukčije će utjecati na okoliš, primjerice: remećenje morskog dna, izazivanje buke, prijenos topline ili ispuštanje vode u okoliš. Zbog toga bitnu razliku u utjecaju na okoliš može činiti udovoljavanje kriterijima razrade ležišta i specifičnih uvjeta prostornog rasprostiranja.

Operativna razmatranja

Simultane operacije bušenja i proizvodnje moraju se pažljivo nadzirati kako ne bi došlo do neželjenih utjecaja u smislu sigurnosnih zahtjeva tijekom njihova obavljanja. To se jednako odnosi na sustav s podvodnim erupcijskim uređajem pri čemu se bušenje izvodi korištenjem bušaće platforme, kao i na proizvodnu platformu s integriranim bušačim postrojenjem, s površinskim erupcijskim uređajem. Detaljni postupci izvođenja simultanih

operacija omogućuju sigurno izvođenje bušenja uz istovremenu proizvodnju. Međutim, blizina bušaće opreme i proizvodnog sustava na platformi s integriranim bušaćim postrojenjem s površinskim erupcijskim uređajem prouzročit će brojne situacije u kojima će jednu aktivnost biti potrebno obustaviti kako bi se omogućilo sigurno izvođenje bušenja/proizvodnje, što u konačnici rezultira manjom neprekidnom proizvodnjom.

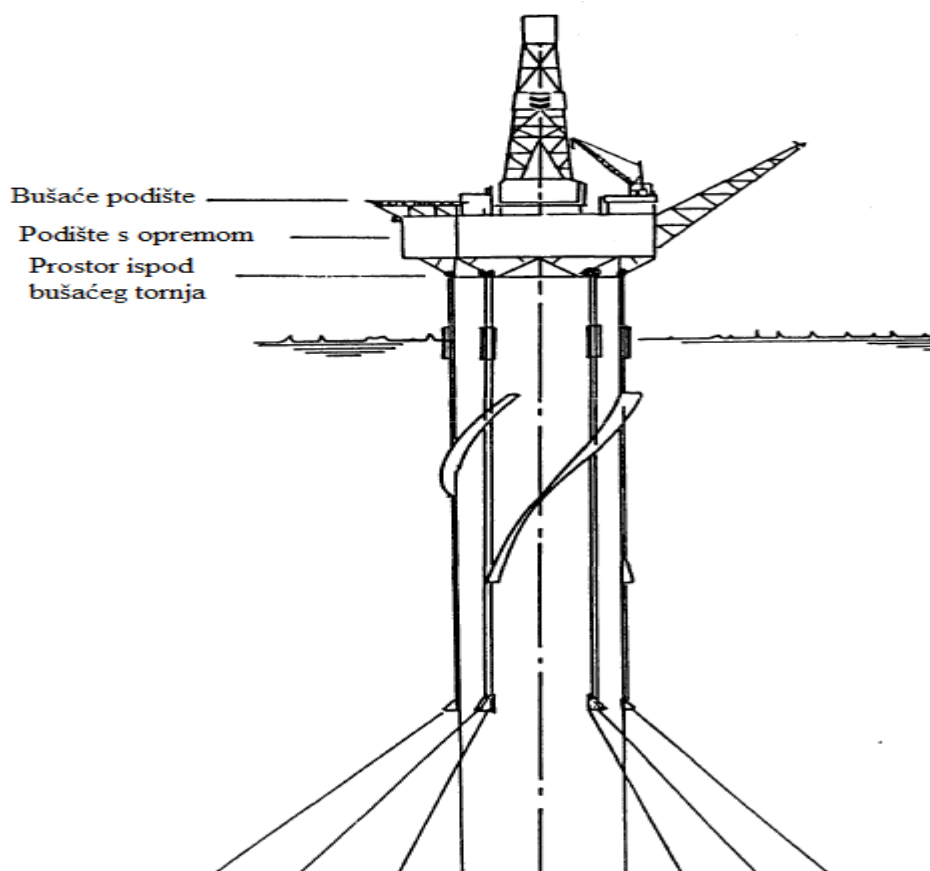
Neovisno o kojem se tipu ili funkcionalnosti dizajna spar platformi radi, ovo su neke od njihovih karakteristika:

- bezuvjetna stabilnost-stabilne bez obzira na način sidrenja ili spojenih rajzera te instaliranih nadgrađa;
- veliki rezervni uzgon-čak i u slučaju oštećenja u slučaju oštećenja više spremnika za ostvarenje uzgona platforma će ostati stabilna i plutati na površini;
- rajzeri za bušenje i proizvodnju ostaju spojeni tijekom ekstremnih vremenskih uvijeta;
- jednostavan balastni sustav-sastoji se od četiri promjenjiva balastna spremnika svaki sa zasebnim balastnim sustavom otpajanja;
- mogući su različiti načini bušenja, opremanja i remonta;
- najbolja platforma za korištenje sustava rajzera-kao rezultat malog gibanja nakon postavljanja na željeno mjesto. Može se prilagoditi sustavu s površinskim i podvodnim erupcijskim uređajem, direktnom vertikalnom pristupu rajzera za različita okruženja i dubine bušenja korištenjem dokazanog rajzerskog sustava i komponenti;
- rajzer pod nategom na površini može se održavati pomoću uzgonskih modula ili korištenjem natezača;
- fleksibilnost pri korištenju gibljivog ili čeličnog ovješeneog rajzera-klizna cijev, fleksibilna spojnica, spojnica za rasterećenje natega naprezanja (*engl. stress joint*);
- podvodni raspored TTR bušotinskih glava može biti raštrkan kako ne bi došlo do međuzahvata (međudjelovanja) rajzera, stvaranje hidrata, dotoka vode ili plitkih plinova;

- sustav rajzera je zaštićen od djelovanja valova, površinskih morskih struja i sudara s drugim plovilima;
- robustan dizajn-omogućava promjenu opreme (nosivosti) tijekom razvojnog ciklusa i čak i nakon što je počela njezina izrada;
- omogućava gotovo neprekidni rad tijekom svih operacija zbog malog kretanja tijekom plutanja;
- platforma se može premještati s instaliranim nadgrađem bez doplovljavanja do obale;
- nadgrađa se mogu postaviti na dva načina: pomoću dizalice ili navođenjem nad trup;
- koristi se za bušenje na različitim dubinama mora i okruženjima.

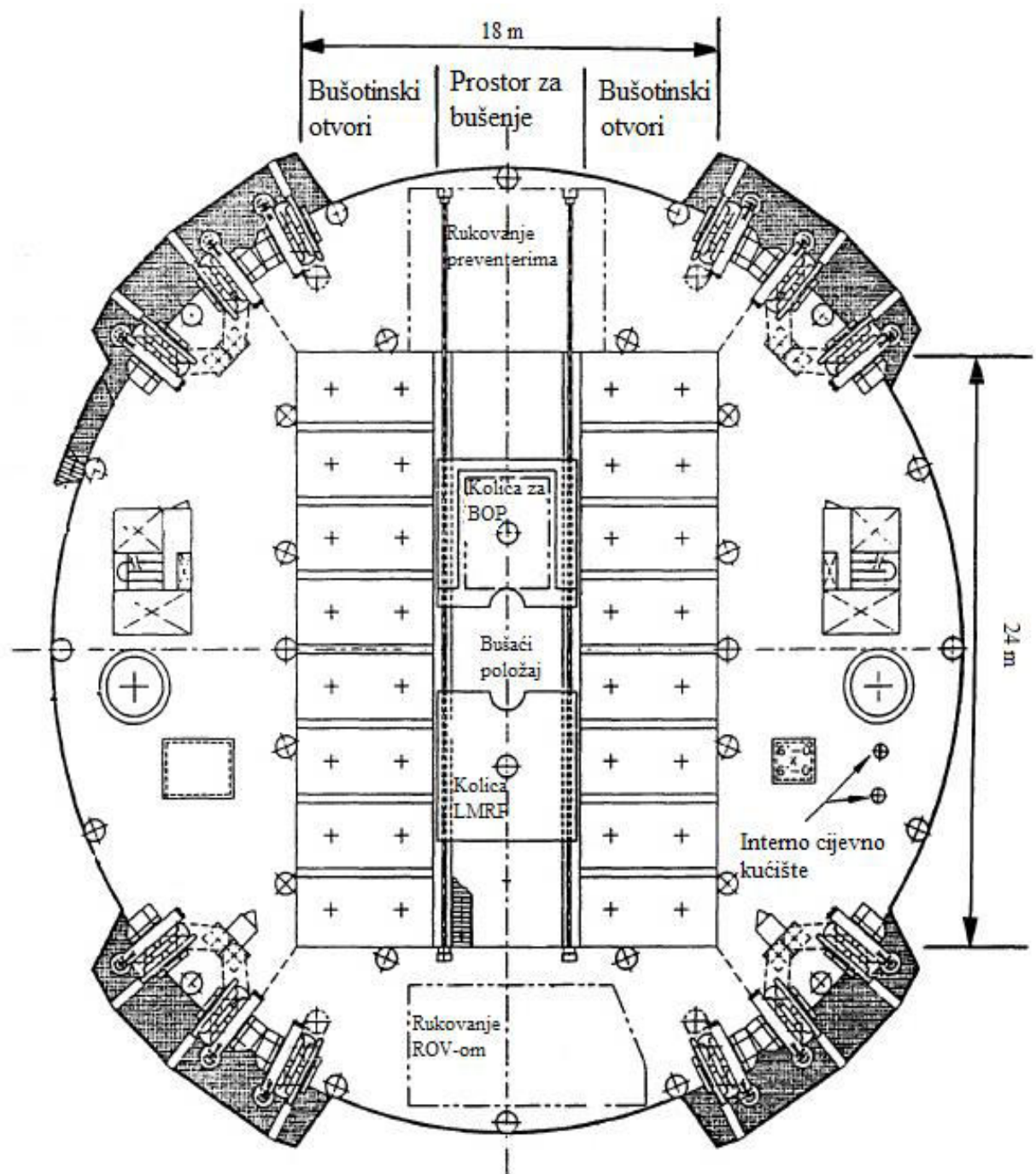
2.6. Bušenje i proizvodnja sa spar platforme

Način bušenja sa spar platforme temelji se na konstrukcijskim karakteristikama same platforme; zbog toga u nastavku slijedi njezin kratak opis. Spar platforma sastoji se od dugačkog, šupljeg, cilindričnog trupa na koji se postavlja postolje zajedno s bušačim i proizvodnim postrojenjem, opremom, stambeni prostor, dizalice, heliodrom, sidreni sustav i slično. Prostor ispod bušaćeg tornja predstavlja središnji otvor za bušenje (*engl. moon pool*) dimenzija 18×24 m. To je otvoreni prostor u trupu nadgrađa koji je otvoren prema moru i služi za smještaj bušačih i proizvodnih rajzera. Proizvodni i bušači rajzeri nalaze se unutar tog prostora koji se proteže kroz trup do dna kobilice spara, do oko 200 m ispod površine mora, zbog čega su dobro zaštićeni od morskih struja i valova. Na slici 2-19. slijedi prikaz bušaćeg i proizvodnog sustava spara.



Slika 2-19. Bušači i proizvodni sustav spar-a (Brooks, Carroll 1994)

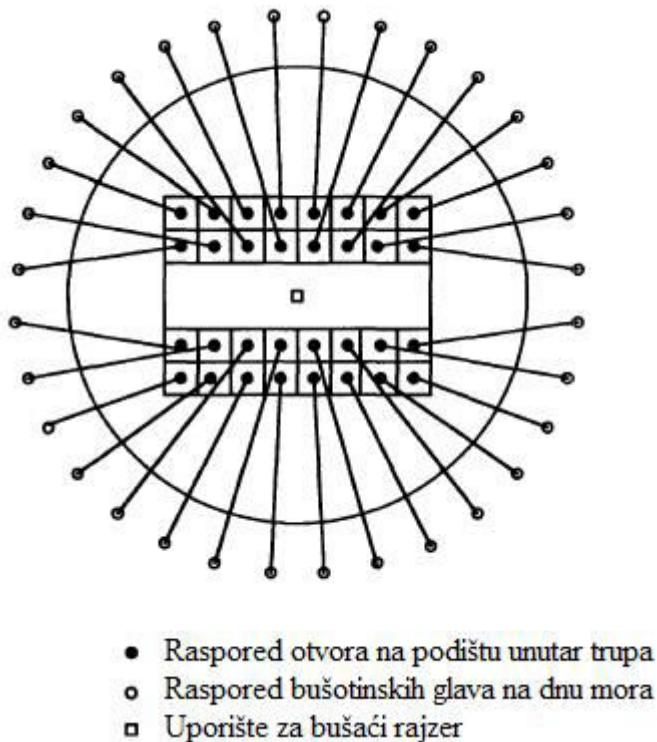
Podište bušotinskih glava (*engl. wellbay*) u prostoru unutar trupa prikazano je na slici 2-20. kao prostor za manipulaciju tijekom bušenja (*engl. moon pool, wet porch*) ispod bušaćeg tornja, dimenzija 18×24 m. Takav dizajn uključuje 32 bušotinska otvora, međusobno udaljena po tri metra, rasprostranjena u četiri reda s po osam otvora, u dva reda sa svake strane, s promjerom otvora od 6,1 m (20 ft). Bušotinski otvori mogu smjestiti proizvodne rajzere, rajzere za utiskivanje kao i odlazne podvodne sabirne rajzere (*engl. export risers*). Sabirni rajzeri mogu izlaziti iz spara iz prostora za manipulaciju tijekom bušenja kroz interno crijevno kućište (prikazano na slici 2-20.) ili izvan trupa spara. Bušenje se izvodi u središtu pravokutnog prostora za bušenje, dimenzije 6,1×24,4 m (20×80 ft). U tom su prostoru smještena kolica za rukovanje preventerskim sklopom i donjim sklopom rajzera (*engl. lower marine riser package, LMRP*). Kolica klize po tračnicama s obje strane centralne pozicije za bušenje i protežu se do prostora za manipuliranje preventerskim sklopom na jednom kraju prostora za bušenje (slika 2-20). Prostor za manipuliranje preventerskim sklopom predstavlja zaštićeno radno područje u koji se mogu smjestiti sastavljeni preventerski sklop i donji sklop rajzera. Kod spuštanja ili vađenja bušaćeg rajzera, dvojica se kolica mogu dovesti s obje strane bušaćeg rajzera kako bi poslužila kao radna platforma.



Slika 2-20. Podište bušotinskih glava (Brooks, Carroll 1994)

Oprema na dnu mora

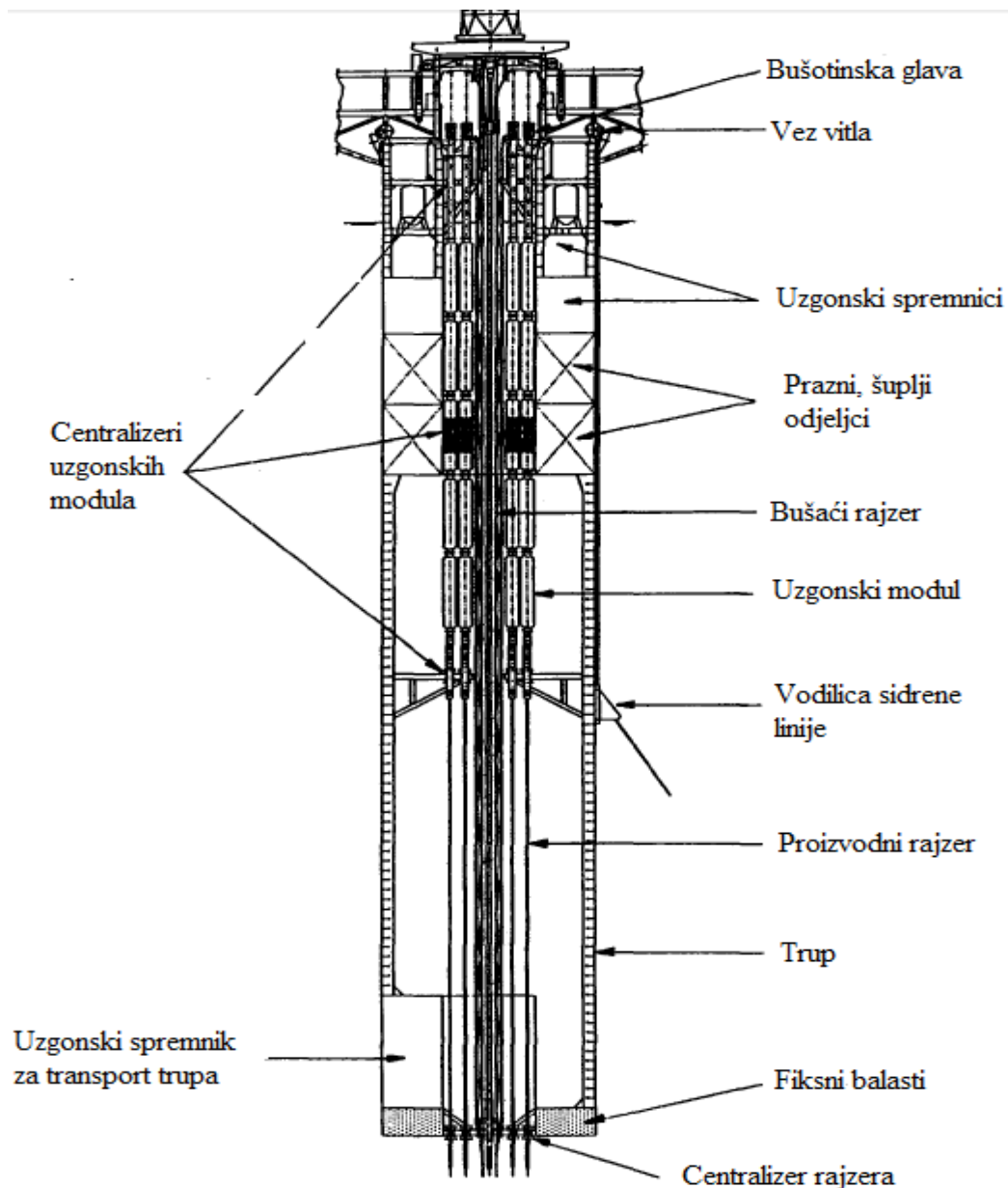
Na slici 2-21. je prikazan raspored bušotinskih glava unutar kruga na dnu mora. Kada se platforma nalazi na svojoj nominalnoj poziciji preklapa se raspored na dnu s odgovarajućim rasporedom otvora na podištu unutar trupa (*engl. wellbay*). Prikazana su također horizontalna odstupanja proizvodnih ili utisnih rajzera nakon izlaska iz trupa zbog prolaska kroz stupac vode od platforme do morskog dna. U središtu bušaćih glava na morskome dnu nalazi se uporište za bušaći rajzer (*engl. drilling riser stump*) koji služi kao mjesto za odsjedanje i učvršćenje rajzera u slučaju nekorištenja ili prekida rada zbog olujnog vremena.



Slika 2-21. Raspored bušotinskih glava na dnu mora (Brooks, Carroll 1994)

2.7. Proizvodni rajzeri

Slično kao kod nekih dizajna rajzera za platforme s nategom u nogama, spar proizvodni rajzeri su sastavljeni od cijevi standardnog promjera, poput 0,245 m, na čijem dnu se nalazi pojedinačna cijev u rajzerskom sklopu za rasterećenje naprezanja (*engl. stress joint*). Međutim, međudjelovanje između rajzera i kobilice trupa spar platforme treba prilagoditi. Rajzeri su zaštićeni unutar trupa platforme od morskih struja i valova zbog čega se nateg može ostvariti radije korištenjem modula za uzgon nego mehaničkim natezačem. Najgornja cijev proizvodnog rajzera spojena je na konektor remontnog BOP-a koji je opremljen proizvodnom glavom tubinga.



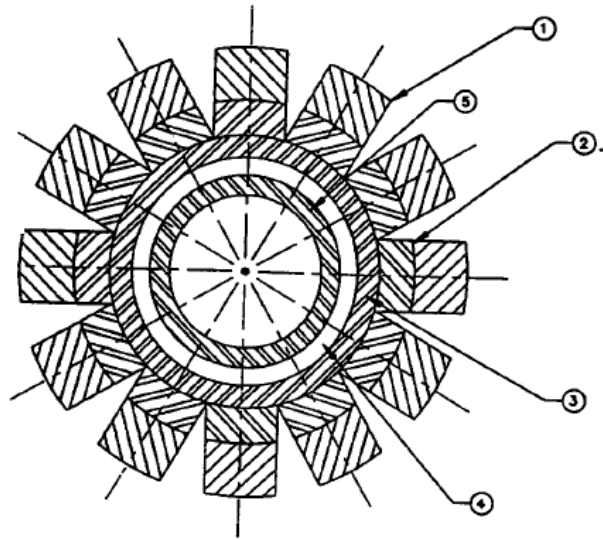
Slika 2-22. Presjek trupa spar platforme (Brooks, Carroll 1994)

Na slici 2-22. je prikazan presjek trupa platforme zajedno s proizvodnim rajzerima podržanim modulima za ostvarivanje potrebnog uzgona. Moduli za ostvarivanje uzgona su zapravo cilindrični prstenovi vanjskog promjera 2,6 m obavijeni oko cijevi unutarnjeg promjera 1,2 m. Na svakom spoju modula nalaze se produžetci povezani prirubničkim spojem. Također se na krajevima kolone modula s donje i gornje strane nalazi produžetak duljine 1,2 m. Produžetak omogućava smještanje rajzera u središte otvora tijekom naginjanja i valjanja (*engl. pitch and roll*) uslijed vremenskih uvjeta. Središnji uzgonski

modul je presvučen s trakom za ublažavanje udaraca. Provedena su ispitivanja kako bi se spar platforma i rajzeri ponašali u slučaju oluje visokog stupnja i pokazalo se da bi moglo doći do sudara središnjeg modula za ostvarivanje uzgona o unutarnje stjenke trupa platforme. Proizvodni rajzer se konačno spaja pri vrhu sa stojkom (*engl. standipe*). Nateg rajzera može se podesiti upumpavanjem ili ispumpavanjem zraka iz modula istiskujući morsku vodu. Podešavanje natega je jedino potrebno tijekom instaliranja (i uklanjanja) rajzera i tijekom izvođenja remontnih operacija.

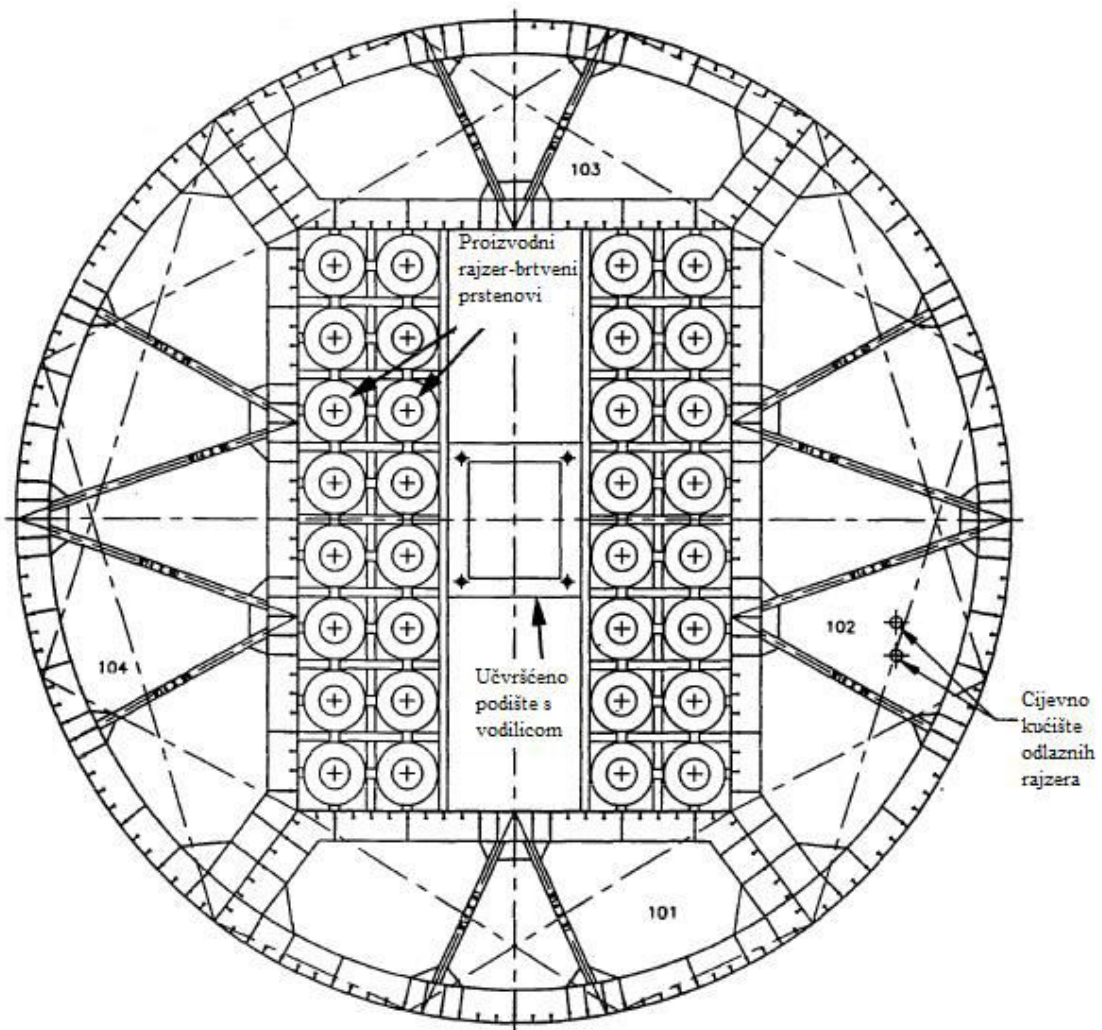
Unutarnji promjer cijevi od 1,2 m potreban je, nakon što je proizvodni rajzer ugrađen, zbog prolaznosti hidraličke spojnice bušotinske glave (najveći promjer u nizu) kroz cijev uzgorskog modula. Pomaci spar platforme nastaju zbog manipulacije sidrenim sustavom ili odstupanja od vertikalnosti zbog vremenskih neprilika i maritimnih uvjeta. Svaki rajzer mora preuzeti takve pomake ostajući pritom spojen na odgovarajuću bušotinsku glavu. Budući da se dijelu rajzera unutar trupa ograničava kretanje kako bi bio suosan s glavnom osi spara, dolazi do kontakta između rajzera i dna trupa. Kako je spar dinamična struktura, kontakt u razini dna trupa izazvat će klizanje (što će rezultirati trošenjem), a također će ostvarivati moment savijanja na rajzer. Analize kretanja spar platforme i rajzera pokazale su da se kontakt između dna trupa i rajzera događa u dužini 7,3 m (24 ft) niza rajzera. Dakle pojedinačna rajzerska cijev, posebno dizajnirana i strateški smještena unutar niza rajzera, bit će jedina cijev u nizu u kontaktu s dnom trupa. Na slici 2-23. Prikazan je dizajn takve rajzerske cijevi dužine 15,2 m (50ft), a na slici 2-24. prikazan je dizajn dna trupa spar platforme.

1. Žrtveni materijal
2. Jastučići
3. Rukavac za zaštitu od savijanja
4. Prazan prostor
5. Rajzerska cijev



Slika 2-23. „Potrošna cijev“ (Brooks, Carroll 1994)

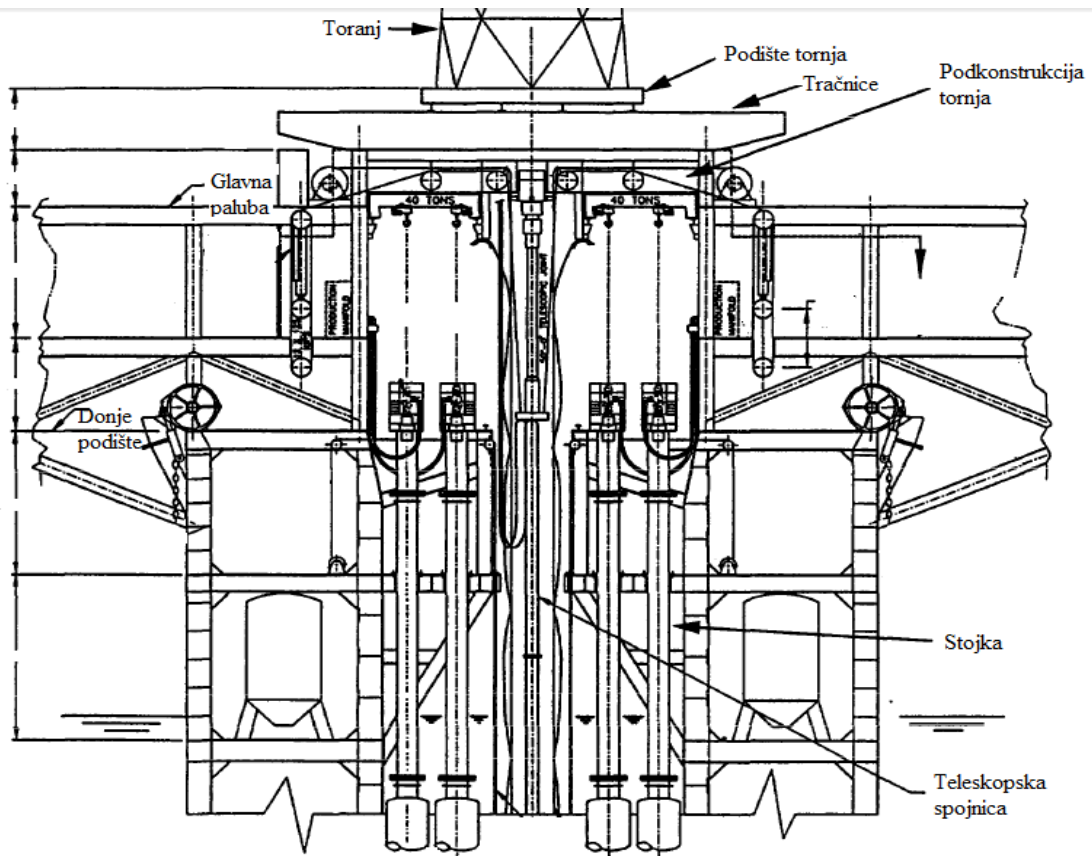
Svaki rajzer prolazi kroz prstenasti ležaj na dnu trupa gdje dolazi do najvećeg trošenja materijala i mogućnosti savijanja. Zbog toga su unutrašnjost prstenastog ležaja i vanjski dio spojnice rajzera presvučeni potrošnim materijalom koji pružaju zaštitu od zamora i savijanja. Osigurano je dovoljno potrošnog materijala koji mora trajati tijekom radnog vijeka (proračuni pokazuju otprilike 264 godine). „Potrošna cijev“ sadrži rukavac za zaštitu od savijanja (debelostijena cijev) ugrađen na odebljanja rajzerske cijevi debljih stijenki. Izvan rukavca za zaštitu od savijanja je žrtveni materijal nanesen na jastučice. Dodatne analize pokazuju da potrošna cijev ipak zahtijeva nešto deblje stijenke od ostatka rajzerskih cijevi.



Slika 2-24. Struktura dna trupa (Brooks, Carroll 1994)

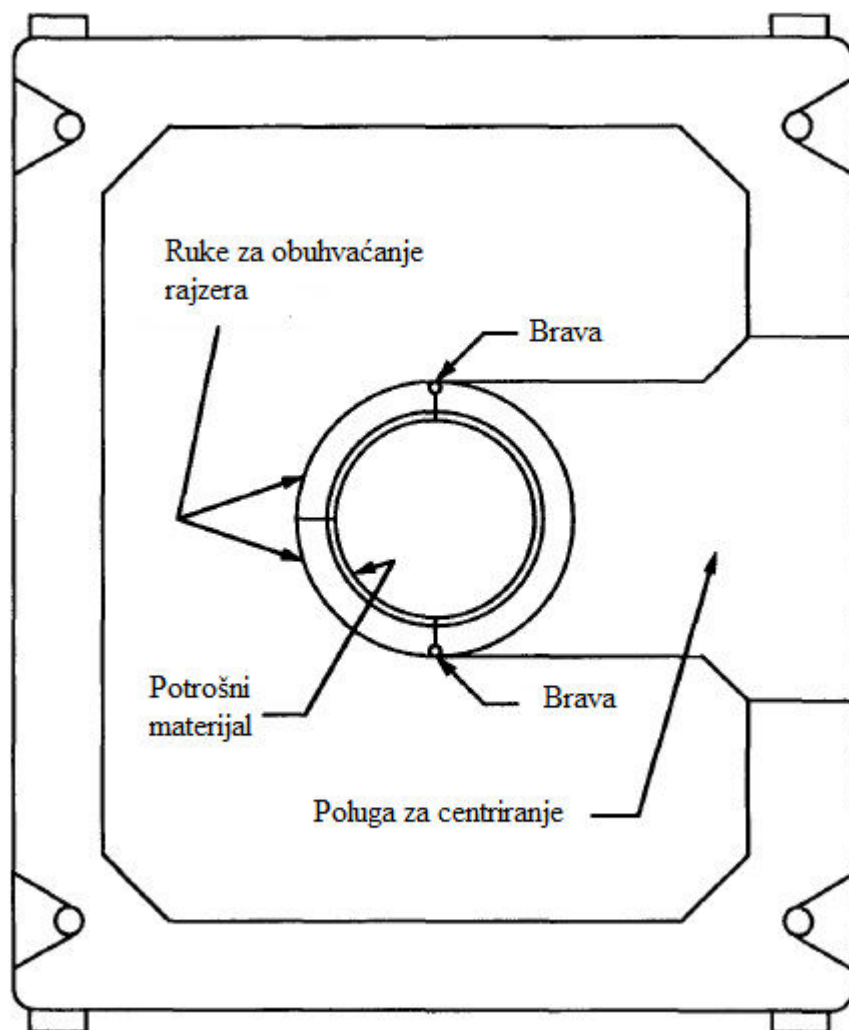
2.8. Bušenje

Bušaći sustav je dizajniran tako da se toranj može koristiti i za bušenje i za ugradnju rajzera. To je omogućeno korištenjem tornja koji može klizati u odnosu na donje podište (*engl. cellar deck*) uz istovremenu primjenu sustava sidrenja koji može pomaknuti cijelu spar platformu u odnosu na morsko dno. Na plutajućem bušačem postrojenju postoje tri mjesta koja moraju podržati težinu dugih nizova cijevi: kuka (odnosno toranj), podište tornja i podkonstrukcija tornja. Tijekom bušenja kuka preuzima opterećenje. Tijekom vađenja ili spuštanja niza cijevi opterećenje se prenosi na kuku i podište tornja. Nakon ugradnje bušaćeg rajzera opterećenje preuzima podište podkonstrukcije (*engl. subbase*). Podište bušaćeg tornja smješteno je iznad podišta na kojoj se nalazi podkonstrukcija tornja. Budući da je samo podište podkonstrukcije potrebno za preuzimanje težine bušaćeg rajzera, bušaći toranj sa svojim podištem može kliziti po podištu podkonstrukcije. Podkonstrukcija tornja, zajedno s tornjem i podištem tornja klize na tračnicama po podištu podkonstrukcije duž prostora za bušenje (slika 2-25.). Toranj i podište tornja (*engl. drillfloor*) se zatim namještaju okomito nad bušotinske otvore kako bi toranj bio direktno iznad bilo kojeg bušotinskog otvora. Kako bi se precizno smjestilo podište bušaćeg tornja, natezni sustav rajzera se instalira ispod glavne palube (*engl. weatherdeck*).



Slika 2-25. Bušaći prostor (Brooks, Carroll 1994)

Bušaći rajzer je standardni bušaći podvodni rajzer (*engl. marine riser*). Jedina razlika je u potrošnoj rajzerskoj cijevi koja je karakteristična za proizvodni rajzer. Rukavac za zaštitu od savijanja ugrađen je na spojnicu rajzera i nalazi se izvan dosega vodova za prigušivanje, gušenje i pomoćnih vodova. S vanjske strane rukavca nalazi se potrošni materijal. Unutar otvora za bušenje nalazi se okvir za vođenje bušaćeg rajzera (Slika 2-26.). Okvir se spušta do kobilice (dna) trupa uz pomoć cijevi za vođenje i vitla. Preventerski sklop se postavlja u vertikalni položaj i provlači kroz okvir za vođenje bušaćeg rajzera pomoću poluge za centriranje. Nakon prolaska preventerskog sklopa kroz okvir, poluga za centriranje podiže se u horizontalni položaj i omogućava rukama za obuhvaćanje rajzera da se zaključaju oko bušaćih rajzera tvoreći prsten za hvatanje.



Slika 2-26. Okvir za vođenje bušačeg rajzera (Brooks, Carroll 1994)

Nakon toga okvir za vođenje postavlja se u poziciju neposredno iznad donjeg sklopa rajzera (*engl. lower marine riser package, LMRP*). Kad je rajzer spušten kroz trup, položaj okvira za vođenje održava se iznad LMRP-a. Nakon što preventerski sklop prođe donji dio trupa platforme, okvir za vođenje bušačeg rajzera odsijeda na dno trupa i ostaje u tom položaju sve do vađenja rajzera. Unutar prstena za hvatanje postavlja se odgovarajući potrošni materijal i on tada preuzima ulogu prstenastog ležaja bušačeg rajzera. Okvir za vođenje rajzera može se koristiti i za vođenje cijevi kod operacija u nezacijevljenoj bušotini.

3. PLATFORME S NATEGOM U NOGAMA

Prva platforma s nategom u nogama (*engl. tension leg platform-TLP*) izrađena je 1984. godine za izradu bušotina, proizvodnju nafte i plina na dubini mora od 150 m u središnjem dijelu Sjevernog mora na polju Hutton. Time je dokazano da je moguće izrađivati bušotine i proizvoditi iz njih s plutajuće platforme učvršćene o morsko dno, s erupcijskim uređajem na površini. U narednim godinama izrađene su 23 platforme s nategom u nogama koje su bušile i proizvodile u nekim od najnepovoljnijih i najtežih uvjeta na svijetu, čak i na dubini mora do 1584 m (Aggarwal, Richard 2013). Danas su platforme s nategom u nogama dobro poznate (Slika 3-1.), dokazano kvalitetne i često se koriste za bušenje i proizvodnju bez obzira koristi li se površinski ili podvodni erupcijski uređaj.



Slika 3-1. Platforma s nategom u nogama (www.marinelink.com)

U nastavku slijedi opis karakteristika TLP-a:

- Sustav platformi s nategom u nogama i konstrukcija trupa;
- Razvoj rajzera i bušotinskih sustava;
- Razvoj cijevi za učvršćivanje platforme i sustav temeljenja.

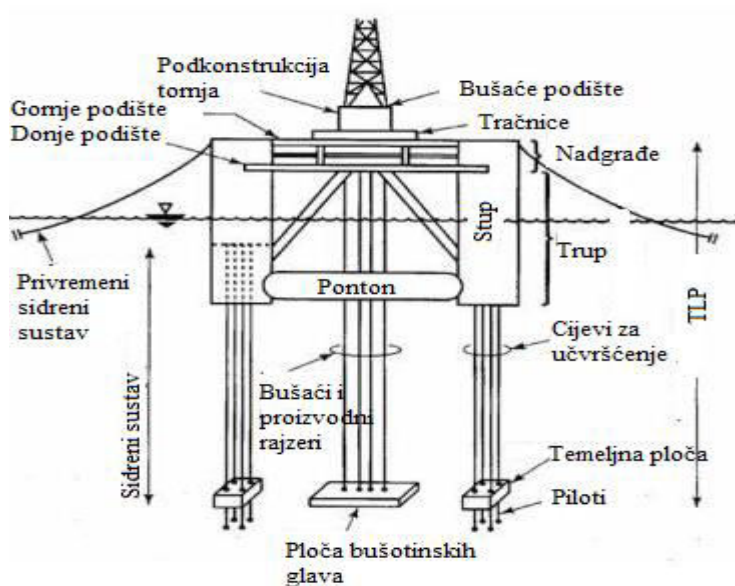
Na slici 3-2. prikazano je tegljenje platforme s nategom u nogama korištenjem brodova tegljača.



Slika 3-2. Transport platforme s nategom u nogama (hitechelectric.com)

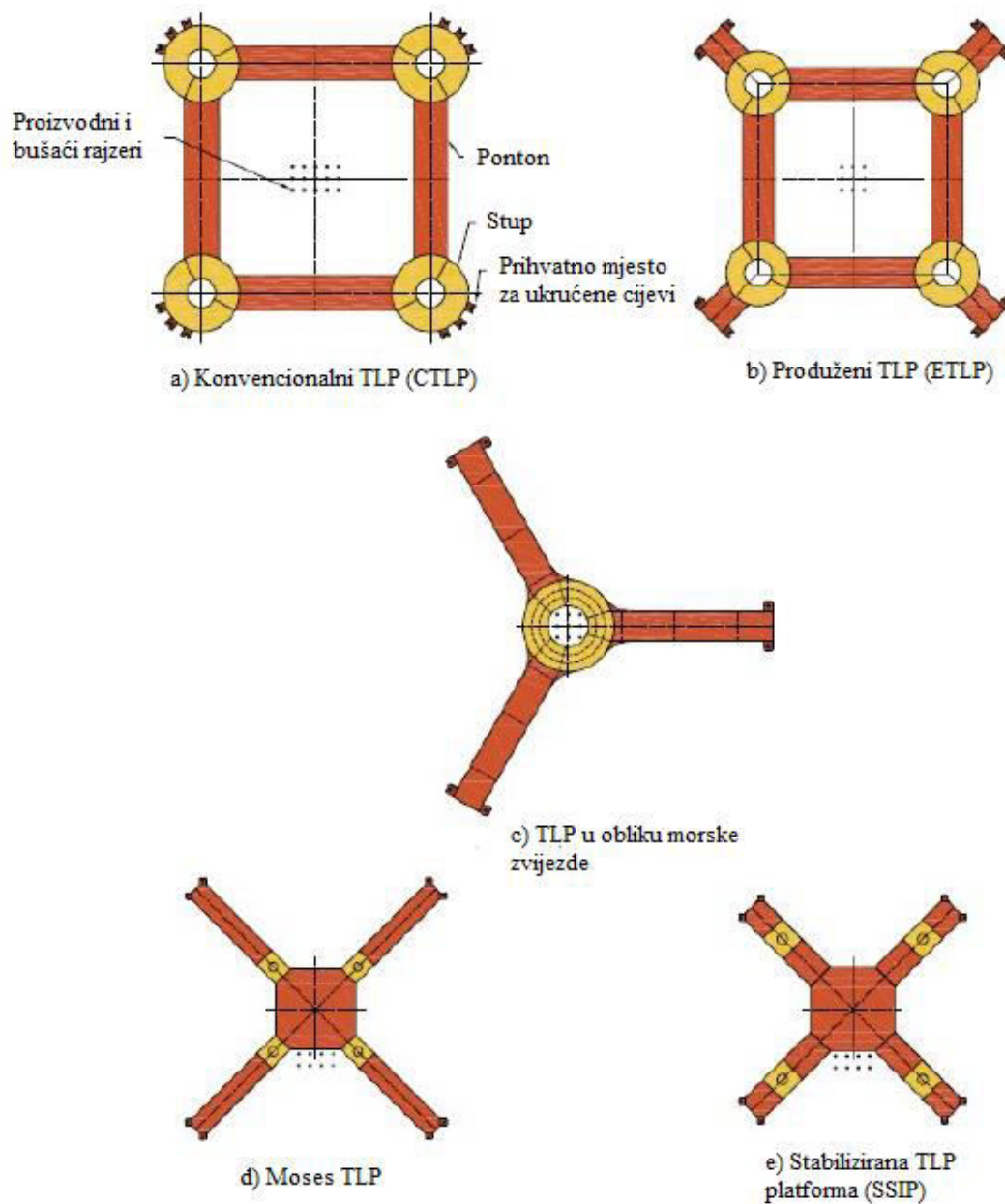
3.1. Sustav platformi s nategom u nogama i konstrukcija trupa

Platforma sa nategom u nogama je jedna od rijetkih plutajućih proizvodnih platformi koja omogućuje razradu dubokih polja u bilo kojem proizvodnom području u svijetu. Nastala je 70-ih godina prošlog stoljeća s ciljem da omogući direktan vertikalni pristup bušotinama na većim dubinama mora od dosega učvršćenih ili zglobnih platformi. U osnovi sastoji se od plutajućeg trupa na koji se postavlja nadgrađe, usidrena o morsko dno pomoću ukrućenih cijevi za učvršćenje platforme (*engl. tendons*) s temeljnom sidrenom pločom na dnu mora (*engl. tendon foundation template*) kako bi se spriječili vertikalni pomaci zbog djelovanja valova. Ograničenje vertikalnog pomaka platforme omogućava povezivanje proizvodnih bušotina s palubom TLP-a korištenjem vertikalnih rajzera pod nategom povezanih s površinskim erupcijskim uređajem. Površinski erupcijski uređaj olakšava pristup bušotini u slučaju potrebnih sekundarnih ili tercijalnih metoda povećanja iscrpka ležišta. To se posebno odnosi na raštrkana i uslojena ležišta. Također, pojednostavljuje ugradnju i vađenje uronjenih električnih dubinskih sisaljki (*engl. electric submersible pumps; ESP*) u cilju povećanja proizvodnih obroka i konačnog iscrpka. Na slici 3-3. prikazana je konstrukcija trupa platforme s nategom u nogama.



Slika 3-3. Konstrukcija TLP-a (bibv.its.ac.id)

Od prve TLP platforme koja je postavljena na polje Haton 1984. godine razvijeno je nekoliko tipova trupova platforme (slika 3-4.).



Slika 3-4. Tipovi trupova TLP platforme (Aggarwal, Richard 2013)

Konvencionalni TLP (*engl. conventional TLP;CTLP*) - ima četiri karakteristična stupa i ponton u obliku prstena. Prihvatna mjesta za ukrućene cijevi za učvršćenje pričvršćene su na vanjske krajeve osnovice stupova dok su proizvodni rajzeri smješteni na podištu bušotinskih glava u samom središtu palube platforme.

Produženi TLP (*engl. extended TLP;ETLP*) – je tip platforme indentičan konvencionalnom TLP-u osim što su prihvatna mjesta za ukrućene cijevi spojena na produžetak svakog stupa platforme u razini osnovice stupova.

U oba slučaja nadgrađa se mogu instalirati na trup TLP-a u pristaništu ili suhom doku uz pomoć dizalice za težak teret ili tegljenjem i navođenjem na zaklonjenoj lokaciji. Konfiguracije trupa dizajnirane su za tegljenje integriranog trupa i nadgrađa do mjesta za bušenje. Pontonski produžetci ETLP-a povećavaju razmak između ukrućenih cijevi te se tako smanjuje opterećenje svake pojedine ukrućene cijevi. Dodavaju se četiri kompleksna produženja pontona na čvorištima stupova, u odnosu na CTLP.

TLP u obliku morske zvijezde - ima jedan središnji stup s tri konzolna pontona koji se pružaju od središnjeg stupa prema krajevima pontona na kojima se nalaze prihvatna mjesta za ukrućene cijevi.

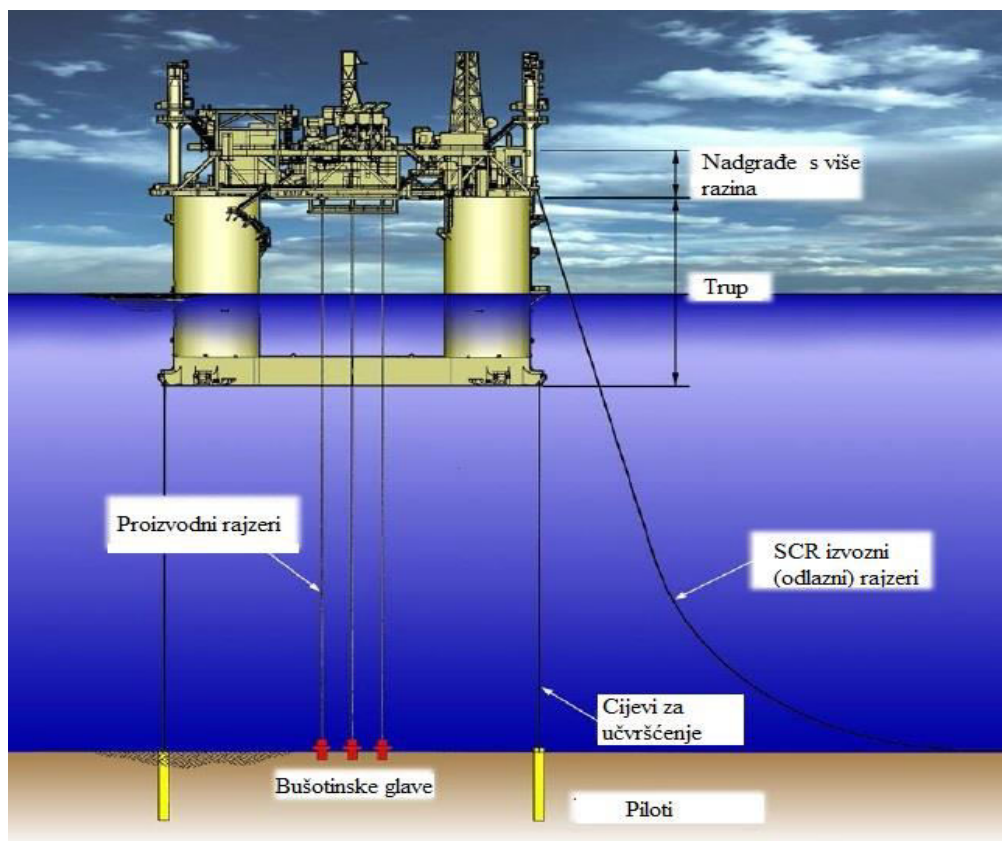
Varijacija prethodne konstrukcije je tzv. Moses TLP sa svežnjom vertikalnih stupova s četiri radijalna konzolna pontonska produženja.

Obje se strukture transportiraju na lokaciju „suhim tegljenjem“ na plovnom objektu barža/brod za tegljenje i postavljaju/spajaju pomoću dizalice za težak teret.

Samopostavljajuća stabilizirana TLP platforma (*engl. self stabilized installed platform; SSIP*) je varijacija Moses TLP-a. Ima veći razmak između stupova trupa što omogućuje transport trupa s nadgrađem „mokrim tegljenjem“, korištenjem brodova tegljača.

Moses TLP platforme u obliku morske zvijezde isprva su se počele koristiti u Meksičkom zaljevu za proizvodnju iz manjih ležišta s manjim brojem bušotina putem podvodnog ili površinskog erupcijskijskog uređaja. Težine nadgrađa i trupa u odnosu na koeficijente istisnine znatno su manje nego kod CTLP i ETLP-a što rezultira manjim troškovima izrade trupa i palube. SSIP je napravljena kako bi se prevladala ograničenja vezana uz mobiliziranje barže dizalice za veliki teret za potrebe podizanja nadgrađa na trup.

TLP su ili će se instalirati diljem svijeta bez obzira radi li se umjerenim meteo-oceanskim uvjetima u Brazilu, blagim uvjetima Zapadna Afrike ili Indoneziji, oštrim klimatskim uvjetima Sjevernog mora ili tajfunskom području Meksičkog zaljeva. Najveća dubina mora u kojoj je bušeno korištenjem „Big Foot“ TLP platforme u Meksičkom zaljevu je oko 1580 m. Ta dubina se smatra graničnom što se tiče korištenja ukrućenih cijevi za učvršćenje te će se u budućnosti trebati unaprijediti tehnologija učvršćivanja ukrućenih cijevi kako bi se bušilo na većim dubinama. Na slici 3-5. prikazani su dijelovi platforme s nategom u nogama.



Slika 3-5. Dijelovi TLP-a (Aggarwal, Richard 2013)

Dizajn trupa i ukrućenih cijevi za učvršćivanje strogo su vezani jedan za drugo. Podaci koji se razmatraju prilikom izrade trupa i ukrućene cijevi za učvršćivanje su dubina mora, raspored podišta bušotinskih glava i nadgrađa, uvjeti na moru, nosivost rajzera i nadgrađa. U daljnjem tekstu opisani su principi na kojima se izrađuju trup i cijevi za učvršćenje.

Periodi vertikalnog pomaka, ljuljanja i poniranja - Prirodne periode navedenih gibanja TLP-a moraju biti manje od 4,5 sekundi kako bi se izbjegla dinamička rezonancija valova. Kako bi se izbjegla takva stanja, poprečni presjek ukrućenih cijevi osiguravaju dovoljnu aksijalnu krutost. Okolišni uvjeti se osložnjavaju s povećanjem istisnine platforme i dubine mora. Za velike platforme u dubokim vodama potrebna krutost cijevi može biti veća u odnosu na dopušteno osno opterećenje.

Horizontalni pomak i prenatog cijevi za učvršćenje - Maksimalni horizontalni pomak (prosječni i inducirani djelovanjem vjetera i valova na osnovu 100-godišnjeg praćenja) platforme od vertikalne osi ne smije biti manji od 8 % dubine mora, ponajviše zbog mehaničkog ograničenja proizvodnog rajzera, vrha ukrućenih cijevi i spojnih elemenata na dnu. To također ograničava maksimalno spuštanje trupa koji je u vezi s potrebnom zračnošću kolonske konstrukcije. Pomak se regulira prenatogom cijevi za ukrućivanje (prekomjerni uzgon trupa). Koeficijent prenatoga cijevi za ukrućivanje (prenatog u odnosu na istisninu trupa) povećava se s povećanjem dubine mora, smanjujući se s veličinom TLP-a i nepovoljnim maritimnim uvjetima. U uvjetima Meksičkog zaljeva taj se koeficijent kreće u rasponu od 0,15 do 0,40, ovisno o dubini mora i veličini TLP-a.

Nateg cijevi za ukrućivanje - Osim ostvarivanja potrebne aksijalne krutosti i maksimalnog horizontalnog pomaka, ukrućene cijevi moraju zadovoljiti sljedeća dva uvjeta: nateg u ukrućenoj cijevi mora uvijek biti pozitivan; maksimalno opterećenje uslijed maritimnih uvjeta mora biti manje od maksimalnog dozvoljenog opterećenja. Dvije glavne komponente koje ulaze u proračun natega cijevi za učvršćivanje su primarni udar vala i prenatog. Ostale komponente koje opterećuju sustav sidrenja su nalet sekundarnog vala, vrtložni utjecaj struja unutar trupa te vibracije sidrenog sustava uzrokovane morskim strujama koje dovode do zamora materijala. U preporukama standarda API RP2T dane su smjernice za maksimalan i minimalan nateg i zamor cijevi za učvršćenje. Također je prema API standardu preporučeno da se sidreni sustav dizajnira u odnosu na uvjete za pojedino područje u posljednjih 100 godina.

Omjer vanjskog promjera i debljine stijenki cijevi za ukrućivanje bi trebao biti takav da cijev bude u neutralnom stanju pod pozitivnim uzgonom kako se ne bi povećavali uzgon trupa platforme ili aksijalno opterećenje cijevi. Omjerom većim od 32 ispunjeni su zahtjevi koji se postavljaju za čelične cijevi za ukrućivanje i moguće ih je koristiti u dubinama

mora do oko 900 m. Za veće dubine potrebni su veći promjeri cijevi kao što je to slučaj kod TLP-a „Big Foot“, „Magnolia“ i „Shenzi“.

Istisnina trupa pri radnom gazu treba biti jednaka težini nadgrađa, natega rajzera, težini trupa (uključujući i balaste) i prenategu cijevi za ukrućivanje platforme.

Udaljenost između središta stupova i promjer središnjeg stupa za samopostavljajuću stabiliziranu TLP platformu (CTLTP, ETLTP, SSIP) određuju nosivost TLP-a s potpuno integriranim nadgrađem u smislu njena transporta na lokaciju kao i njenu krutost obzirom na uzdužno naginjanje (posrtanje). U razmatranje se također moraju uzeti dimenzije palubnog nadgrađa i raspored bušotina. Prevelika udaljenost između stupova imat će za posljedicu težu palubnu strukturu (proporcionalno kvadratu udaljenosti između stupova).

Relativni iznos istisnine koja se pripisuje stupovima trupa i pontonima uzrokuje dinamički val sila na platformu i cijevi za ukrućivanje. Odnos istisnine stupa prema ukupnoj istisnini iznosi od 0,6 do 0,8. Veličina pontona je takva da omogućava potrebnu istisninu tijekom „mokrog“ transportiranja tegljačima na željeno mjesto kao i željenu čvrstoću strukture da podnese zadizanja i statička i dinamička nasjedanja kod „suhog“ tegljenja (brodom/baržom).

Visina stupa (od kobilice do vrha) je jednaka zbroju dubine gaza i dijela koji se nalazi iznad površine mora. Dubina gaza određuje istisninu koju ostvaruje trup platforme. Veći gazovi smanjuju vertikalna dinamička opterećenja izazvana valovima. Slobodna površina (*engl. freeboard*) je zbroj visine strukture iznad urona (*engl. setdown*), maksimalne visine vala i potrebnog zračnog prostora između palubne strukture i površine mora.

Mjerilo efikasne konstrukcije trupa platforme je odnos težina nadgrađa i čeličnog trupa i istisnine. Što je taj odnos manji to upućuje na efikasniju konstrukciju trupa. Trup platforme tipa morska zvijezda ima puno efikasniju konstrukciju trupa od CTLTP-a i ETLTP-a, ali ima manju nosivost nadgrađa i veći su troškovi instalacije.

3.2. Razvoj rajzera i bušotinskih sustava

Dizajn sustava bušotina i rajzera značajno se mjenjao tijekom faza razvoja i primjene TLP-a. Ključne komponente rajzera pod nategom s površine (*engl. top tensioned riser-TTR*) su:

- broj i promjer rajzera, debljina, broj zaštitnih cijevi koji je u vezi s načinom ostvarivanja natega, način spajanja rajzera-kovane i varena spojnice, spojnice s navojima i druge;
- okvir TLP-a na razini pontona;
- raspored bušotina na dnu mora s temeljnom pločom-postoljem (*engl. template*) ili bez.

U prvoj fazi razvoja rajzerskog sustava TLP-a, osim za platformu Auger u Meksičkom zaljevu, krajevi rajzerskih cijevi imali su kovane spojeve. Na Auger platformi se to promijenilo na varenj spoju. Var na spoju između rajzerske cijevi i spojnice s navojem izrađivao se tvornički, a zatim se spajale u rajzerski sustav na lokaciji. Takav spoj (*engl. threaded and coupled*) omogućio je korištenje rajzerske cijevi čvrstoće čelika do granice tečenja veće od 551 MPa (80 ksi). U dubokom moru koriste se rajzeri kvalitete čelika koje imaju granicu tečenja iznad 965 MPa (Aggarwal, Richard 2013).

U prvoj fazi razvoja, za prva tri instalirana TLP-a, koristila su se postolja na dnu mora za navođenje rajzera. S pojavom Auger platforme prestala su se koristiti postolja. Auger je prva TLP koja je koristila čelični ovješeni rajzerski sustav (*engl. SCRs-steel catenary riser system*). Od tada se SCRs počeo koristiti u cijelom Meksičkom zaljevu i ostalim regijama za proizvodne (povezane sustavom transportnog cjevovoda) rajzere spojene od dna mora do površine s platformom.

Druga generacija TLP-a koristila se za razradu marginalnih polja i nisu koristile TTR, natezače i površinske erupcijske uređaje. Za takav dizajn SCR-ovi su se koristili za dovođenje proizvedenih ugljikovodika iz bušotina na dnu mora do procesnih jedinica na platformi.

Najnovije platforme s nategom u nogama koriste TTR-ove i SCR-ove kao proizvodne rajzere, a samo SCR-ove za izvozne (transportne) rajzere. Za neke TLP platforme koje se koriste kao platforme „domaćini“, nove proizvodne bušotine s udaljenih polja povezane su SCR-ovima i cjevovodima. Takve se opcije danas normalno razmatra tijekom faze planiranja.

Konstrukcija TTR-a ovisi o tome hoće li se koristiti jedan ili dva niza cijevi, ovisno o projektu bušotine, operacijama koje se planiraju obavljati kroz rajzere, nazivnom tlaku i drugim kriterijama. Bušotine koje su prethodno izbušene prije instaliranja TLP-a uglavnom su koristile dizajn TTR-a s jednom kolonom zaštitnih cijevi.

Kako se povećavala dubina mora u kojem se bušilo tako se i razvijao natezni sustav rajzera i sami rajzeri. Na TLP „West Seno“ gornji sustav rajzera je spojen fiksnom cijevi (*engl. fixed joint*) na donje postolje platforme i na taj način izbjegnuta je potreba za nateznim sustavom. Dodatna varijacija izrade TLP „West Seno“ je horizontalni okvir donjeg postolja platforme koji je omogućio koncept navođenja u razini dna trupa TLP-a. TLP platforma Prince koristi jeftini opružni natezni uređaj duljine hoda od 1,22 m (4 ft), koji je ugrađen kao produžni element spojen na gornjem i donjem kraju gornje rajzerske cijevi, koji omogućuje aksijalno izduženje.

Novi propisi za sustave bušotina u dubokom moru, uvedeni poslije havarije platforme na bušotini Macondo, imaju utjecaj na dizajn TTR-ova u cilju osiguravanja dodatnih sigurnosnih mjera u razini morskog dna. Za TTR-ove za jednu kolonu cijevi na dnu rajzera se nalaze dodatni ventili uključujući i mogućnost odreza cijevi.

3.3. Razvoj cijevi za učvršćivanje platforme i sustav temeljenja

Krute cijevi koje ograničavaju vertikalna kretanja i temelji koji ih pričvršćuju o morsko dno nedvojbeno su najkritičnije komponente TLP-ova.

Tehnologija cijevi za ukrućivanje razvijala se od debelostijenih kovanih cijevi s navojnim spojem na polju Hutton do tankostijenih cijevi s Merlin spojnicama na platformi Auger s donjim i gornjim fleksibilnim zglobovima (*engl. flex joint*), proizvođača Vetco. U početku cijevi za ukrućivanje skladištile su se na posebnom slagalištu za cijevi na platformama Hutton i Snore. Nakon toga na platformama Joillet i Heidrun cijevi za ukrućivanje tegljene su, varene u jednom komadu, i zatim uspravljene. U oba slučaja prilikom transportiranja dolazilo je do padanja cijevi što je dovelo do novog načina skladištenja i transportiranja cijevi za ukrućivanje na poluuronjivom plovilu (*engl. SSCV-semi submersible crane vessel*) s dizalicom opremljenom mehaničkim spojevima. Cijevi (*engl. tendons*) su se instalirale istovremeno s trupom TLP-a ili su se predinstalirale, omogućujući njihov privremeni uzgon, do dolaska TLP-a.

Tehnologija temeljenja je puno napredovala tijekom prve faze kao što je i prikazano kroz četiri primjera. Na platformama Hutton i Joillet koriste se čelični okviri za temeljenje na dnu mora iz jednog ili više komada s vodilicama za pilote. Na Snorre i Heidrun platformama koriste se individualni betonski okviri koji omogućavaju odupiranje stalnim i dinamičkim vlačnim opterećenjima cijevi za ukrućivanje kombinacijom vakuma i gravitacije. To je vodilo do sadašnje primjene nezavisno zabijanih pilota na svim sadašnjim TLP platformama. Mogućnost primjene čekića za nabijanje podvodnih pilota je danas u dubinama većim od oko 1500 m (5000 ft).

Nekoliko dobavljača osigurava slične sposobnosti i dizajn cijevi za ukrućivanje jedinstvenog promjera koji se danas koristi u većini TLP-a druge i treće faze konstrukcije. Osim cijevi za ukrućivanje sustav se sastoji od sljedećih komponenata:

- spojnica/spoj cijevi za učvršćenje-obično je to „Merlin“ spojnica koja spaja cijevne segmente tijekom vertikalnog učvršćivanja posebnog dizajna s morskim dnom;
- donji spojni sklop-posebnog dizajna s mogućnošću otpajanja, vertikalno usađen u rukavac pilota cijevi za ukrućivanje;

- gornji spojni sklop-nazubljena prirubnica za odsjedanje cijevi pod prenatogom u obujmički sklop površinskog okvira za cijevi za ukrućivanje;
- fleksibilni zglob-sastavni dio gornjeg i donjeg spojnog sklopa koji omogućava kutni pomak do 9° po pojedinačnoj cijevi odnosno horizontalni pomak TLP-a;
- uređaj za mjerenje natega-nalazi se na gornjem spojnem sklopu i služi za kontrolu natega u cijevima za ukrućivanje;
- korozijska kapa-na vrhu cijevi za ukrućivanje, sprječava koroziju uzrokovanu morskom vodom.

Spojevi cijevi za ukrućivanje sa cijevnim nosačem na vrhu te rukavcem pilota za temeljenje na dnu moraju prenijeti jako velika, ekstremna i ciklička opterećenja. Odljevci velike čvrstoće, koji se općenito koriste kao cijevni nosači, zavareni su na trup i za posebne rukavce na vrhu pilota.

Dizajn cijevi za ukrućivanje stepenastog vanjskog promjera prvi puta se pojavio na TLP Magnolia 2004. godine i od tada se koristio na mnogim drugim platformama u Meksičkom zaljevu. Ispupčeni vanjski promjer je zapravo uvećani vanjski promjer duž jedne trećine gornjeg dijela cijevi kako bi se smanjilo opterećenje na trupu platforme. Danas najveći vanjski promjer tijela cijevi za ukrućivanje, uz odgovarajući dizajn spojnice, iznosi 0,965 m (30"), sa širom gornjom sekcijom cijevi promjera 1,12 m (44") (Aggarwal, Richard 2013).

Standardna Merlin spojnice (Slika 3-6.) - izrazito velike čvrstoće i otpornosti na zamor materijala, izrazito tankog profila. Najčešće ima debljinu stijenke 0,0381 m. Vanjski promjer seže i do 1,524 m i može se koristiti u nezacijevljenoj bušotini, kao oprema u zaštitnoj koloni od ušća bušotine do lajnera na dnu, kod rajzera, kod cijevi za učvršćivanje TLP i drugdje. Napravljena je tako da se samo u potpunom sastavljenom položaju može ukopčati pomoću zubaca. Za sastavljanje spoja potrebno je 5 minuta koristeći hidrauličku stezaljku i zračni kompresor. Nakon navrtanja spojnice hidraulička stezaljka se postavlja oko spoja i između muškog i ženskog navojnog spoja utiskuje se zrak. Kako se zrak širi tako širi ženski navojni spoj oko muškog dok hidraulička stezaljka omogućava njihovu prisnost. Kada se zrak ispusti ženski navojni spoj se stisne oko muškog navoja. Uklještenje koje stvaraju zubi spoja pretvaraju radijalni u aksijalni prenatog koji je puno jači, čvršći.



Slika 3-6. Merlin spojnice (www.oilstates.com)

4. MINI TLP

Mini TLP razvijene su zbog smanjenja ukupnih troškova odobalnog bušenja u dubokim vodama. Prve platforme takvog tipa konstruirane su za uvjete u Zapadnoj Africi uz korištenje pomoćne platforme (*engl. tender assist drilling, TAD*) do dubine 1000 m. Na slici 4-1. prikazana je Morpeth mini tlp platforma.



Slika 4-1. Morpeth mini TLP (www.offshore-technology.com)

Glavni cilj su manji troškovi postrojenja što omogućava isplativost proizvodnje iz manjih, marginalnih polja. Koncept se zasniva na tome da je to platforma s ušćem bušotina na površini s 12 otvora za bušenje, minimalnim brojem prostorija na nadgrađu uz daljinski upravljane operacije bez potrebe za posadom. Najveća posebnost ovakvog tipa platforme je

da je dizajnirana za rad uz korištenje pomoćnog plovila (Slika 4-2.) tijekom bušenja na isti način kao i kod platformi s manjim brojem bušotinskih glava. Pomoćno plovilo može biti barža ili poluuronjiva platforma.

Pomoćno plovilo je samoodrživa jedinica opremljena s bušaćim postrojenjem, svom dodatnom opremom i uređajima te smještajnim prostorijama za podršku procesa bušenja. Na postrojenju se nalazi posebna dizalica za rukovanje i prijenos tornja s opremom na TLP. Tijekom bušenja, mini TLP podržava težinu cjelokupnog tornja pozicioniranog u središtu bušotinskog prostora s preventerskim sklopom na površini montiranim na visokotlačni bušaći rajzer pod nategom. Tijekom opremanja, visokotlačni bušaći rajzer se odlaže. BOP se skida i rajzer se ostavlja ovješanim na natezačima u središtu podišta bušotinskih glava s donjim krajem spojen na bušotinsku glavu sljedeće bušotine koja je na redu za bušenje. Nakon toga toranj se postavlja iznad odgovarajućeg otvora za bušenje izvan podišta bušotinskih glava kako bi se spojio proizvodni rajzer i završilo opremanje. Toranj se zatim vraća u centralni položaj gdje je bušaći rajzer spreman za izradu nove bušotine. Proizvodni rajzeri se stavljaju pod nateg uz pomoć tornja i zaključavaju na razini donje palube bez potrebe za natezačima i bez potrebe za vodilicama u razini pontona. Na taj način se pojednostavljuje stanje na podištu bušotinskih glava kao i s operativnog aspekta te održavanja rajzerskog sustava.

Glavni ciljevi razvoja mini TLP su smanjenje troškova manjeg proizvodnog postrojenja u dubokim vodama omogućavajući operatoru razradu ležišta tijekom faza bušenja ili proizvodnje. U nastavku slijede glavne opcije kojima se rukovodi kod dizajna kako bi se zadovoljili prethodno navedeni funkcionalni zahtjevi.

Bušaće postrojenje

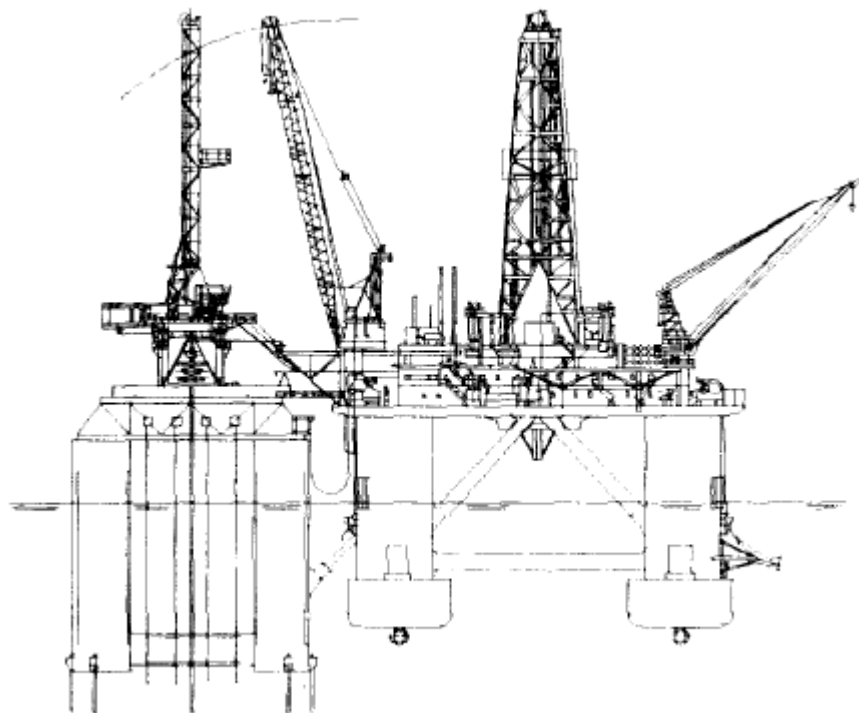
Prvi korak je odabir odgovarajućeg tornja sa pripadajućom opremom. Izbor je između tornja sa kompletnom opremom ili lakše konstrukcije s remontnim postrojenjem. Razlika između tih opcija je u težini osnovne opreme, promijenjive opreme za bušenje te u potrebnom nategu rajzera do oko 1200 tona ukupne težine nadgrađa. Kao rješenje za mini TLP razvio se koncept prema kojemu postoji konstrukcija za održavanje kompletnog tornja s opremom i bušaćim rajzerom. U tom slučaju za sve vrste bušotina koristi se pomoćno plovilo uz mini TLP.

Broj linija za učvršćenje

Broj linija za učvršćenje po kraku određuje koncept izrade mini TLP. Kao prihvatljivo rješenje dizajna mini TLP-a je postavljanje dvije linije po kraku koji će osigurati podvostručenje i zadovoljiti kriterije dizajna ukoliko jedna linija bude izvan upotrebe. To je u skladu s važećom praksom dizajniranja i osigurava zadovoljavajuću sigurnosnu razinu. Takav princip koristi se za mini TLP sa 3 stupa kao i za klasične, kvadratne, četverokolonske platforme.

Smještaj podišta bušotinskih glava

Broj i pozicija bušotinskih glava na platformi predstavlja glavni čimbenik u određivanju konačne veličine TLP-a. Temeljna razlika između dva različita smještaja podišta bušotinskih glava je način na koji su proizvodni rajzeri podržani na razini palube i navođeni na razini pontona. Smještaj podišta bušotinskih glava u središtu platforme omogućava najizravniji pristup rajzerima ovješanim na razini palube bez međusustava njihova navođenja. Takav se raspored koristi kada su bušotine smještene blizu središta platforme i postoji dovoljan razmak između rajzera i pontona kako ne bi došlo do dodirivanja. Ukoliko se bušotine nalaze uz rubove platforme ili ne postoji dovoljan razmak između rajzera i pontona kako bi se spriječilo dodirivanje, mora se koristiti određeni sustav vodilica. Općenito, to također generira zahtjev za dodatnom kontrolom savijanja u sustavu rajzera što se postiže primjenom rasteretne ili kuglaste (fleksibilne) spojnice. Kao najjednostavnije rješenje za mini TLP platforme odabire se sustav bez vodilica s centralnim smještajem podišta bušotinskih glava.



Slika 4-2. Mini TLP s pomočnim plovilom (Hudson, Vasseur 1996)

5. ZAKLJUČAK

Odabir tipa platforme koji će se primijeniti za izradu bušotina i proizvodnju ugljikovodika u određenom okruženju temelji se na razumijevanju brojnih pokazatelja, poput geografskog položaja ležišta ugljikovodika, dubine mora i konfiguracije morskog dna, udaljenosti od obale, veličine ležišta i količine pridobivih rezervi, cijena nafte i plina, troškovi proizvodnje i transporta, itd. Jedna od glavnih karakteristika spar platformi je povećana stabilnost s obzirom na maritimne utjecaje tijekom izrade bušotine ili proizvodnje nafte i plina. Zbog malih pomaka tijekom plutanja, omogućene su različite izvedbe opreme bušotine odnosno mogu se koristiti sustavi s podvodnim ili površinskim erupcijskim uređajem sa ili bez bušačeg postrojenja i sa ili bez postrojenja za proizvodnju. Danas se unaprijeđuje konstrukcija spar platforme kako bi se poboljšale karakteristike jer se buši u sve dubljim vodama i zahtjevnijim uvjetima bušenja. Funkcionalni zahtjevi, infrastruktura, konstrukcijski i instalacijski kapaciteti platforme drastično se razlikuju ovisno o regiji u kojoj se izvodi bušenje. Prema tome se i izrađuju i rekonstruiraju spar platforme. Platforma s nategom u nogama je jedna od rijetkih plutajućih proizvodnih platformi koja omogućuje razradu dubokih polja u bilo kojem proizvodnom području u svijetu. U osnovi sastoji se od plutajućeg trupa na koji se postavljaju nadgrađe i bušotinski sustavi, usidrena o morsko dno pomoću ukrućenih cijevi za učvršćenje s temeljnom sidrenom pločom na dnu mora kako bi se spriječili vertikalni pomaci zbog djelovanja valova. Ograničenje vertikalnog pomaka platforme omogućava povezivanje proizvodnih bušotina s palubom TLP-a korištenjem vertikalnih rajzera pod nategom povezanih s površinskim erupcijskim uređajem. Mini TLP razvijene su jer imaju manje ukupne troškove odobalnog bušenja u dubokim vodama. Zbog toga omogućuju isplativu proizvodnju iz manjih, marginalnih polja. Koncept se zasniva na tome da je to platforma s ušćem bušotina na površini s 12 otvora za bušenje, minimalnim brojem prostorija na nadgrađu uz daljinski upravljane operacije bez potrebe za posadom. Najveća posebnost ovakvog tipa platforme je da je dizajnirana za rad uz korištenje pomoćnog plovila tijekom bušenja na isti način kao i kod platformi s manjim brojem bušotinskih glava. Pomoćno plovilo može biti barža ili poluuronjiva platforma.

6. POPIS LITERATURE

-Aggarwal, T., Richard, D., 2013. The Tension Leg Platform Technology - Historical and Recent Developments. U: Offshore Technology Conference OTC Brasil, 29-31 October, Rio de Janeiro, Brazil. 1-18 str.

-Bibv. Struktura TLP-a. URL: <http://bibv.its.ac.id/page/read/hydro-structural-study-on-tension-leg-platform-tlp-marine-construction-2429> (10. 09. 2015.)

-Blogspot. 2010. Tipovi spar platformi URL: <http://minyakdangasmalaysia.blogspot.hr/2010/10/part-ii-types-of-offshore-platforms.html>, (01. 10. 2015.)

-Brooks, I. H., Carroll, J. P., 1994. Drilling and Production From a Floating Spar. U: SPE International Petroleum Conference and Exhibition of Mexico, 10-13 October, Veracruz, Mexico. 309-320 str.

-Buberg, T., 2014. Design and Analysis of Steel Catenary Riser Systems for Deep Waters: Subsea technology, June 2014. Norwegian University of Science and Technology Department of Marine Technology

-Dunn, G., 2013. Dry Tree Top Tensioned Riser Systems. U: Offshore Technology Conference OTC Brasil, 29-31 October, Rio de Janeiro, Brazil. 1-14 str.

-HTE. Transport TLP-a. URL: <http://hitechelectric.com/projects/shell-olympus/> (10. 09. 2015.)

-Hudson, W. L., Vasseur, J. S., 1996. A Small Tension Leg Platform for Marginal Deepwater Fields. U: Offshore Technology Conference Offshore Technology Conference 6-9 May, Houston, Texas. 149-158 str.

-Kocaman, A., Verdin, E., 1997. Neptune Project: Spar Hull, Mooring and Topsides Installation. U: Offshore Technology Conference Offshore Technology Conference 5-8 May, Houston, Texas. 273-288 str.

- Maher, J. V., et al., 2001. Floatover Deck Installation for Spars. U: Offshore Technology Conference Offshore Technology Conference, 30 April-3 May, Houston, Texas. 2-9 str.
- Marinelink. 2013. TLP. URL: <http://www.marinelink.com/news/production-projected353587.aspx> (16. 09. 2015.)
- Offshore technology. Morpeth mini TLP. URL: <http://www.offshore-technology.com/projects/morpeth/morpeth3.html> (10. 10. 2015.)
- Oil states. Merlin. URL: http://www.oilstates.com/fw/main/merlin_connector-534.html (01. 09. 2015.)
- Oki. Usadni moduli spar platforme. URL: <http://www.offshorekinematics.com/page/projects/cpoc.html> (12. 08. 2015.)
- Quora. Barža dizalica za težak teret. URL: <https://www.quora.com/How-do-offshore-drilling-platforms-move-from-place-to-place> (23. 08. 2015.)
- Platforme za bušenje u dubokom moru. URL: (<https://www.pinterest.com/chiaki999/offshore-structures-specialised-vessels/>) (20. 09. 2015.)
- Rigzone. 2010. Perdido spar. URL: http://www.rigzone.com/NEWS/image_detail.asp?img_id=6644, (23. 09. 2015.)
- Sablok, A. K., Barras, S. A., 2009. The Internationalization of the Spar Platform. U: Offshore Technology Conference Offshore Technology Conference, 4-7 May, Houston, Texas. 1-21 str.
- TTR. URL: [http://www.2hoffshore.com/documents/papers/2012-DOT-Top-Tensioned-Riser-\(TTR\)-Engineering-Integrator-Supply-Model.pdf](http://www.2hoffshore.com/documents/papers/2012-DOT-Top-Tensioned-Riser-(TTR)-Engineering-Integrator-Supply-Model.pdf) (20. 09. 2015.)