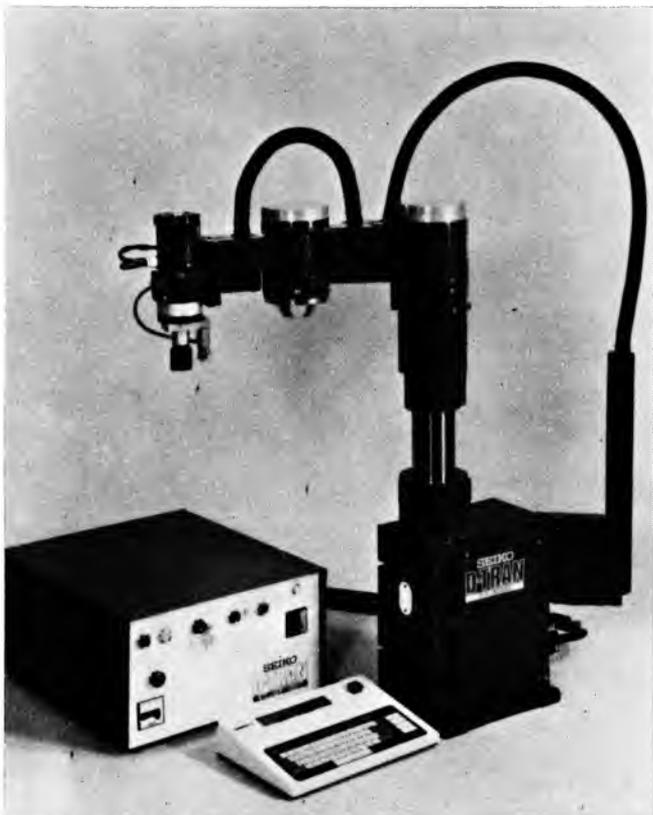
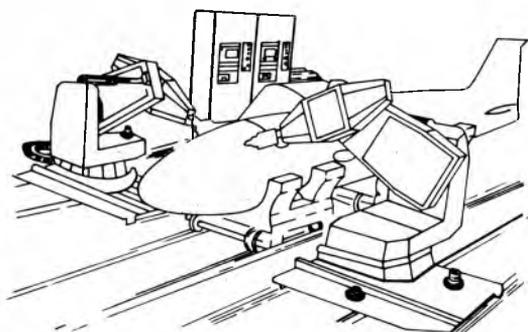


pak koji su van zglobova prenose svoje kretanje na njih pomoću mehaničkih reduktora ili poluga.

U mašinskom pogledu konstrukcija industrijskih robota najviše liči na podsklopove alatnih mašina i dizalica, ali su mnogo lakši i preciznije izrađeni, čime se postižu manje gravitacione i inercijalne sile i momenti te značajno smanjenje zazora.



Sl. 35. Robot s motorima u zglobovima (Seiko T1-300)

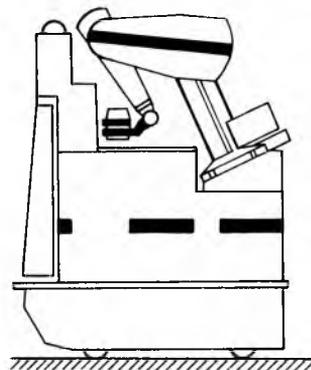


Sl. 36. Merni robot

Danas skoro ne postoji delatnost industrijske proizvodnje u kojoj bar nije pokušana primena industrijskih robota. Učešće robota se sve više uočava u sledećim postupcima: elektrolučnog zavarivanja, elektrotlačnog zavarivanja, livenja pod pritiskom, bojenja prskanjem, opsluživanja radnih mašina, rukovanja materijalom i paletizacijom, obrade odlivaka i otkivaka, nanošenja lepka i zaptivne mase, montaže itd.

U poslednje vreme pojavile su se i nekonvencionalne primene industrijskih robota. Tako je vrlo visoka tačnost pozicioniranja, a posebno tačnost senzora položaja organa robota (enkoderi, rezolveri, merne letve) omogućila upotrebu robota umesto tzv. *mernih mašina*, koje predstavljaju izuzetno skupe motorizovane pravouglove merne sisteme znatnih dimenzija ako se radi o većim proizvodima (letilice, plovila, vozila i sl.). Slika 36 prikazuje instalaciju za proveru dimenzija trupa

aviona koji dva merna robota *opipavaju* na karakterističnim mestima, pa se izmereni podaci preračunavaju na dimenzije radnog predmeta u njegovu koordinatnom sistemu i pamte u memoriji upravljačkog sistema, a posle merenja izdaju u obliku štampanog protokola.



Sl. 37. Pokretni robot sa postavljenim manipulatorom

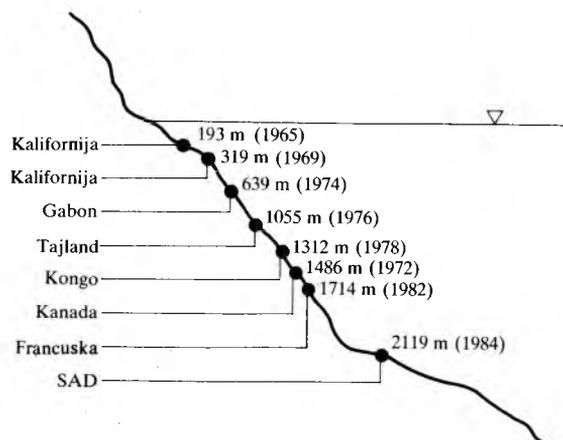
Sasvim drugu neobičnu primenu industrijskog robota predstavlja sl. 37, gde se na pokretnom robotu (ROBOCAR) nalazi industrijski robot (tipa PUMA) za opsluživanje više radnih mesta u tzv. *čistim sobama* elektronske i nekih drugih industrija.

LIT.: Ю. А. Степаненко, Динамика пространственных механизмов. Математички институт, Београд 1974. – Роботехника, под редакцией Е. П. Попова, Е. И. Юевича, Машиностроение, Москва 1984. – М. Вукобратовић, Примењена динамика манипулационих робота. Техничка knjiga, Београд 1986. – М. Вукобратовић и др., Увод у роботiku. Институт »Михајло Пупин«, Београд 1986. – М. Вукобратовић, Д. Стокић, Управљање манипулационим роботима. Техничка knjiga, Београд 1988.

M. Vukobratović

RUDARSKA PODMORSKA BUŠENJA, bušenja morskog dna radi istraživanja i dobivanja korisnih sirovina iz podmorskih sedimenata. Danas se takva bušenja primenjuju za istraživanje i iskorištavanje podmorskih ležišta ugljikovodika: nafte, kondenzata i plina. Za tu se svrhu rabe platforme i brodovi za bušenje. Platforme mogu biti stalne (nepokretne) te pokretne samopodizne, uronjene i poluuronjene.

Prve podmorske bušotine izrađene su devedesetih godina prošlog stoljeća sa stalnih, nepokretnih platformi neposredno uz obalu Kalifornije. Tamo je odobalno (offshore) naftno polje Summerland otkriveno 1886. U istom naftonosnom području izrađena je 1930. i prva usmjerena bušotina (Huntington Beach i Wilmington), a 1932. izrađeno je nekoliko bušotina s prve odobalne platforme na stupovima. Godine 1933. počinju istraživanja podmorskim bušenjem u Meksičkom zaljevu, gdje je 1947. otkriveno prvo veliko odobalno ležište. Od tada datira intenzivan razvoj istraživanja i dobivanja ugljikovodika iz podmorskih stijena. To omogućuje radove na sve većim dubinama (sl. 1).



Sl. 1. Povećanje morskog dubine na kojoj su provedena podmorska bušenja u razdoblju od 1965. do 1984.

Tako je 1984. s broda za bušenje Discoverer Seven Seas (sl. 2) izrađena istražna bušotina na istočnoj obali SAD na dubini mora od 2119 m.

Danas se nafta i plin dobivaju iz podmorskih sedimentata s morske dubine do 400 m. Razrađena je i prihvaćena tehnologija istraživanja i dobivanja iz naftonosnih područja Arktika, Sjevernog mora, Meksičkog zaljeva, istočnog epikontinentalnog pojasa Južne Amerike, Pacifika i Mediterana. U tabl. 1 prikazana su dosadašnja vrhunska tehnološka dostignuća u istraživanju i dobivanju ugljikovodika iz podmorskih stijena.

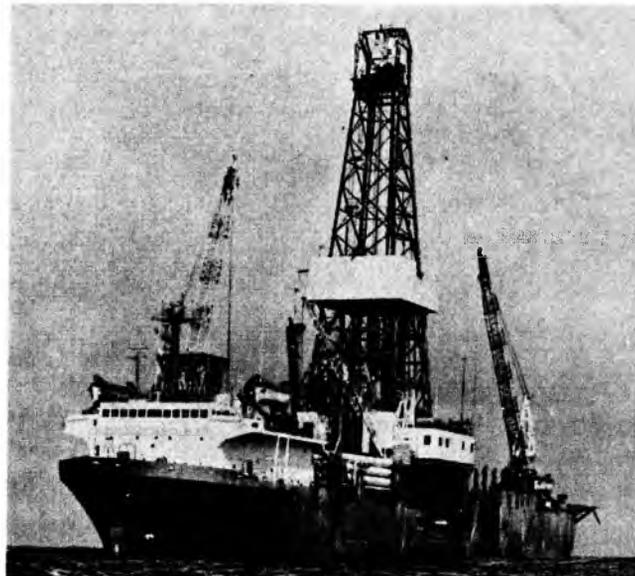
Razvoj istraživanja ležišta ugljikovodika u jugoslavenskom dijelu jadranskog podmorja djelomično je prikazan u članku *Nafta*, TE 9, str. 210. Otkriće plinskih polja *Ivana* i *Ika* potaklo je poduzeće INA-Naftapljin da u domaćim brodogradilištima izgradi samopodiznu platformu *Labin*, konstrukcijski ospo-

sobljenu i za razradno bušenje. Platforma je izrađena 1985. Radi istraživanja u srednjem i južnom dijelu jadranskog podmorja, gdje su dubine mora mnogo veće od 90 m, INA-Naftapljin je 1981. nabavio i poluuronjenu platformu *Zagreb 1*. S tim dvjema platformama i platformom *Panon* izbušene su od 1970. do proljeća 1987. 84 bušotine s ukupno 169632 m istražnog bušenja u hrvatskom i 3 bušotine s ukupno 13053 m u crnogorskom dijelu Jadrana.

Tablica 1

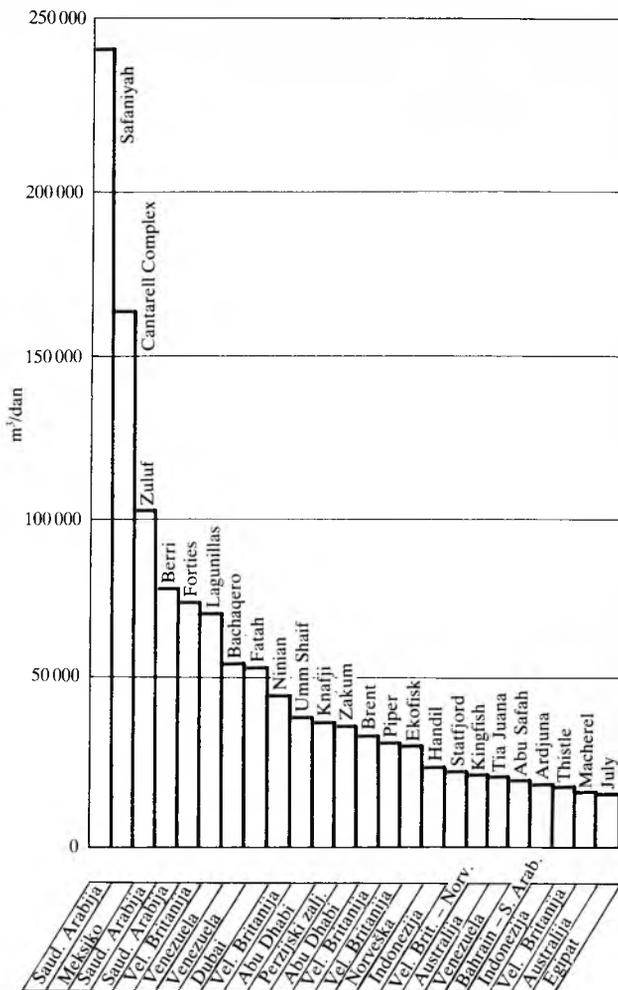
DOSADAŠNJA NAJVEĆA DOSTIGNUĆA U ISTRAŽIVANJU I PRIDOBIVANJU UGLJIKOVODIKA IZ PODMORJA

Opis dostignuća	Ostvarenje	Lokacije	Nosilac radova
Najveća dubina istražne bušotine u podmorju	7606 m 1985. god.	North Padre Island	Arco Oil & Gas Co.
Najveća dubina proizvodne bušotine u podmorju	6248 m	Grand Isle Block 25 Louisiana, SAD	Hunt Oil
Najveća moguća dubina bušenja	9150 m, do dubine mora 8235 m	Istočna obala SAD	Joides Resolution, brod za bušenje
Najveća dubina mora na kojoj je postavljena stalna proizvodna platforma	312 m 1978. god.	Meksički zaljev	Shell Oil, stalna proizvodna platforma Cognac
Najviša proizvodna platforma	385 m 1978. god.	Meksički zaljev	Shell Oil, stalna proizvodna platforma Cognac
Najteža proizvodna platforma	Istisnina platforme 899000 t	Sjeverno more, norveški sektor	Statoil, platforma Statfjord B
Najviše usmjerenih bušotina s jedne platforme	96	Kanal St. Barbara, SAD	Union Oil, platforma Gilda
Najveće podmorsko ležište nafte	3,5·10 ⁹ m ³	Safaniyah, otkriveno 1951. Perzijski zaljev, Saudijska Arabija	Aramco, Saudijska Arabija
Najveća dnevna proizvodnja obalnog naftnog polja	238000 m ³ 1951. god.	Polje Safaniyah, otkriveno 1951. god., Perzijski zaljev, Saudijska Arabija	Aramco, Saudijska Arabija
Najveća dubina mora na kojoj je postavljen podmorski sustav proizvodnje	383 m 1985. god.	Marimba, Campos Basin, Brazil	Petrobras, Brazil
Najviša stalna proizvodna platforma s koje će se uskoro proizvoditi nafta	492,5 m 1988. god.	Green Canyon, Meksički zaljev	Shell Oil Comp., Meksički zaljev, platforma Bullwinkle
Najveća dubina mora i tip proizvodne platforme s koje se uskoro očekuje proizvodnja	536,8 m 1989. god. TLWP	Green Canyon, Block 184 Meksički zaljev	Conoco, Polje Jolliet, Meksički zaljev
Najdublje simulirano ronjenje	686 m		Istraživački program, Medical Center, SAD
Najveća dubina podmorskog cjevovoda	610 m 1980. god.	Sredozemno more, povezuje Alžir sa Sicilijom	
Najdulji podmorski cjevovod	519 km	Sjeverno more, povezuje polje Frigg s obalom Škotske	Shell, Esso
Najdublja istražna bušotina izbušena našom platformom	7305 m 1980. god.	Sjeverni Jadran AMANDA-1 BIS	INA-NAFTAPLIN Platforma PANON



Sl. 2. Brod za bušenje Discoverer Seven Seas

Proizvodnja ugljikovodika iz podmorja. Razmještaj najvažnijih nalazišta nafte i plina u kontinentalnom i obalnom dijelu Zemljine kore prikazan je u članku *Nafta*, TE 9, str. 194.



Sl. 3. Dnevna proizvodnja nafte najvećih podmorskih ležišta nafte i plina (1981)

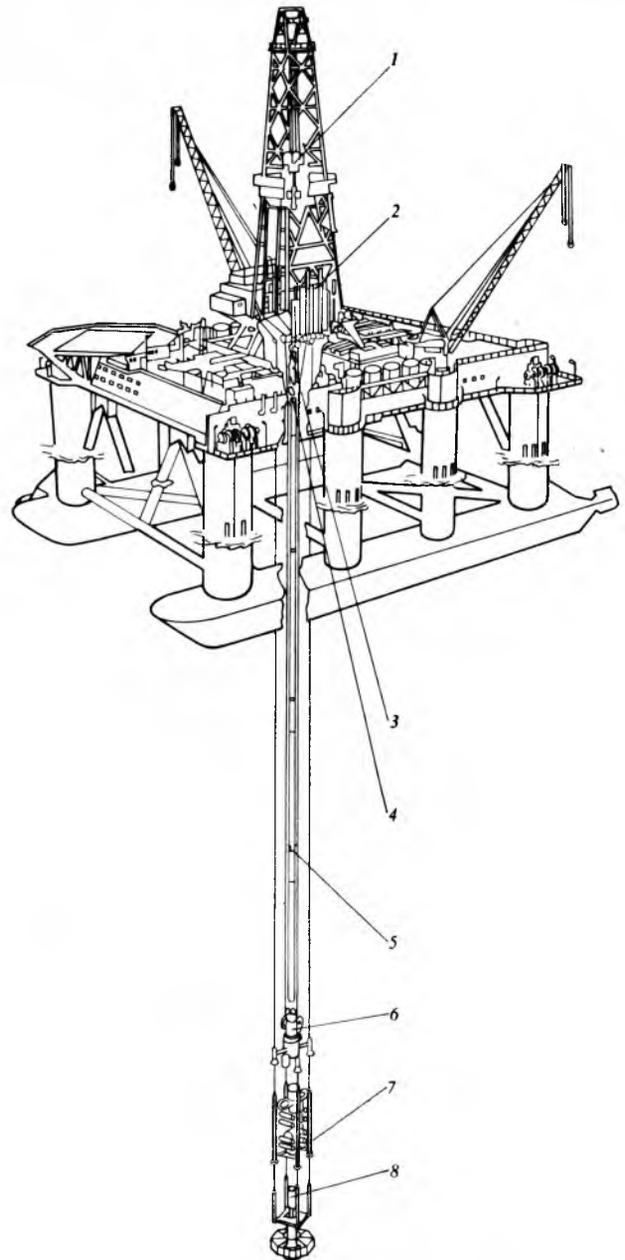
Znatno povećanje proizvodnje iz kopnenih sedimenata pratilo je još intenzivnije povećanje iz podzemskih ležišta. Pritom se udio nafte iz podmorja stalno povećavao s obzirom na količinu dobivenu iz kopnenih ležišta. Tako je 1970. u svijetu ukupno proizvedeno $2,3 \cdot 10^9$ t sirove nafte, od čega je iz podzemskih ležišta dobiveno 17%, a 1985. već 28%. Rezerve nafte akumulirane u podzemskim sedimentima iznose 26...41% od ukupno procijenjenih rezervi koje iznose $95 \cdot 10^9$ t, te 25...30% prirodnog plina od $91,6 \cdot 10^{12}$ m³ koliko iznose ukupno procijenjene rezerve.

Iako su rijetka podmorska ležišta koja imaju pridobive rezerve veće od $70 \cdot 10^6$ t, ipak se procjenjuje da sadrže ~80% ukupnih rezervi podzemskih ležišta nafte. Do sada je u svijetu otkriveno samo ~250 takvih polja. Od preostalih 26000 polja, 99% sadrži manje od $140 \cdot 10^3$ t. Od 24 najveća podmorska naftna ležišta (sl. 3) najveće je Safaniyah u Perzijskom zaljevu, gdje pridobive rezerve iznose $\sim 3,5 \cdot 10^9$ t. U Sjevernom moru otkriveno je 1973. najveće naftno-plinsko polje Stratfjord s ukupnim rezervama nafte od $\sim 410 \cdot 10^6$ t i $\sim 88 \cdot 10^9$ m³ plina. U talijanskom dijelu jadranskog podmorja izrađeno je više od 450 istražnih i 300 proizvodnih bušotina. Bušotinama izrađenim na dubinama mora od 827 m utvrđena je znatna akumulacija nafte, dok je na dubini mora od 957 m nafta utvrđena u tragovima. Do sada najveće proizvodno naftno polje u Mediteranu nalazi se u libijskom dijelu podmorja, gdje dubina mora iznosi 172 m.

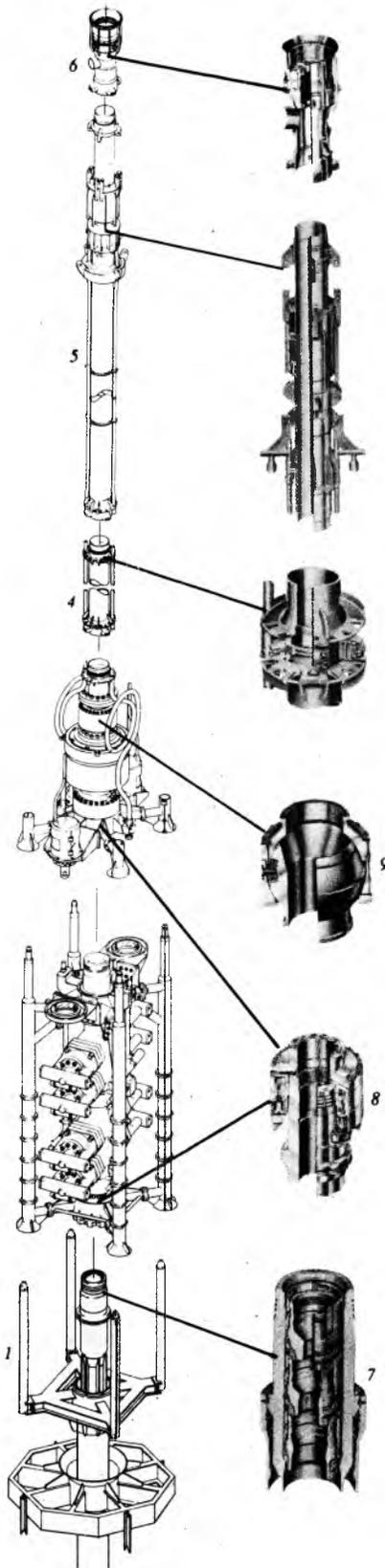
Tehnologija podmorskog bušenja. Pri bušenju s proizvodnih i samopodiznih platformi, ušće bušotine odnosno bušotinska glava zajedno sa sklopom preventera smješteni su iznad visine dohvata maksimalnog stogodišnjeg vala, i to neposredno ispod bušaćeg postrojenja. Postrojenje je montirano na gornjim palubama nadgrada proizvodnih platformi i na supstrukturama samopodiznih platformi. Tehnološki proces izradbe bušotine počinje ugrađivanjem konduktorske kolone zaštitnih cijevi pomoću hidrauličkog čekića u mekanom tlu, a bušenjem i nabijanjem u tvrdom. Kad se postigne predviđena dubina, konduktorska kolona se odreže dovoljno visoko iznad razine mora, pa se na nju ugradi prirubnica za nošenje kao osnovni element bušotinske glave, a na nju se montira sklop preventera i izljevnja cijev. Svi ostali zahvati u tehnologiji bušenja sa stalnih i samopodiznih platformi potpuno su identični onima što se primjenjuju za bušenje na kopnu (v. *Bušenje na veliku dubinu*, TE 2, str. 552; v. *Nafta*, TE 9, str. 199). Podmorsko se bušenje razlikuje od bušenja s kopna po tome što su poluuronjene platforme i brodovi za bušenje djelomično uronjeni u vodu i pri tome plutaju, pa se, već prema trenutnim meteorološkim i maritimnim prilikama, zbog djelovanja sila vjetrova, valova i morskih struja pomiču u različitim smjerovima. Zbog toga se ušće bušotine, odnosno bušotinska glava, smješta na morsko dno, dok se spoj s platformom i kontrola bušotine za vrijeme izradbe ostvaruju podvodnim sklopom preventera i njegovom donjom i gornjom hidrauličkom spojnicom, podesivom spojnicom, sustavom cijevi uronjene stojke, vodovima za ispuhivanje i gušenje bušotine, užadima za vođenje alata i uređaja potrebnih pri izradbi bušotine i sustavima za održavanje natega niza cijevi uronjene stojke, te jedinicom i vodovima za upravljanje sklopom preventera i njegovom gornjom i donjom hidrauličkom spojnicom, podesivom i teleskopskom spojnicom (sl. 4 i 5). Ušće bušotine sastoji se od privremene bazne ploče, stalnog uređaja za vođenje i bušotinske glave (sl. 6). Privremena bazna ploča je četverokutna ili šesterokutna čelična konstrukcija, podijeljena pregradama i s otvorom u središtu, te opremljena četirima nazubljenim nogama. Ona služi za sidrenje četiriju užeta za vođenje te kao temelj za dosjedanje stalnog uređaja za vođenje. Donji krajevi užeta za vođenje učvršćuju se u ušicama nogu, a gornji se namataju na bubnjeve uređaja za održavanje natega koji su ugrađeni na radnoj palubi platforme ili broda. Nakon sidrenja platforme pregradne se ploče napune baritom, donji krajevi užeta za vođenje privežu se za ušice nogu te se u otvor ploče ugradi alatka za spuštanje, koja se spaja s bušaćim alatcima. Tokom dosjedanja ploče noge prodiru u dno, što pri odvajanju alatke

za spuštanje sprečava rotaciju ploče. Zatim se dlijetom odgovarajućeg promjera i bušaćim alatcima izradi kanal bušotine, pa se pomoću stalnog uređaja za vođenje, alatke za spuštanje i bušaćih šipki ugradi i zacementira konduktorska kolona zaštitnih cijevi. Konduktorska kolona učvršćuje privremenu baznu ploču za morsko dno i preuzima težinu sklopa preventera i sustava cijevi uronjene stojke.

Stalni uređaj za vođenje rešetkasta je četverokutna čelična konstrukcija, opremljena sa četiri okomita stupa, s otvorom u središtu konstrukcije prilagođenim ugradnji kućišta konduktorske kolone. U stupove se ugrađuje užad za vođenje alata i opreme što se rabi za izradbu bušotine. Nakon što stalni uređaj za vođenje dosjedne na privremenu baznu ploču, alatka se za spuštanje odvoji i zajedno s bušaćim alatcima izvuče na platformu. Stalni uređaj za vođenje u daljoj izradbi bušotine služi za izvođenje pojedinih tehnoloških zahvata te za ugradnju elemenata bušotinske glave, kolona zaštitnih

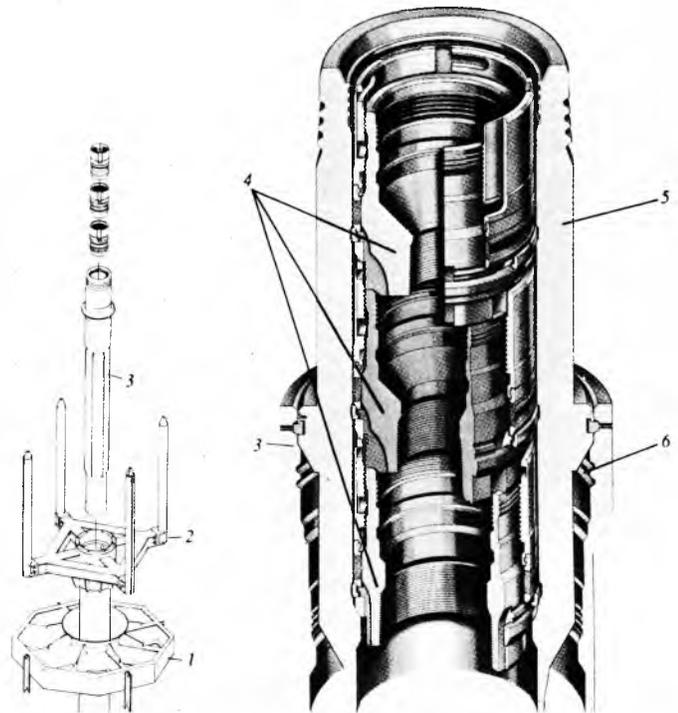


Sl. 4. Spoj poluuronjene platforme s bušotinskom glavom. 1 sustav za ublažavanje pomaka bušaće alatke i kolone zaštitnih cijevi, 2 sustav za ublažavanja zatezanja vodilica i niza cijevi uronjene stojke, 3 preventer za odvođenje plina od platforme što se pojavljuje pri bušenju plitkih sedimenata, 4 teleskopska spojnica, 5 niz cijevi uronjene stojke, 6 podesiva spojnica, 7 sklop preventera s gornjom i donjom spojnicom, 8 bušotinska glava s ovjesitima kolona zaštitnih cijevi



Sl. 5. Uređaj za spajanje platforme i bušotinske glave. 1 oprema ušća bušotine: privremena bazna ploča, stalni uređaj za vadenje bušotinske glave, 2 sklop preventera s donjom hidrauličkom spojnicom za spajanje sklopa s bušotinskom glavom, 3 sustav niza uronjene stojke: donja hidraulička spojnica, podeseive spojnice spojene s nizom cijevi uronjene stojke, teleskopska spojnica, diverter preventera, 4 spojnica niza cijevi uronjene stojke, 5 teleskopska spojnica, 6 preventer (tip diverter), 7 bušotinska glava, 8 donja i gornja hidraulička spojnica, 9 fleksibilna spojnica

cijevi, opreme za kontrolu bušotine i sklopa cijevi uronjene stojke. Uz to uređaj zajedno s privremenom baznom pločom preuzima težinu ugrađene opreme i težinu kolona zaštitnih cijevi. Sklop bušotinske glave i ovjesišta za vješanje kolona zaštitnih cijevi nosi težinu tih kolona i sklopa preventera ili podvodnog uređaja.



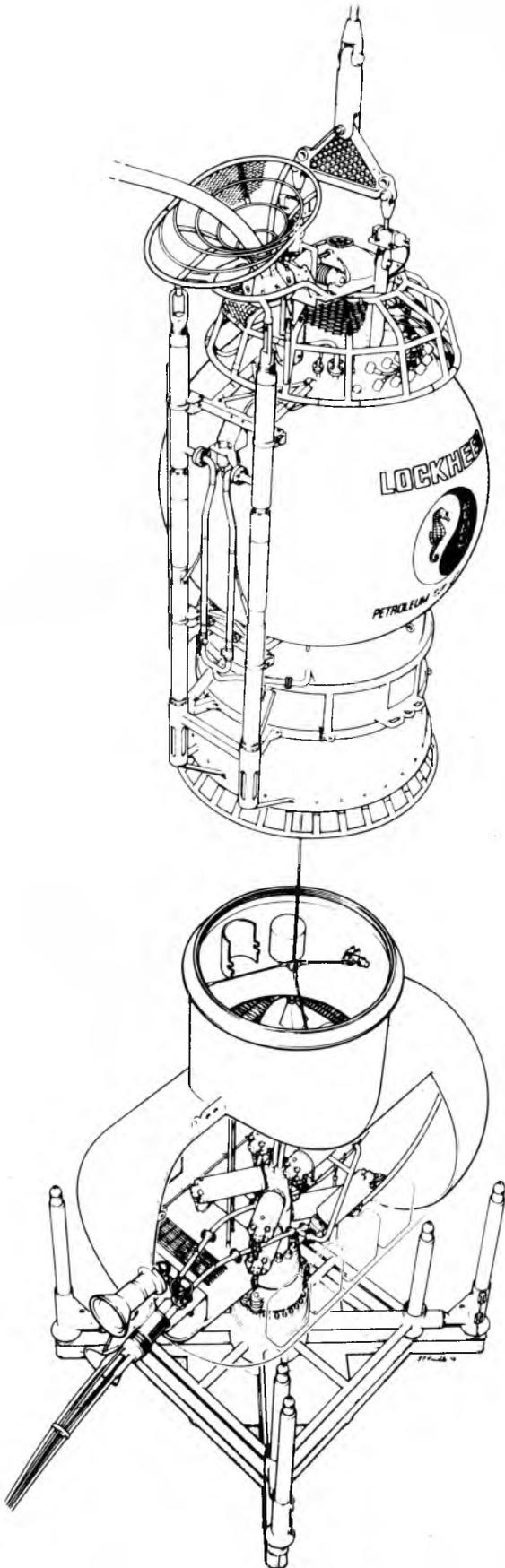
Sl. 6. Oprema bušotinske glave. 1 privremena bazna ploča, 2 stalni uređaj za vadenje, 3 bušotinska glava, 4 ovjesišta kolona zaštitnih cijevi, 5 kućište bušotinske glave, 6 kućište konduktora kolone

Kućišta bušotinskih glava imaju navoje koji omogućuju spoj hidrauličke spojnice sa sklopom preventera. Bušotinska glava se sastoji od kućišta i ovjesišta kolona zaštitnih cijevi, brtvenih sklopova i zaštitnih košuljica. Najčešće se upotrebljavaju bušotinske glave i uređaji za vješanje kolona zaštitnih cijevi koje su konstrukcijski prilagođene za upotrebu samo jednostrukog sklopa preventera. Bušotinska je glava, također, usklađena s konstrukcijom bušotine, koja se sastoji od sljedećih kolona zaštitnih cijevi: konduktorske (promjer 762 mm), uvedne (508 mm), prve (339,7 mm) i druge (244,5 mm) tehničke te proizvodne (178 mm). Takva konstrukcija bušotinske glave zahtijeva mnogo manje zahvata pri ugradnji ovjesišta kolona zaštitnih cijevi bilo kojeg promjera i brtvenica prstenastog prostora. U posljednje doba u procesu proizvodnje nafte i plina na velikim dubinama sklop se bušotinske glave proizvodne bušotine smješta na dno mora u tlačnu komoru s provlakom i priključkom za ronilačko zvono. Tlačna komora olakšava montažu, održavanje i popravak elemenata glave i štiti je od mehaničkih oštećenja (sl. 7).

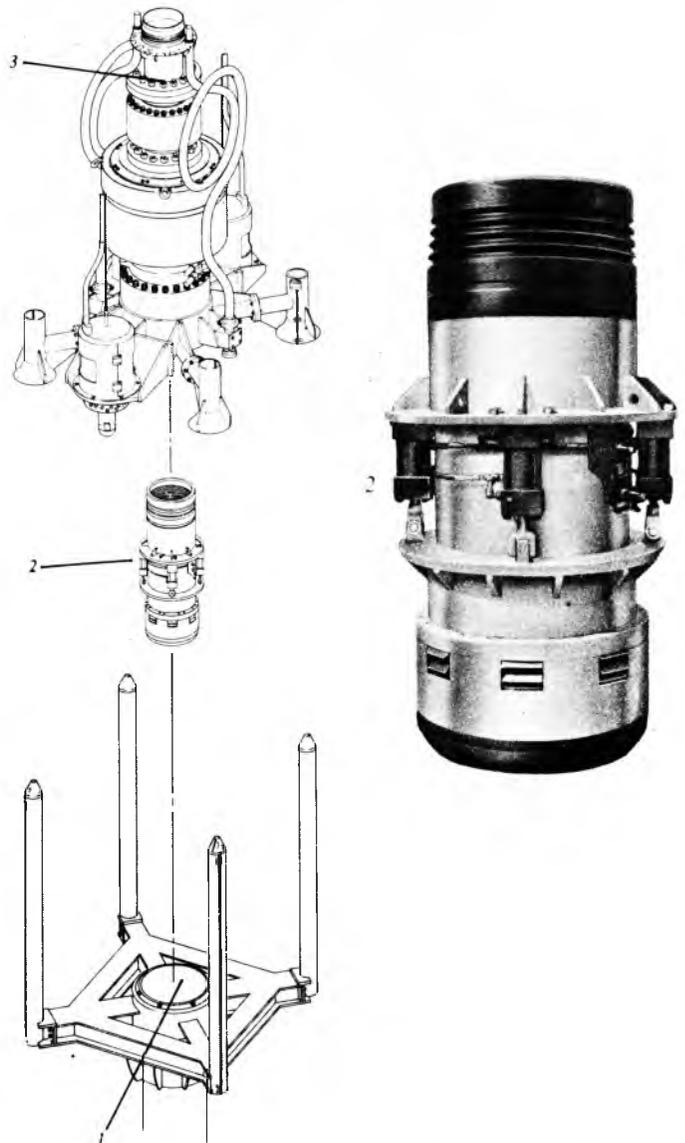
Kad se izradi kanal bušotine za ugradnju uvedne kolone, kućište se kolone spaja hidrauličkom spojnicom sa sustavom cijevi uronjene stojke (sl. 8). To u svim ostalim fazama bušenja omogućuje izradbu bušotine uz potpuni optok toka isplake, odnosno povrat toka u isplačni sustav ugrađen u trup platforme. Tako se znatno pojednostavnjuje bušenje i povećava sigurnost pri bušenju. Svi su ostali zahvati u tehnologiji bušenja identični onima koji se primjenjuju na kopnu. Donjom se hidrauličkom spojnicom međusobno spajaju bušotinska glava i sklop preventera, a gornjom se taj sklop spaja sa sustavom cijevi uronjene stojke. Sklop preventera poluuronjene platforme iste je konstrukcije kao i onaj što se upotrebljava za bušenje na kopnu. Sastav preventera ovisi o tipu platforme, dubini vode, načinu izradbe bušotine, njenoj konstrukciji, tipu bušotinske glave i nekim drugim elementima. Odabrani sklop preventera mora omogućiti zatvaranje

prstenastog prostora oko bušačih alatki uz cirkulaciju isplake, osigurati kontrolu izbacivanja slojnog fluida za duže razdoblje, nositi bušaće alatke nakon što se bušotina zatvori a platforma

odmakne od lokacije, omogućiti povratak platforme na lokaciju i uspostavljanje cirkulacije isplake i dr. Takav se sklop preventera sastoji od anularnog preventera, gornje hidrauličke spojnice, preventera s odreznim čeljustima, triju preventera s čeljustima za bušaće šipke i donje hidrauličke spojnice za spajanje s bušotinskom glavom (sl. 5).



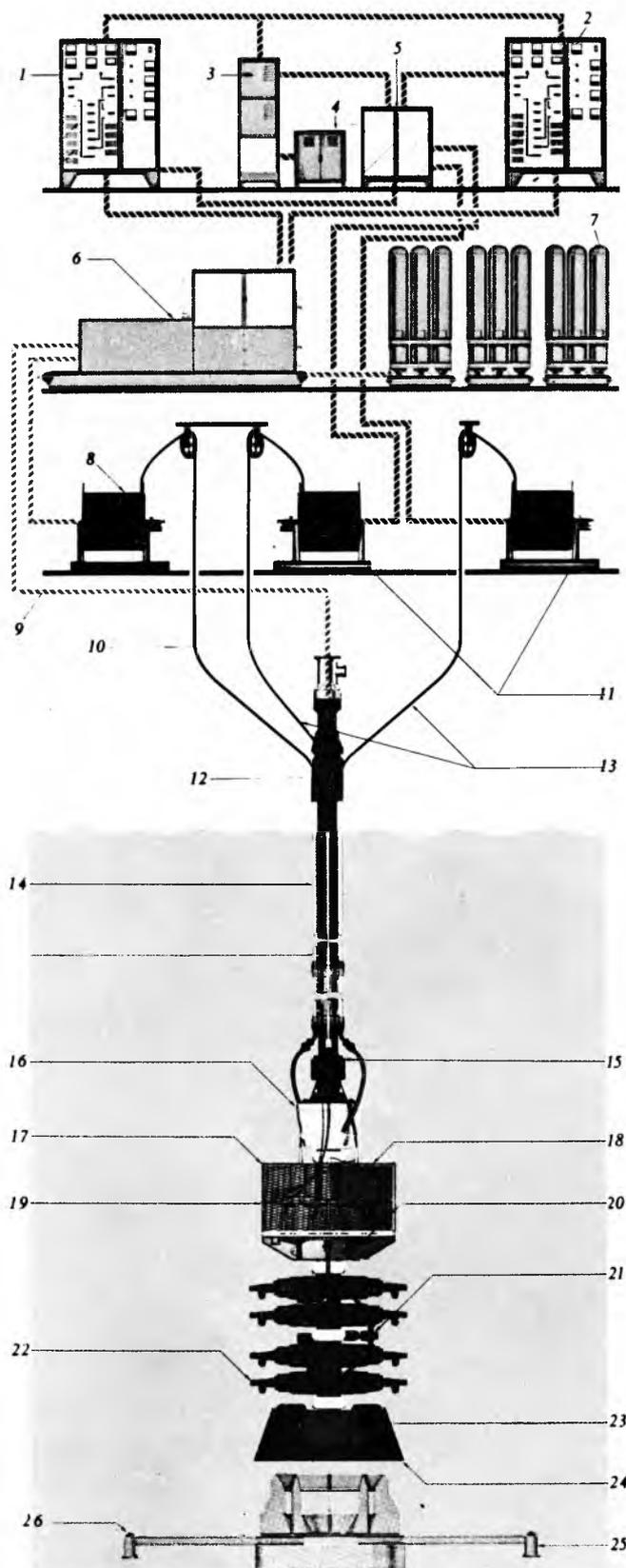
Sl. 7. Bušotinska glava proizvođača bušotine zaštićena tlačnom komorom



Sl. 8. Oprema ušća bušotine nakon ugradnje konduktorske kolone zaštitnih cijevi. 1 konduktorska kolona (promjer 762 mm), 2 hidraulička spojnica (promjer 762 mm), 3 donji dio sklopa niza cijevi uronjene stojke

Za kontrolu i upravljanje sklopom preventera upotrebljavaju se dva sustava koji se pokreću hidraulički ili elektrohidraulički. Oba sustava rade tako da se ulje pod tlakom protiskuje prema ventilima za usmjeravanje i regulaciju njegova toka. Multipleksni elektrohidraulički sustav (sl. 9) suvremenije je konstrukcije i sve se češće upotrebljava.

Sklop sustava uronjene stojke (sl. 5) povezuje ušće bušotine i preventerski sklop s platformom. Taj se sklop sastoji od podesive spojnice, niza cijevi uronjene stojke, teleskopske spojnice i divertera. Upotrebljava se pri podmorskom bušenju, proizvodnji nafte i plina iz podmorja te pri oceanskom rudarenju. Pri izradbi istražnih i razradnih bušotina sklop sustava uronjene stojke omogućuje spužtanje i vadenje bušačih alatki, ugradnju i cementaciju kolona zaštitnih cijevi, potpuni optok isplake uz njen povrat na platformu te otpajanje i pripajanje sklopa preventera pri bušenju ili pri nekontroliranoj erupciji nafte i plina, kad je potrebno platformu hitno otegliti od lokacije. Podesivom spojnicom



Sl. 9. Multipleksni elektrohidraulički sustav za kontrolu i regulaciju sklopa preventera. 1 kontrolna ploča bušenja, 2 glavna kontrolna ploča, 3 uređaj za kontinuirani dovod energije, 4 akumulatorska baterija, 5 vezna jedinica, 6 pumpe za hidraulički pogon s kontrolnom pločom, 7 tlačne posude s komprimiranim zrakom, 8 bubanj cijevi hidrauličkog pogona, 9 glavni hidraulički dovod, 10 dovod stlačene kapljevine, 11 bušnjevi s električnim kabelima, 12 teleskopska spojnica, 13 električni kabeli, 14 vod za prigušivanje i ispuhivanje, 15 fleksibilna spojnica, 16 prstenasti preventer, 17 razvodnik kontrolnog sustava, 18 gornja hidraulička spojnica, 19 zakretni prsten, 20 prstenasti preventer, 21 podvodni ventil, 22 preventeri, 23 donja hidraulička spojnica, 24 vodilica, 25 bazna ploča, 26 akustični transponder

spaja se sklop uronjene stojke sa sklopom preventera. Osim toga, ta spojnica omogućuje sklopu uronjene stojke otklon od vertikale i do 10° te pri tom ublažuje naprezanje na savijanje zbog uzdužnih pomaka platforme ili broda za bušenje.

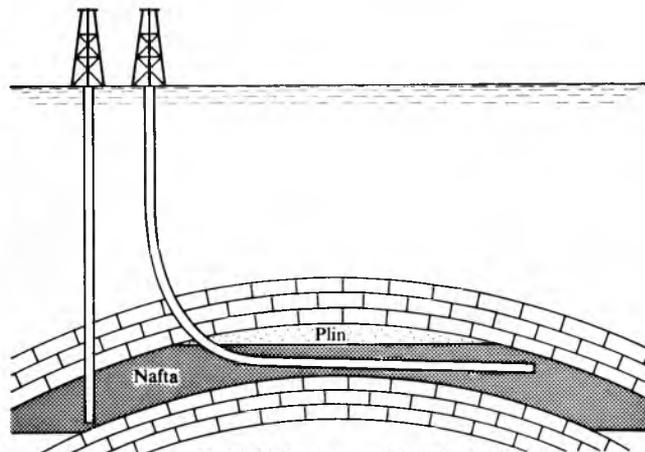
Cijevi uronjene stojke izrađene su od visokokvalitetnog čelika dovoljne čvrstoće da podnese sve vrste naprezanja zbog djelovanja valova, vjetrova i morskih struja. Međusobno se spajaju navojnim spojem, dok su im krajevi opremljeni laganim nosačima u koje se ugrađuju cijevi manjeg promjera koje služe za ispuhivanje i gušenje bušotine. Na velikim morskim dubinama upotrebljavaju se cijevi uronjene stojke opremljene laganim čeličnim kesonima, što im povećava uzgon, a smanjuje težinu, odnosno opterećenje na podesivu spojnicu.

Teleskopska se spojnica navrće na gornju zadnju cijev uronjene stojke i služi za ublaživanje vertikalnih pomaka platforme. Opremljena je prstenom u koji se učvršćuje užad zateznog uređaja kojim se održava nateg sklopa uronjene stojke i nosač spojeva vodova za gušenje i ispuhivanje bušotine.

Diverter se spaja s gornjim krajem teleskopske spojnice i nalazi se neposredno ispod bušačkog stola. Služi za usmjeravanje toka plina prema baklji za spaljivanje. To je, prije svega, plin koji je akumuliran u sedimentima pod relativno niskim slojnim tlakom.

PLATFORME ZA PODMORSKO BUŠENJE

Najpoznatija klasifikacijska društva kao što su ABS, Lloyd's register of shipping i dr., koja prate i nadziru projektiranje i gradnju svih tipova platformi, svrstavaju sve platforme u dva osnovna tipa: stalne ili nepokretne i pokretne platforme. Stalne ili nepokretne platforme rabe se za razradu otkrivenog podmorskog ležišta i za proizvodnju nafte i plina, dok se pokretne upotrebljavaju ne samo za istraživanje već i za razradu ležišta i proizvodnju nafte i plina osobito u velikim dubinama. Podmorsko ležište razrađuje se sa stalne platforme ili se za tu svrhu upotrebljavaju pokretne samopodizne i poluuronjene platforme. Izrađuje se određeni broj koso usmjerenih bušotina pod različitim kutovima otklona od vertikale, i to radi djelotvornijeg i ravnomjernijeg iskorištavanja svih dijelova ležišta uz racionalan broj stalnih proizvodnih platformi. U posljednje doba ponekad se donji dio kanala bušotine izrađuje vodoravno (otklon od vertikale 90°). Prva koso usmjerena podmorska bušotina s donjim vodoravnim dijelom kanala izrađena je 1982. na naftnom polju Rospo Mare u talijanskom dijelu Jadrana (sl. 10). Zbog složenosti tehnološkog procesa upotrebljavaju se posebno konstruirani brodovi i plovni objekti. Rabe se različiti tipovi brodova za maringa seizmička i gravimetrijska mjerenja, ispitivanja morskog dna i pozicioniranje platformi, opskrbljivanje platformi opremom, rezervnim dijelovima, alatima i reprodukcij-skim materijalima, prijevoz osoblja, protupožarnu zaštitu, sanaciju onečišćenog okoliša i za ukapljivanje plina.



Sl. 10. Vodoravno usmjerena bušotina

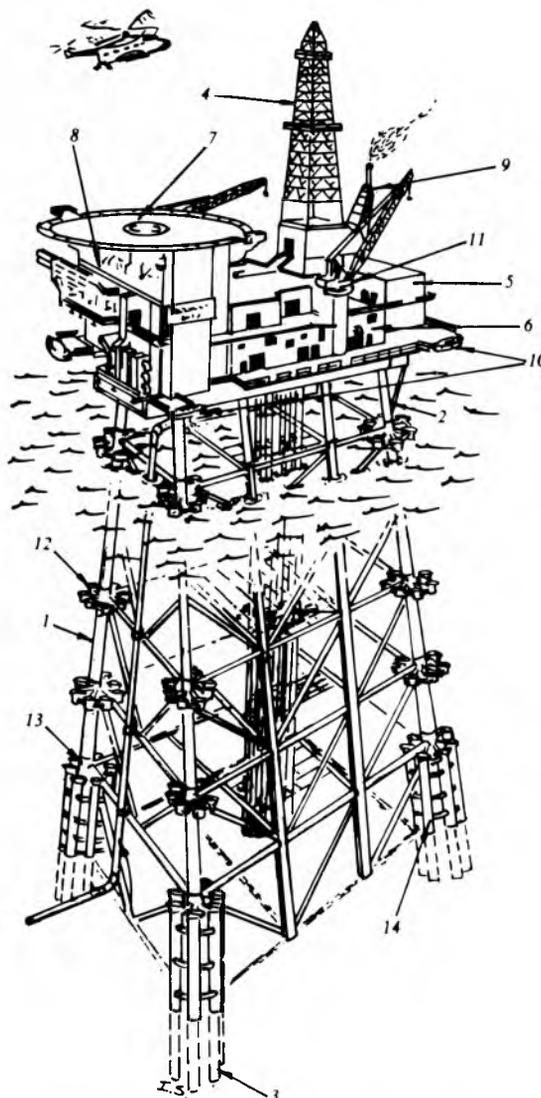
Stalne čelične i betonske platforme

To su nepokretne bušace i proizvodne platforme koje se na poziciju za razradu naftnog ili plinskog ležišta dopremaju u dijelovima i sklopovima, pa se tu sastavljaju i ugrađuju u cjelovitu konstrukciju. Mogu se s obzirom na konstruktivne i tehničke karakteristike te operativne mogućnosti svrstati u čelične platforme s postoljem rešetkaste konstrukcije i s postoljem u obliku tornja, betonske i plutajuće s nogama od nategnute užadi koja je teškim betonskim blokovima učvršćena o morsko dno, što platformu stalno održava na istoj poziciji. Danas ima više od 10000 različitih vrsta nepokretnih stalnih platformi razmještenih u deltama, jezerima, zaljevima, morima i oceanima.

Stalne čelične platforme mogu biti *samostalne*, s kojih se obavlja cjelokupan tehnološki proces, i *pojedinačne*, s kojih se obavlja samo dio tehnološkog procesa. U dubokim vodama upotrebljavaju se samostalne platforme, a u plitkim vodama dijelovi tehnološkog procesa izvode se s odvojenih pojedinačnih platformi. Stalne čelične platforme mogu biti *bušotinske*, *tenderske*, *samostalne s rešetkastim postoljem*, *samostalne s postoljem u obliku tornja*, *procesne*, *stambene*, *autonomne* i *baklje*. U područjima s dubinama većim od 100 m razvilo se nekoliko tipova *autonomnih platformi* opremljenih svim potrebnim postrojenjima i uređajima za bušenje i proizvodnju, a primjenjuju se i sljedeći tipovi: *stalne betonsko-gravitacijske platforme*, *plutajuće platforme sa zategnutom užadi učvršćenom o morsko dno* (Tension Leg Platform – TLP) i *fleksibilno pričvršćene platforme*. U tabl. 2 nalaze se osnovni podaci za te platforme.

Bušotinske platforme rabe se u plitkim vodama i služe za zaštitu uvodne kolone zaštitnih cijevi ili niza cijevi uronjene stojke za jednu do četiri proizvodne bušotine. Mogu biti u obliku cijevi velikog promjera ili pontona (kesona) i u obliku postolja otvorene čelične konstrukcije (sl. 11). U područjima s dubinom vode većom od 31 m upotrebljavaju se postolja složenih konstrukcija sa 4 noge. Kad se izradi 4...9 bušotina, bušace postrojenje se demontira i ukloni, a ušća se bušotina opremaju proizvodnim uređajima, sigurnosnim ventilima te razvodnim sustavom za sabiranje i otpremanje nafte ili plina cjevovodom do odvojene procesne platforme.

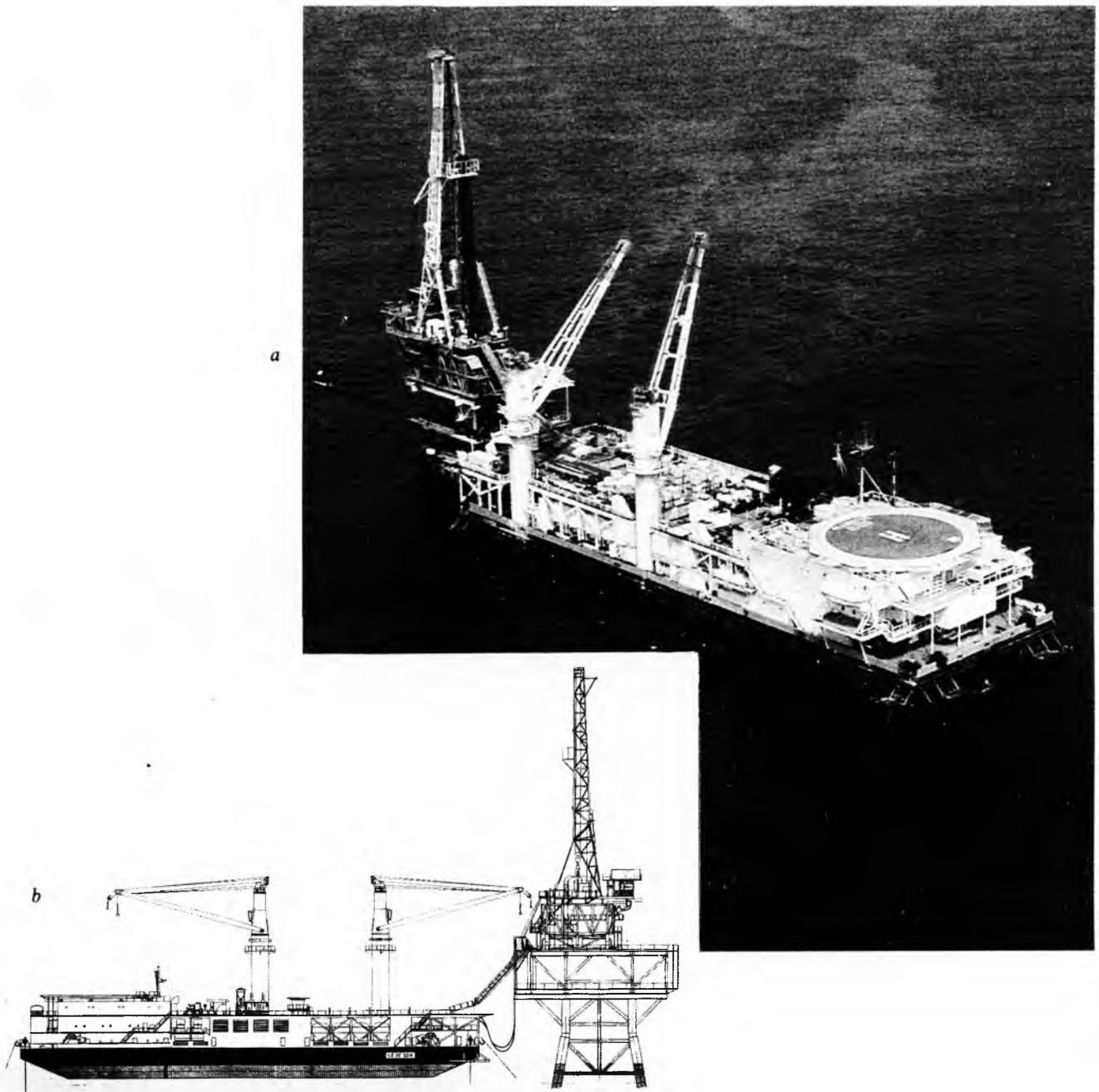
Tenderske platforme kombinacija su stalnih proizvodnih platformi i brodova ili barži. Na platformi je montirano bušace postrojenje, spremnici za isplaku i industrijsku vodu, pogonsko postrojenje i isplačne sisaljke. Ostala oprema i stambeni trakt smješteni su na brodu ili barži koji su mostom povezani s platformom (sl. 12).



Sl. 11. Samostalna čelična platforma s rešetkastim postoljem. 1 rešetkasto postolje, 2 poduporna konstrukcija nadgrada, 3 piloti, 4 toranj bušaceg postrojenja, 5 modul bušaceg postrojenja, 6 proizvodno postrojenje, 7 helikopterska paluba, 8 stambeni trakt, 9 baklja, 10 oprema za kompresiju, 11 dizalica, 12 vodilice pilota, 13 prošireni dio nogu, 14 rukavci pilota

Tablica 2
KARAKTERISTIČNI TIPOVI PROIZVODNIH PLATFORMI

Platforma	Cognac	Bullwinkle	Statfjord B	Conoco	Lena
Tip platforme	Stalna čelična	Stalna čelična	Betonska gravitacijska	Plutajuća	Fleksibilna
Postolje	Rešetkasta čelična konstrukcija	Rešetkasta čelična konstrukcija	Betonska gravitacijska	Sa zategnutom užadi učvršćenom o dno	Toranj s prionama
Lokacija	Meksički zaljev (SAD)	Meksički zaljev (SAD)	Sjeverno more (Norveška)	Meksički zaljev (SAD)	Meksički zaljev (SAD)
Dubina mora, m	311	412	149	537	305
Visina platforme, m	385	492	–	–	–
Masa platforme, t	59000	78000	600000	–	43000
Broj koso usmjerenih bušotina	62	60	32	–	58
Maksimalna visina vata u 100 godina, m	22	22	30	22	22
Maksimalni vodoravni pomak platforme, m	1,5...2	2	1	24	11,9
Dnevna proizvodnja, m ³	8000	8000	23000	8000	4000
Vlasnik	Shell Oil Co.	Shell Oil Co.	Mobil Oil	Conoco	Exxon



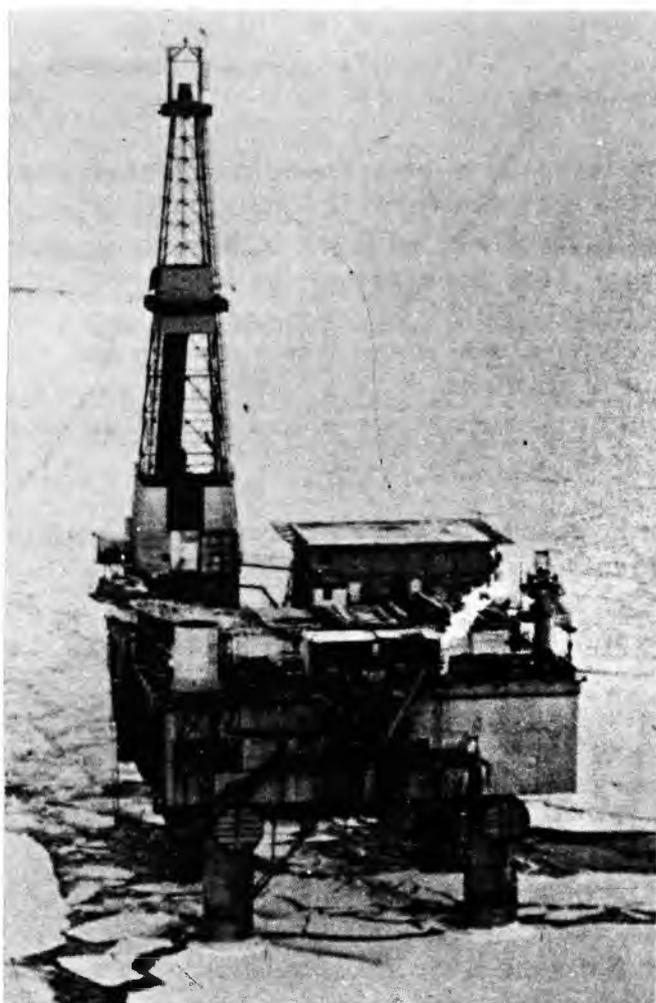
Sl. 12. Tenderska platforma s baržom (a) i brodom (b)

Samostalna stalna platforma stalna je nepokretna platforma s nadgrađem s nekoliko paluba i postoljem rešetkaste konstrukcije dovoljno velikih razmjera i čvrstoće da podnese težinu bušačkog postrojenja, pomoćne opreme i stambenog trakta. Platforma ima i dovoljno velik skladišni prostor za neprekidan rad za duže vremensko razdoblje. Postolje platforme može biti rešetkaste konstrukcije ili kao toranj. Zabijanjem pilota kroz noge postolja ono se učvršćuje o morsko dno, pa tako postolje i piloti čine cjelovitu konstrukciju.

Samostalna stalna platforma s postoljem u obliku tornja (sl. 13) ima postolje s relativno malo nogu velikog promjera i manje dijagonalnih podupora velikog promjera s obzirom na postolja rešetkaste konstrukcije. Postolje se tegli od brodogradilišta do pozicije bez uporabe barže. Postolje pluta uzgonom nogu velikog promjera. Takva se postolja upotrebljavaju samo u polarnom klimatskom pojasu, gdje su česte orkanske oluje i pojave ledenih santi.

Procesne proizvodne platforme ili platforme za obradu i utiskivanje u suštini su platforme opremljene za odvajanje sirove nafte, prirodnog plina i slojne vode iz proizvedene mješavine nafte, plina i vode, te za njihovu obradu, odnosno pripremu za transport ili za potrošnju i za utiskivanje u sloj. Ako se prirodni plin plinovodom ne odvodi na kopno, spaljuje se u bakljama koje su sastavni dio palubne supstrukture. Radi sigurnosti posade i platforme svaka platforma mora biti opremljena sustavom za detekciju plina i sustavom protupožarne zaštite. U proizvodnu i procesnu opremu uključena je oprema za izdvajanje prirodnog plina, vode i pijeska iz sirove nafte. Ponekad se izdvojeni plin rabi za pogon plinskih turbina koje pokreću generatore električne energije te za pogon pumpa i kompresora. Umjesto spaljivanja plin se, radi održavanja slojne energije, pod određenim tlakom ponovno utiskuje u ležište.

Stambene platforme služe za boravak radnika. U dubokim vodama, gdje se upotrebljavaju samostalne platforme, stam-

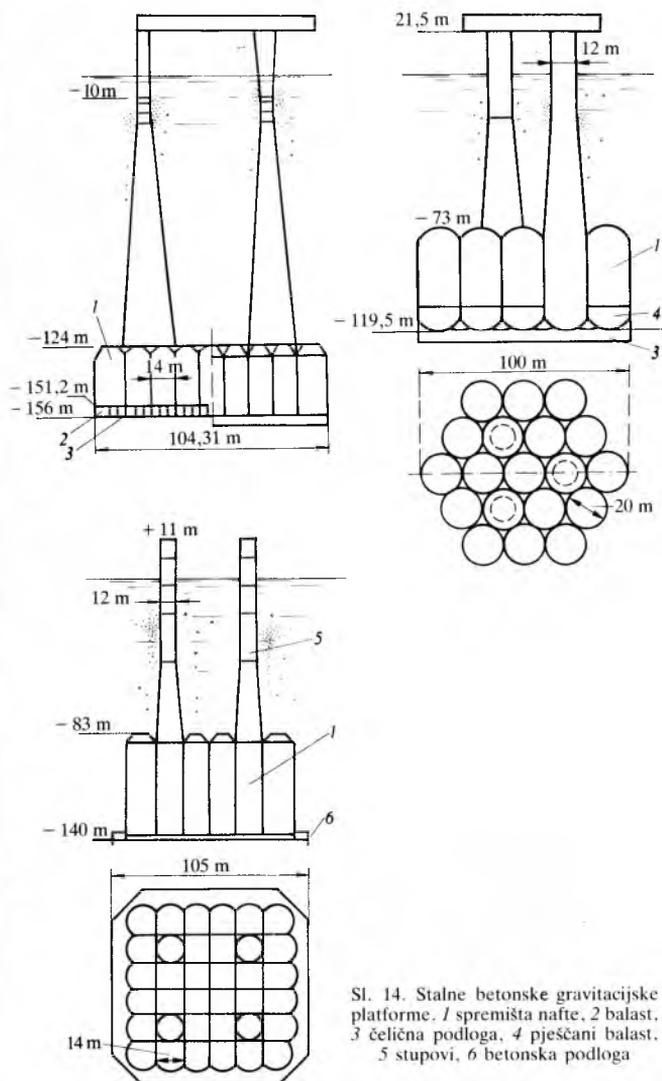


Sl. 13. Stalna čelična platforma s postoljem u obliku tornja

beni trakt smješten je na njima. U plitkim vodama, zbog sigurnosti posade, stambeni trakt je smješten na posebnoj platformi.

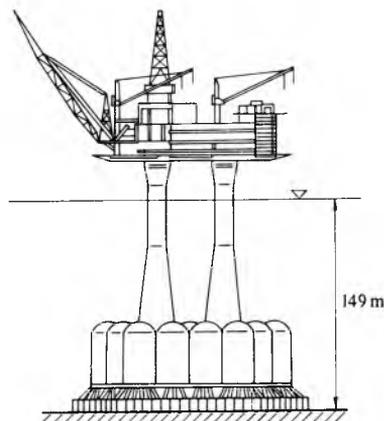
Stalne betonske gravitacijske platforme (sl. 14) upotrebljavaju se za bušenje, proizvodnju i uskladištenje proizvedene nafte. Građene su od prednapregnutog betona, a ponekad i u kombinaciji sa sekcijama od čelika. Zbog velike vlastite težine takve platforme nalježu na morsko dno, pa su dovoljno stabilne da se odupru djelovanju sila vjeta, valova i morskih struja. Karakteristična konstrukcija većine platformi tog tipa sastoji se od baze sastavljene od betonskih kesona (čelija), okomitih betonskih stupova i čeličnog palubnog nadgrađa. Kesoni služe za uskladištenje proizvedene nafte i morske vode potrebne za balastiranje platforme. Okomiti šuplji konični stupovi nose i podupiru čelično palubno nadgrađe. Unutar šupljih stupova ugrađene su cijevi uronjene stojke, koje su zidovima stupova potpuno zaštićene, što omogućuje posadi rad u suhim atmosferskim uvjetima. Čelično je palubno nadgrađe izgrađeno s otvorima za cijevi uronjenih stojki, a opremljeno je postrojenjima i opremom za bušenje i proizvodnju nafte te stambenim traktom za smještaj posade.

Druge platforme tog tipa izgrađene su od betonskih zidova u obliku okomitih koncentričnih krugova ili u obliku sferoidnih školjki koje su spojene radijalnim zidovima u višestruko složenu konstrukciju velikog promjera. Betonske gravitacijske platforme razvile su se za iskorištavanje ležišta nafte u Sjevernom moru. Prva betonska platforma bila je postavljena u srpnju 1973, a već potkraj 1979. bilo je tu sagrađeno i postavljeno 14 betonskih platformi. I u vodama Brazila postavljene su 3 betonske platforme. Ukupno je do sada postavljeno 17 takvih platformi.



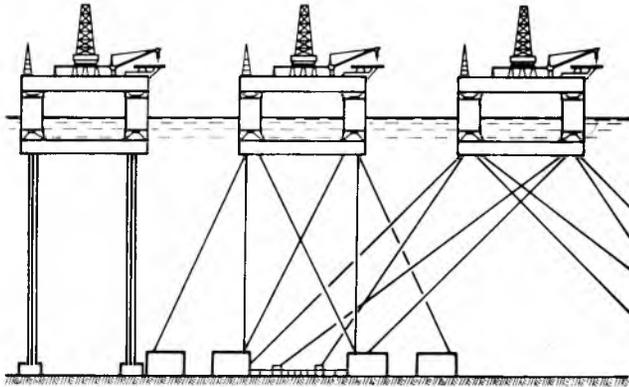
Sl. 14. Stalne betonske gravitacijske platforme. 1 spremišta nafte, 2 balast, 3 čelična podloga, 4 pješčani balast, 5 stupovi, 6 betonska podloga

Stalne betonske gravitacijske platforme imaju mnoge prednosti s obzirom na čelične s rešetkastom konstrukcijom postolja; najvažnije su veća sigurnost posade, postrojenja i opreme, minimalno vrijeme i troškovi postavljanja na poziciju, povećana sigurnost tegljenja, niski troškovi održavanja uronjenog dijela zbog svojstava konstrukcijskog materijala, velika mogućnost prilagodavanja kapaciteta spremnika nafte, veća zaštita od korozije i mnogo bolja zaštita od mehaničkih oštećenja niza cijevi uronjene stojke i dr. Statfjord B (sl. 15) do sada je (proljeće 1986.) najveća i najteža platforma tog tipa, a izgrađena je u Norveškoj i postavljena u Sjevernom

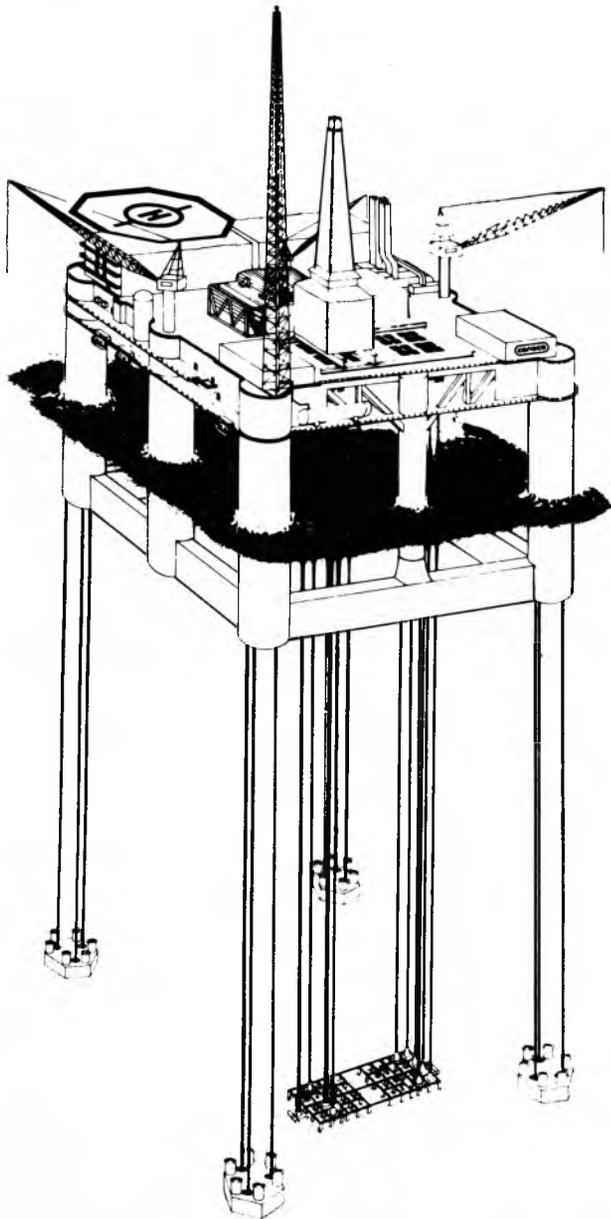


Sl. 15. Najveća i najteža betonska gravitacijska platforma Statfjord B, dubina mora 149 m, istisnina pri tegljenju 899000 t

moru na lokaciji udaljenoj 426 km od obale i na dubini mora od 149 m. Postolje je platforme izgrađeno od armiranog betona, a nadgrade od čelika. Ukupna istisnina platforme pri tegljenju iznosila je 899 000 t, što je do sada najteža struktura transportirana morem.

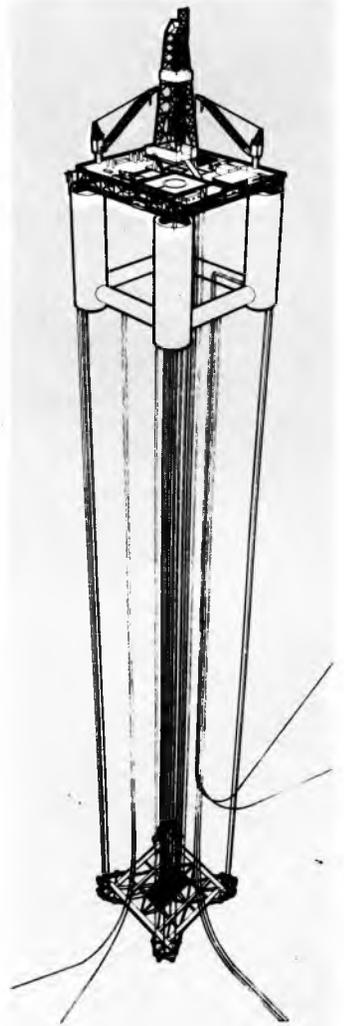


Sl. 16. Plutajuće platforme s nogama od nategnute užadi koja je betonskim blokovima učvršćena o morsko dno



Sl. 17. Plutajuća platforma (Hutton TLP) s nogama od nategnute užadi koja je utezima pričvršćena o morsko dno

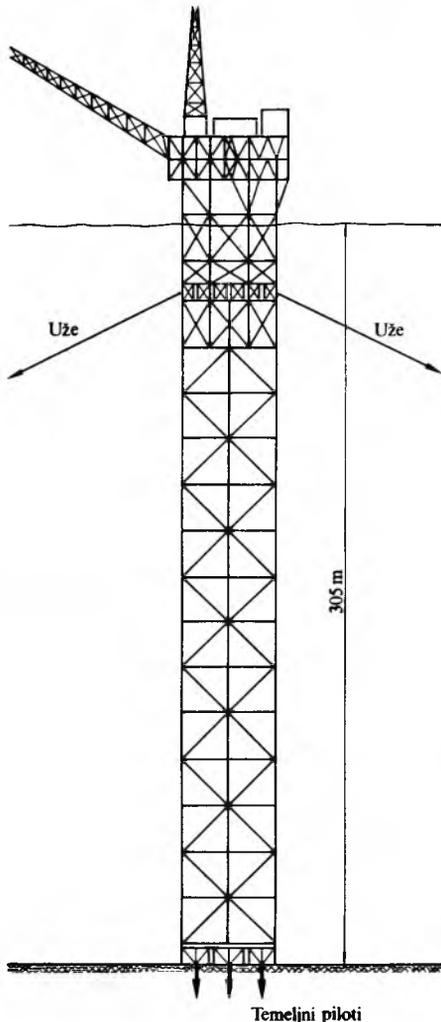
Platforma s nogama od nategnute užadi (Tension Leg Platform, TLP) (sl. 16) lagana je plutajuća čelična ili betonska platforma, užadima ili sidrenim kesonima usidrena o morsko dno. Sidrena užad održava platformu u stabilnom stanju. Glavne su prednosti tog tipa: operacije se mogu praktično izvoditi i u neograničenim dubinama vode, lagana konstrukcija, pokretljivost i relativna neosjetljivost na loše vremenske prilike. Iako je taj tip platforme (Hutton-TLP) (sl. 17) još u eksperimentalnoj fazi, platforma je postavljena u moru dubokom 148 m nedaleko od Šetlandskih otoka i s nje se uspješno buši i proizvodi nafta. Pritom su ušća bušotina izvedena iznad razine mora i smještena u otvor za bušenje u trupu platforme. To je omogućeno dovoljno snažnim zatezanjem užadi, kojom je platforma učvršćena o morsko dno, što i u olujnim uvjetima znatno ograničuje okomita gibanja platforme i svodi ih samo na visinu od 1...2 m. Početkom 1987. tvrtka Conoco započela je gradnju platforme tog tipa za proizvodnju nafte s morske dubine od 537 m (sl. 18). Kada se platforma 1989. uključi u proizvodnju, to će tada biti najveća morska dubina s koje će se proizvoditi nafta.



Sl. 18. Plutajuća platforma Conoco s nategnutim užadima; dubina mora 537 m

Fleksibilna platforma rešetkasta je konstrukcija u obliku vitkog tornja kvadratnog presjeka učvršćenog zateznom užadi s utezima na krajevima koji su pri mirnom moru položeni na morsko dno. Prva i do sada jedina takva platforma, *Lena* (sl. 19), postavljena je u Meksičkom zaljevu na morskoj dubini od 305 m, 120 km od obale. Toranj pridržava 20 čeličnih užeta. Na svakom užetu, dugom ~1000 m, ovješeno je uteg od ~180 t na udaljenosti ~550 m od tornja. Pri mirnom moru utezi leže na morskom dnu, održavajući užeta napetima, a u lošim vremenskim uvjetima utezi se postupno podižu, što omogućuje naginjanje tornja. Maksimalni otklon vrha tornja

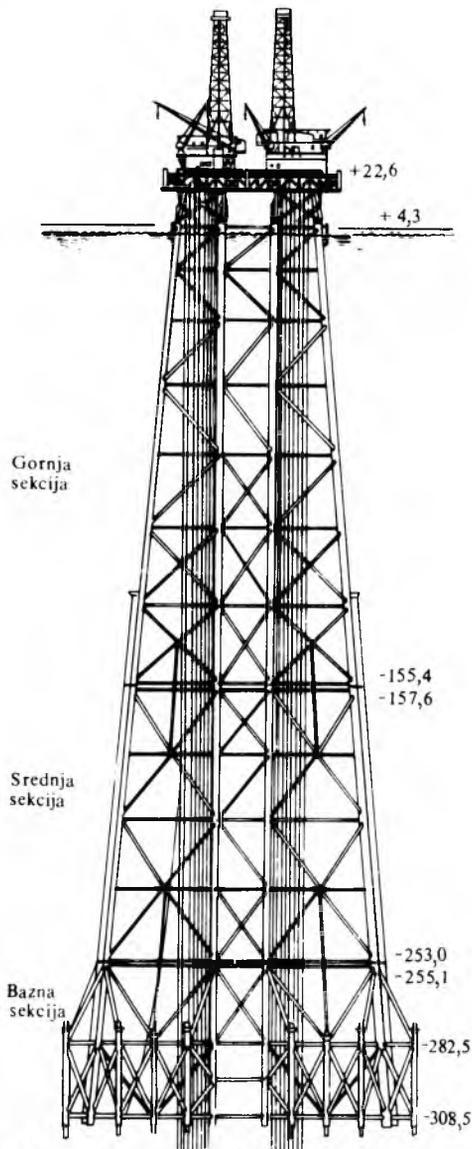
od vertikale iznosi 11,9 m uz kut otklona od 2°. Ukupna masa tornja i užadi iznosi ~43000 t. Nadgrade platforme sastoji se od tri palube s postrojenjima, uređajima i opremom. Taj tip platforme s obzirom na stalne s rešetkastim postoljem mnogo je izdržljiviji, jer zbog velike elastičnosti mnogo bolje podnosi djelovanje sila valova, vjetrova i morskih struja.



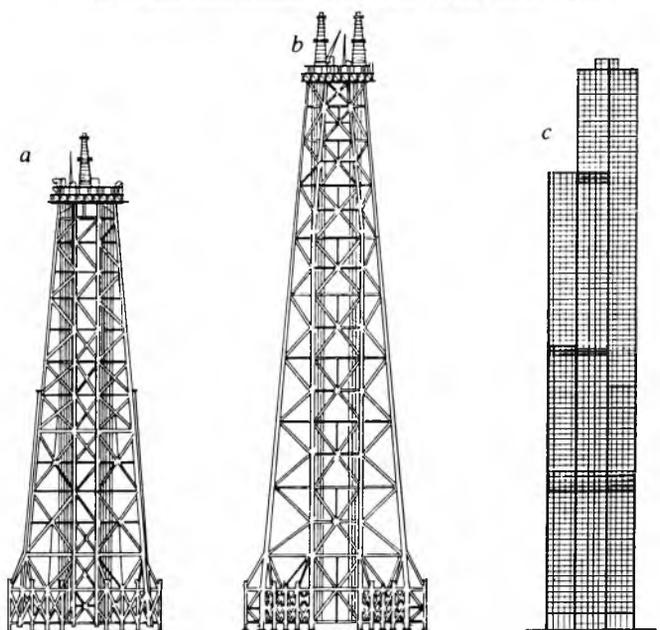
Sl. 19. Fleksibilna platforma Lena; masa s užetima 43000 t

Cognac, najviša stalna autonomna platforma, bušača je i proizvodna platforma opremljena dvama bušačim postrojenjima za izradu 62 bušotine te kompletnom ostalom opremom (sl. 20). Platforma je postavljena u Meksičkom zaljevu blizu obale Louisiane u moru dubokom 311 m. Rešetkasto postolje sastoji se od 8 glavnih nogu ugrađenih uzduž cijele visine postolja i dviju okvirnih nogu. Dimenzije postolja iznose 26×30 m na razini 4,3 m iznad površine mora, dok na morskom dnu baza postolja ima dimenzije 117×122 m. Osnovica je postolja učvršćena o morsko dno sa 24 rubna pilota promjera 2,4 m, zabijena 137 m duboko u mekano glineno dno. Bazna, srednja i gornja sekcija visoke su 54, 98 odnosno 162 m, a teške 14000, 8500 odnosno 11000 t. Ukupna visina platforme, uključujući i rešetkasto postolje i kompletno nadgrade zajedno s bušačim postrojenjima i ostalom potrebnom opremom, iznosi ~385 m, a masa joj iznosi 59000 t. Platformu je izgradio i postavio koncern Shell Oil Co. 1978. u izuzetno kratkom vremenskom razdoblju od 14 mjeseci.

U proljeće 1987. ista je kompanija počela gradnju još više i teže stalne autonomne bušače i proizvodne platforme *Bullwinkle*. Platforma će također biti postavljena u Meksičkom zaljevu na prosječnoj dubini od ~412 m. To je ujedno i najveća morska dubina s koje će se uskoro ekonomično



Sl. 20. Najviša stalna autonomna platforma Cognac; masa 59000 t

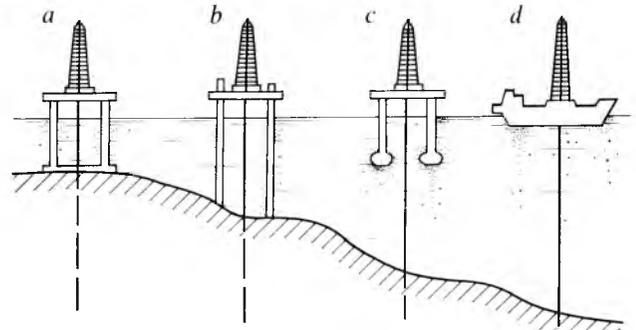


Sl. 21. Usporedba visokih platforma s najvišom građevinom na svijetu. a platforma Cognac, visina 385 m, b platforma Bullwinkle, visina 492 m, c neboder Sears Tower u Chicagu, visina 443 m

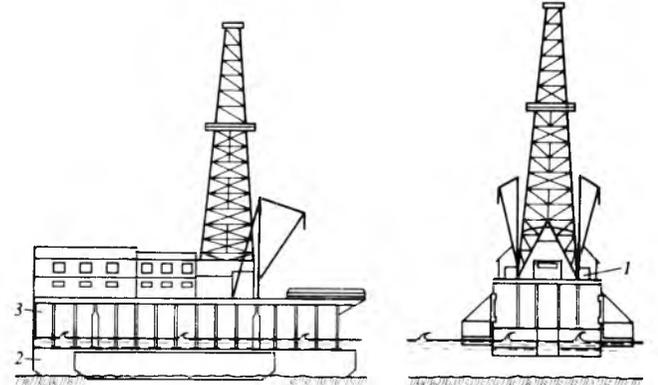
proizvoditi nafta i plin. Platforma se sastoji od postolja rešetkaste konstrukcije izrađenog u jednom komadu, pa će se kao cjelina, posebno konstruiranom baržom, otpremiti na mjesto postavljanja. Samo postolja platforme bit će visoko ~416 m i teško ~50000 t. Nadgrađe platforme opremit će se sa 2 bušaća postrojenja za izradu 60 koso usmjerenih bušotina te s opremom i uređajima za sabiranje, čišćenje i otpremanje nafte i plina do potrošača. Ukupna visina platforme, odnosno postolja, nadgrađa i bušaćih postrojenja, iznositi će ~492 m, što je za 107 m više od do sad najviše platforme Cognac, a 49 m više od najviše zgrade na svijetu (neboder Sears Tower u Chicagu) (sl. 21). Masa potpuno opremljene platforme iznositi će 78000 t. Platforma će se potkraj 1988. postaviti na poziciju, a polovicom 1989. započet će pokusna proizvodnja nafte i plina.

Pokretne samostalne platforme

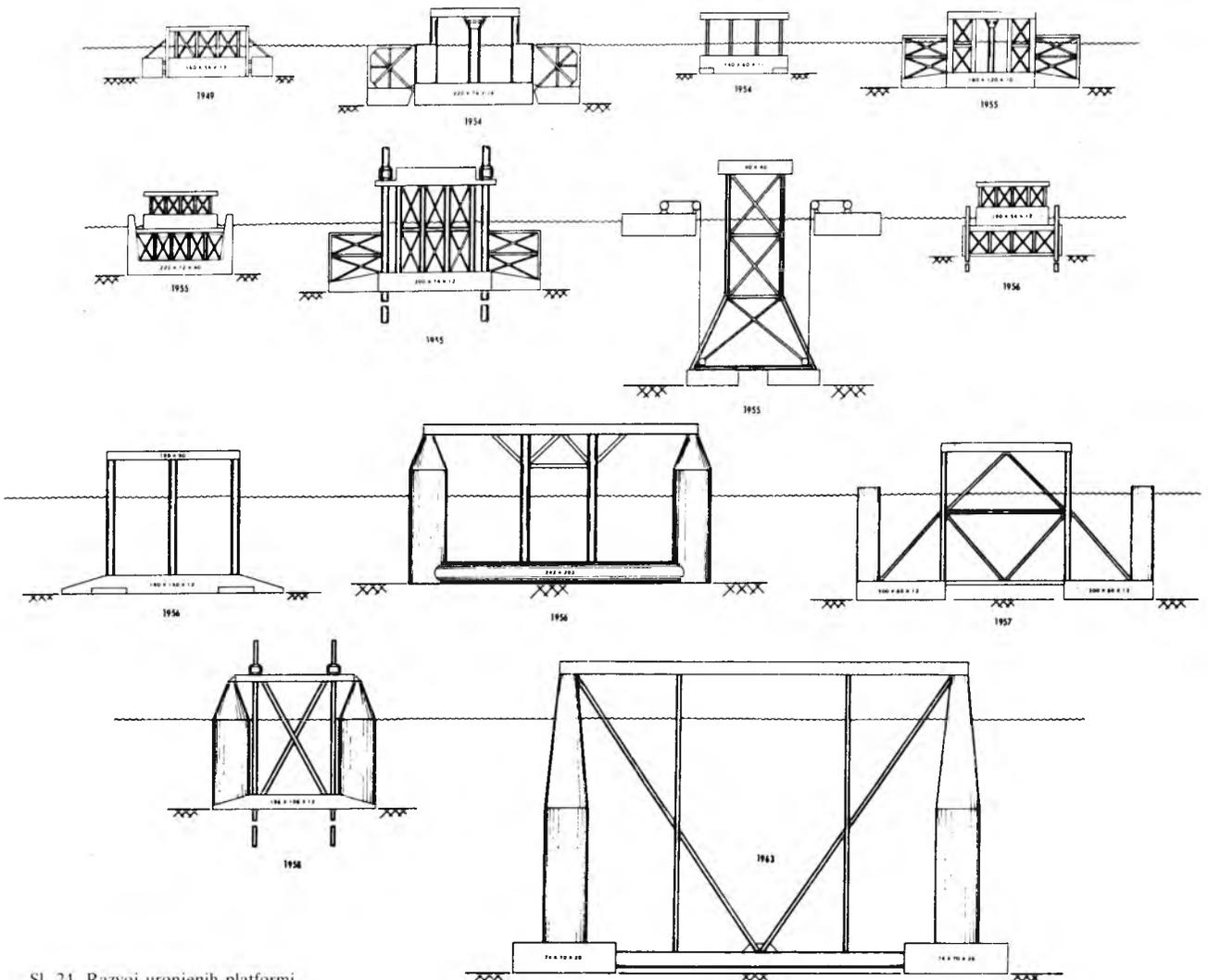
To su plovni samostalni objekti opremljeni vlastitim pogonom ili bez njega, velike čvrstoće i stabilnosti. Imaju protupožarnu i protueksplozijsku zaštitu od nekontroliranog izbacivanja mješavine nafte, plina i vode iz sloja te zaštitu od onečišćenja okoliša. Opremljene su i stambenim traktom. Pojedini tipovi imaju uređaje za podizanje i spuštanje nogu ili pontona. Platforma se premješta vlastitom propulzijom ili tegljenjem na novu poziciju. Prema konstruktivnim karakteristikama, operativnim mogućnostima, namjeni, tehnološkom procesu izradbe bušotina, položaju i opremanju ušća bušotine i načinu sidrenja, odnosno temeljenja na poziciji za bušenje, razlikuju se 4 osnovna tipa: *uronjena platforma*, *samopodizna platforma*, *poluuronjena platforma* i *brod za bušenje* (sl. 22).



Sl. 22. Pokretne samostalne platforme. a uronjena platforma, b samopodizna platforma, c poluuronjena platforma, d brod za bušenje



Sl. 23. Uronjena platforma. 1 trup, 2 vodoravni pontoni, 3 cilindrični stupovi

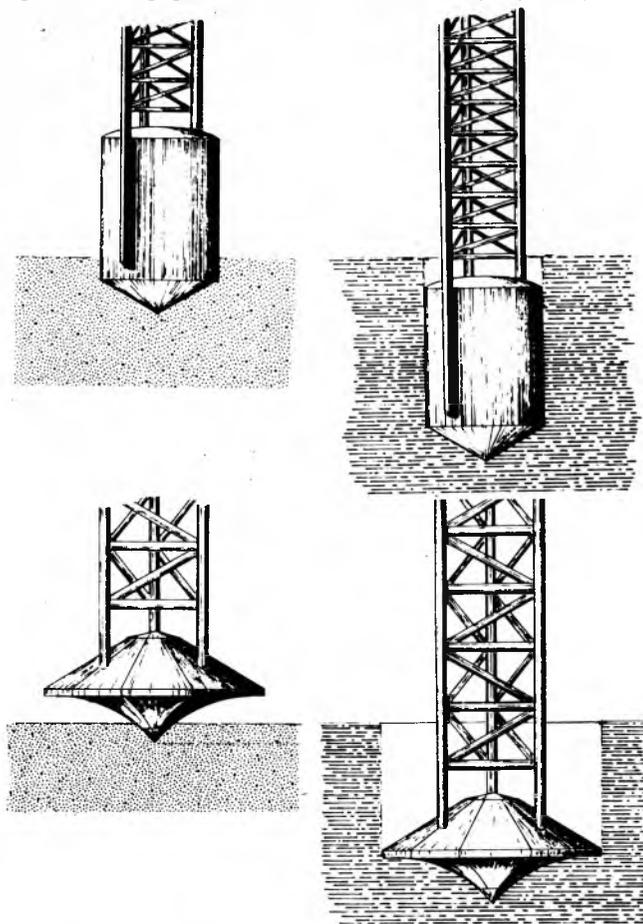


Sl. 24. Razvoj uronjenih platformi

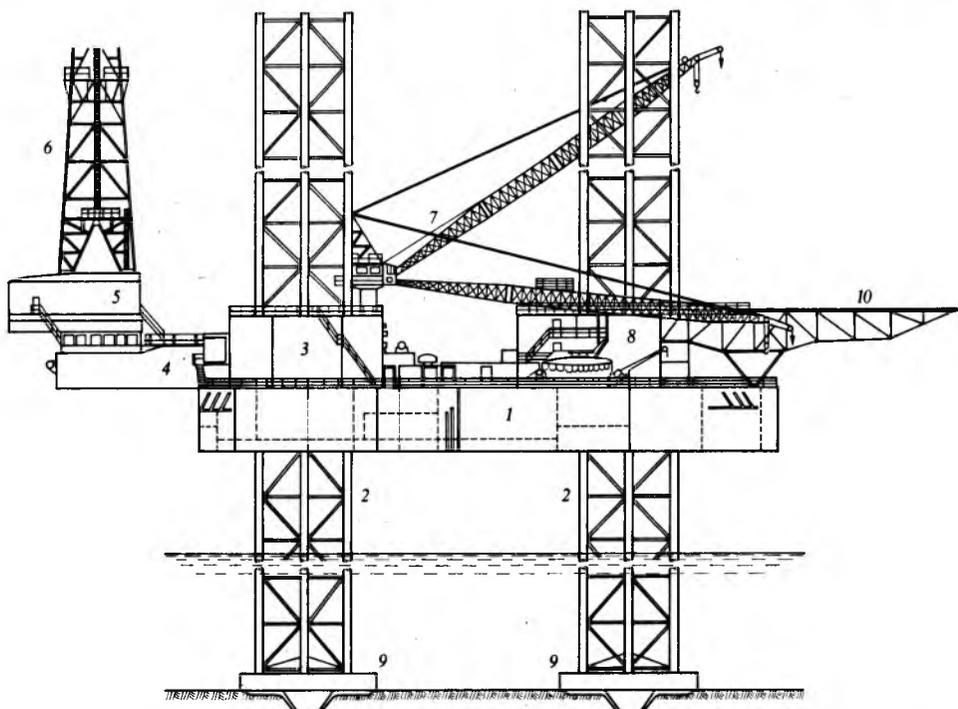
Izbor tipa platforme ovisi o dubini mora, meteorološkim i maritimnim karakteristikama područja, morfološkom sastavu i geomehaničkim svojstvima morskog dna, udaljenosti od opskrbe baze i dr. Za istražno i razradno bušenje na morskoj dubini do 50 m upotrebljavaju se uronjena i samopodizna platforma, dok se za dubine mora od 50...150 m rabe samopodizne i poluuronjene platforme te brod za bušenje. Za dubine mora veće od 150 m u načelu se istražno i razradno bušenje izvodi s poluuronjenih platformi i brodova za bušenje. Do kraja 1983. bili su sagrađeni ili su u gradnji 821 platforma i brod za bušenje. Od toga je 498 samopodiznih platformi, 41 uronjena platforma, 172 poluuronjene platforme i 110 brodova za bušenje.

Uronjena platforma pokretna je bušaća platforma za izradu istražnih bušotina u plitkim riječnim deltam i morskim zaljevima (v. *Nafta*, TE 9, str. 210). Suvremena uronjena platforma sastoji se od trupa, donjega vodoravnog pontona i okomitih cilindričnih stupova koji povezuju trup s pontonom u cjelovitu konstrukciju (sl. 23). Na glavnoj palubi trupa, iznad otvora za bušenje, nalazi se bušaće postrojenje, oprema za bušenje i stambeni trakt za smještaj radnika. Vodoravni ponton služi za plutanje i balastiranje platforme te za njeno nalijeganje na riječno ili morsko dno. Prva pokretna uronjena platforma *Breton Rig 20* sagrađena je 1949. Od tada se broj uronjenih platformi stalno povećava uz razvoj njihovih konstrukcija (sl. 24). Pri premještanju uronjene platforme, platforma pluta na vodoravnom pontonu. Tegli se na uobičajen način. Pri tegljenju platforma je vrlo stabilna, jer je ponton dovoljno širok i dugačak, pa ima velik moment inercije, veoma visok metacentar i veliku okomitu udaljenost od razine mora do glavne palube (v. *Brod*, TE 2, str. 173). Platforma se uronjava tako da se spremnici stražnjeg ili prednjeg kraja pontona crpkama za balastiranje pune vodom, pa taj kraj postupno uronjava. Spremnici se pune sve dok taj dio pontona ne nasjedne na riječno ili morsko dno. Zatim se pune vodom spremnici drugog dijela pontona. Stabilnost se održava uzgonom okomitih cilindričnih stupova. Tehnološki je proces izradbe bušotine identičan s onim na kopnu (v. *Bušenje na veliku dubinu*, TE 2, str. 552). Ušće bušotine i sklop preventera izgrađeni su iznad razine mora i smješteni su ispod bušaćeg stola, u otvoru za bušenje u trupu platforme (v. *Nafta*, TE 9, str. 211).

Samopodizna platforma pokretna je bušaća platforma namijenjena izradbi istražnih, a u posljednje doba i razradnih bušotina u sedimentima podmorja koja zaliježu pod morem dubokim i do 150 m (sl. 25). Sastoji se od tri ili više nogu opremljenih papučama različitih konstrukcija (sl. 26) i od



Sl. 26. Konstrukcije papuča nogu samopodizne platforme



Sl. 25. Samopodizna platforma Labin. 1 trup platforme, 2 noge, 3 kućište sustava za dizanje i spuštanje nogu ili pontona, 4 supstruktura bušaćeg postrojenja, 5 bušaće postrojenje, 6 toranj, 7 dizalica, 8 stambeni trakt, 9 papuča nogu, 10 helikopterska platforma

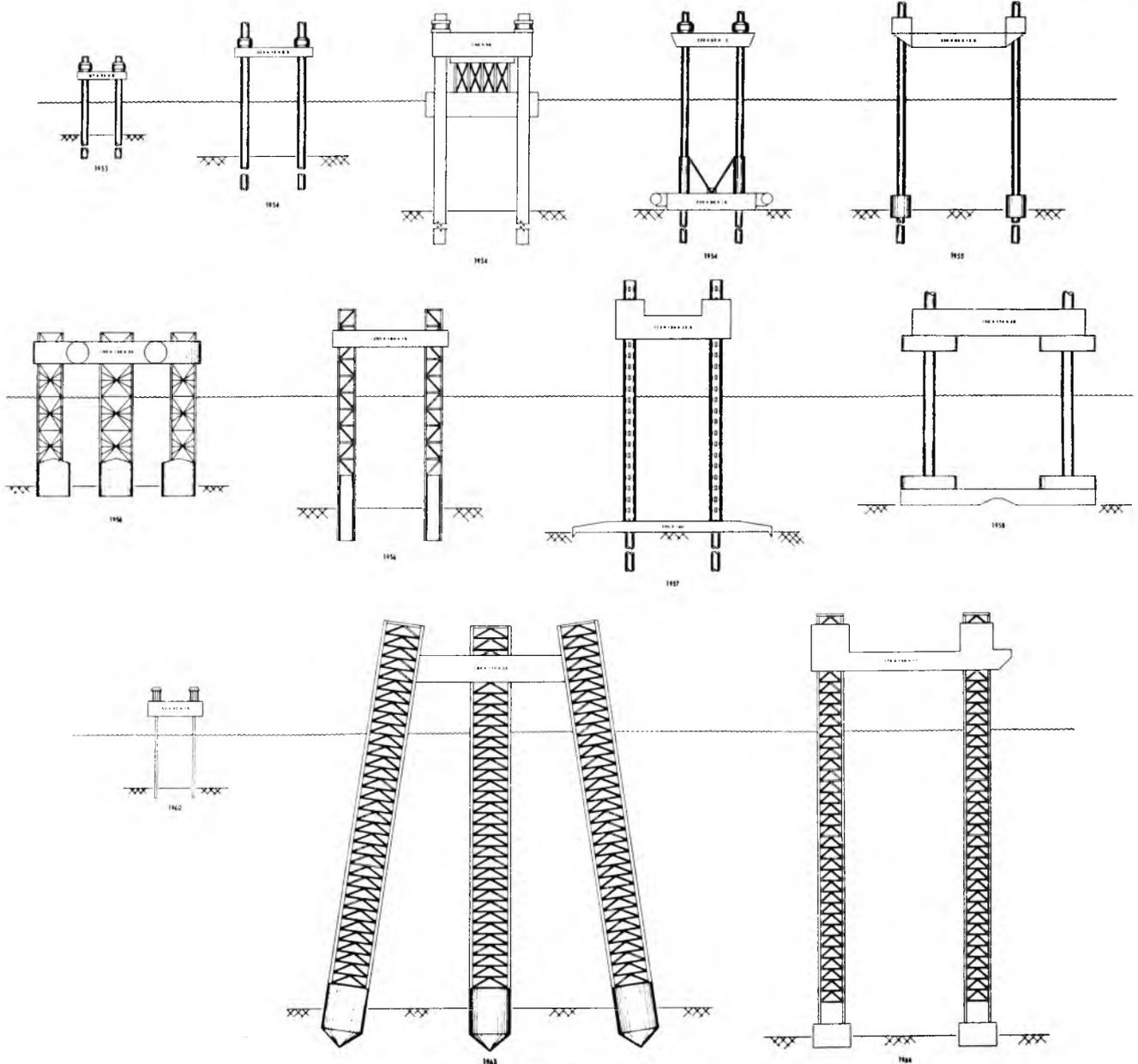
pontona u koji je, uz postrojenje, motore, opremu, uređaje, alate, stambeni trakt i dr., ugrađen i sustav za dizanje i spuštanje nogu i pontona. Pri premještanju platforme noge su podignute, pa platforma pluta na pontonu dovoljno velikog uzgona, odnosno dovoljno velike stabilnosti. To omogućuje njeno sigurno premještanje tegljenjem pomoću tegljača, prijevozom transporterima platformi ili vlastitim pogonom. Na lokaciji za bušenje noge se spuštaju i prodiru u morsko dno, a ponton se sustavom za dizanje i spuštanje podiže iznad razine mora u radni položaj. Razmak između dna pontona i površine mora treba biti veći od najviših očekivanih valova uvećanih za maksimalnu visinu plime u tom području (v. *Nafta*, TE 9, str. 211).

Izgradnjom i uključivanjem u rad prve samopodizne, nogama poduprte platforme *De Long McDermott No 1* (1953) započelo je burno razdoblje razvoja istraživanja nafte i plina bušenjem u priobalnim plićim područjima mora. Već 1955. u rad je uključena i prva samopodizna platforma s tri noge s pojedinačnim neovisnim sustavom za dizanje i spuštanje. Nakon toga razvijale su se savršenije konstrukcije platformi za sve dublja mora i za sve teže klimatske uvjete. Od 1953. do danas u istraživanje ugljikovodika uključeno je više od 498 platformi toga tipa različitih konstrukcija (sl. 27). U

posljednje su doba projektirane mnoge konstrukcije samopodiznih pokretnih platformi za dubine mora i do 150 m. Suvremene poduprte platforme razlikuju se po konstrukcijskim rješenjima pojedinih dijelova i sklopova te po karakteristikama čelika od kojih se grade. Osnovni su kriteriji pri projektiranju: meteorološki i maritimni uvjeti, geomehanička svojstva morskog dna koje će se bušiti te geografski položaj mora.

Ponton je većine suvremenih poduprtih platformi trokutastog oblika bez otvora za bušenje, dok platforme starijih konstrukcija imaju u sredini stražnjeg dijela pontona uvučen otvor za smještaj bušačeg postrojenja. Na platformama s pontonom bez otvora za bušenje moguće je supstrukturu s bušačim postrojenjem izvući 10 m izvan trupa pontona i postaviti neposredno iznad noseće konstrukcije stalne bušotinske platforme, pa se razrada otkrivenog ležišta ugljikovodika može nesmetano obavljati.

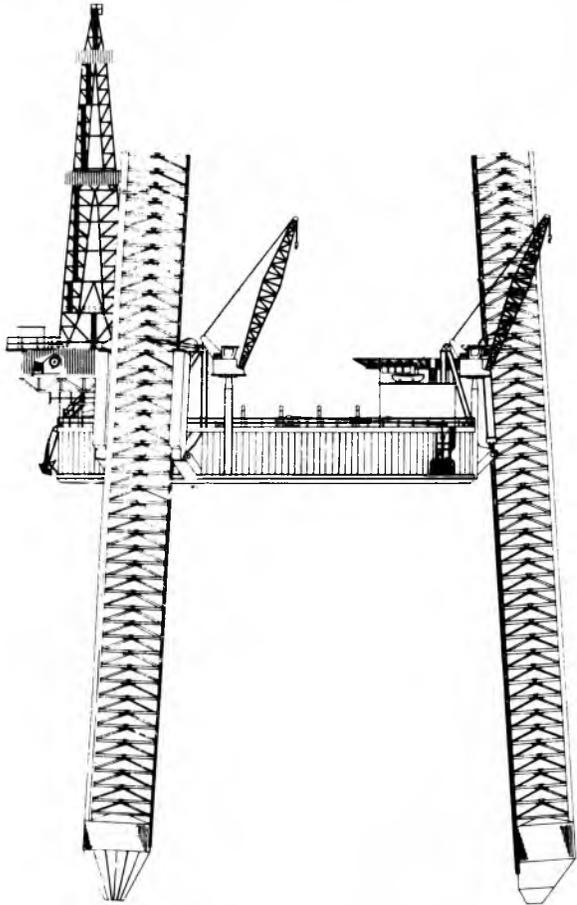
Poduprte platforme najčešće se grade sa 3 ili, rjeđe, sa 4 noge rešetkaste konstrukcije, kvadratnog ili trokutastog presjeka, ali se još upotrebljavaju platforme s nogama od cilindričnih cijevi. Rešetkaste konstrukcije nogu mnogo su otpornije na izvijanje uzrokovano djelovanjem vjetera, valova i morskih struja. Položaj nogu s obzirom na ponton platforme



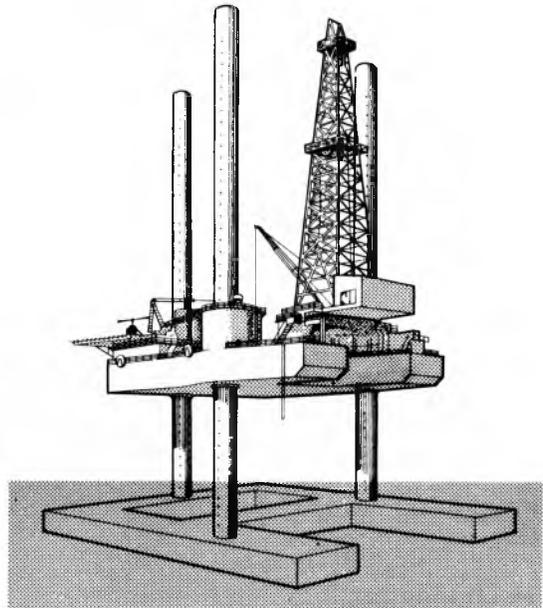
Sl. 27. Razvoj samopodiznih platformi

može biti okomit i nagnut. Okomite noge provučene su kroz otvore pontona, odnosno kućišta sustava za dizanje i spuštanje nogu i pontona. U platformi s nagnutim nogama ponton je preko šarnirnog spoja i sustava za dizanje i spuštanje ovješeno

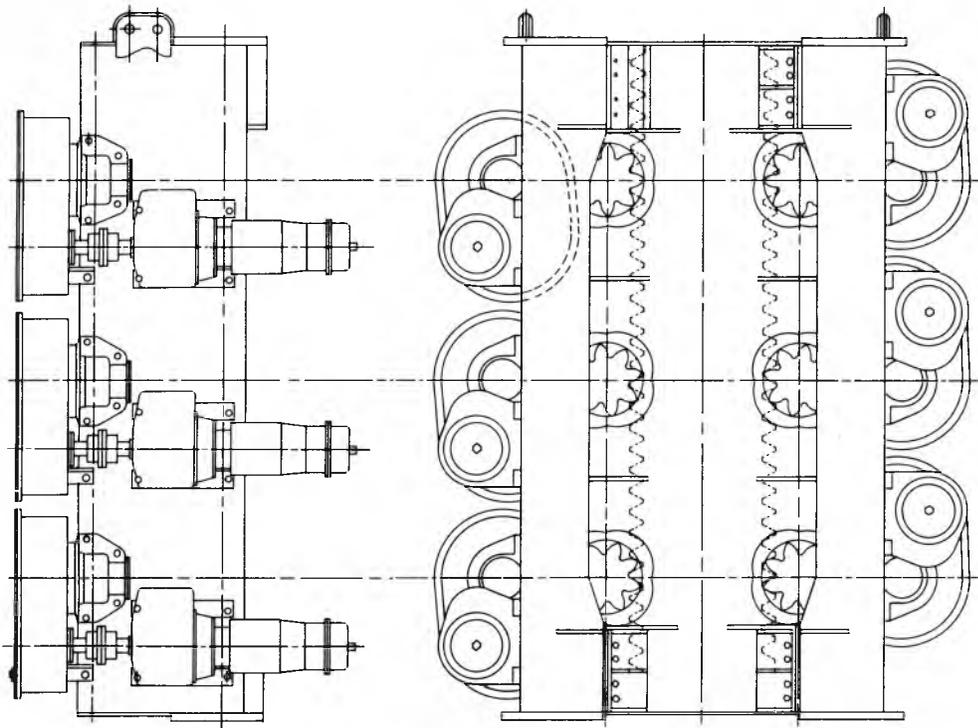
o noge (sl. 28). Nagib nogu iznosi $5^{\circ}\dots 15^{\circ}$. Noge platforme imaju 4, odnosno 3 glavna nosača različitih dimenzija. Donji krajevi nogu opremljeni su papučama različitih konstrukcija (sl. 26). Papuče služe kao ležaji nogu, olakšavajući njihovo prodiranje u morsko dno. O dubini prodiranja veoma ovisi i stabilnost platforme. Starije su platforme opremljene papučama cilindričnog oblika, s konusnim završetkom ili bez njega, dok suvremenije imaju papuče u obliku sidrenih rezervoara (kesona). Presjek papuča uvijek je veći od presjeka nogu i iznosi $75\dots 150\text{ m}^2$, dok su maksimalna specifična opterećenja $0,19\dots 0,35\text{ MPa}$. Papuče su opremljene sustavom za punjenje i pražnjenje balastne vode te mlaznicama za olakšanje izvlačenja. U područjima gdje su sedimenti dna veoma mekani i nekonsolidirani, te imaju malu nosivost, upotrebljavaju se platforme koje umjesto papuča imaju jedno ili dva pločasta postolja (sl. 29). Ukupna masa tog tipa platforme iznosi $8000\dots 10000\text{ t}$.



Sl. 28. Samopodizna platforma Neptune Gascogne s nagnutim nogama i pontonom ovješeno o šarnirni spoj sustavom za dizanje i spuštanje pontona ili nogu



Sl. 29. Samopodizna platforma s pločastim postoljem



Sl. 30. Sustav za dizanje i spuštanje nogu ili pontona platforme

Uređaji za dizanje i spuštanje platforme. Samopodizne pokretne platforme suvremenih konstrukcija opremljene su sustavima za dizanje i spuštanje nogu i pontona različitih izvedbi. Danas se najviše upotrebljavaju platforme opremljene električnim pogonom. Tako su i u naše samopodizne poduprte platforme Panon i Labin ugrađeni sustavi za dizanje i spuštanje nogu i pontona tipa Armco National Supply (sl. 30). Tim se sustavom može upravljati ručno ili automatski, posebno za svaku nogu ili istodobno za sve noge. Sustav se sastoji od 6 jedinica od kojih na svaku nogu dolaze po dvije. Jedinica je opremljena sa 6 zupčanika i 6 pogonskih elektromotora sa zupčastim prijenosnim mehanizmima. Svaki je elektromotor opremljen jednofaznom elektromagnetskom disk-kočnicom, sklopom za alarm i mehanizmom za ručno otpuštanje. Te kočnice služe za držanje pontona u bilo kojoj poziciji na nogama platforme.

Osim toga sustava, često se upotrebljavaju sustavi tipa Baker i tipa Bethlehem. U sustavu tipa Baker jedinice za dizanje i spuštanje pokreće hidraulička energija, dok se upravljački uređaji sustava napajaju električnom energijom. Sustav tipa Bethlehem pogoni se jedino hidraulički.

Stabilnost samopodizne platforme za vrijeme bušenja ovisi o okomitim opterećenjima, odnosno o ukupnoj težini platforme, zatim o djelovanju dinamičkih udaraca i vibracija, te o djelovanju vodoravnih sila vjetera, valova i morskih struja. Osim toga, na stabilnost platforme utječe i nosivost morskog dna. Pri smještaju platforme na poziciju za bušenje, noge prodiru u tlo sve dok se nosivost sedimenata morskog dna ne izjednači s opterećenjem koje odgovara težini platforme. Međutim, za vrijeme bušenja, osim težine platforme, na noge djeluju dinamički udarci i vibracije te dinamička naprezanja uzrokovana djelovanjem vodoravnih sila vjetera, valova i morskih struja na konstrukciju platforme. Zbog toga se u proračunu prodiranja nogu, uz proračun težine platforme, moraju uzeti u obzir i ta dinamička opterećenja. Metoda proračuna prodiranja nogu u dno uzrokovano statičkim opterećenjem, odnosno težinom platforme, temelji se na proračunu najveće nosivosti tla. U praksi se često upotrebljava i metoda poznata pod nazivom *Techniques Louis Menard* (TLM). Metoda proračuna najveće nosivosti tla osniva se na mjerenju maksimalnog tlaka pomoću tlakomjera, a upotrebljava se bez obzira na vrstu tla (pijesak, glina). Jedino se, već prema vrsti tla, razlikuju vrijednosti koeficijenta nosivosti tla. Pri određivanju stabilnosti platforme oslonjene o morsko dno na koju djeluju vodoravna opterećenja uzima se u obzir

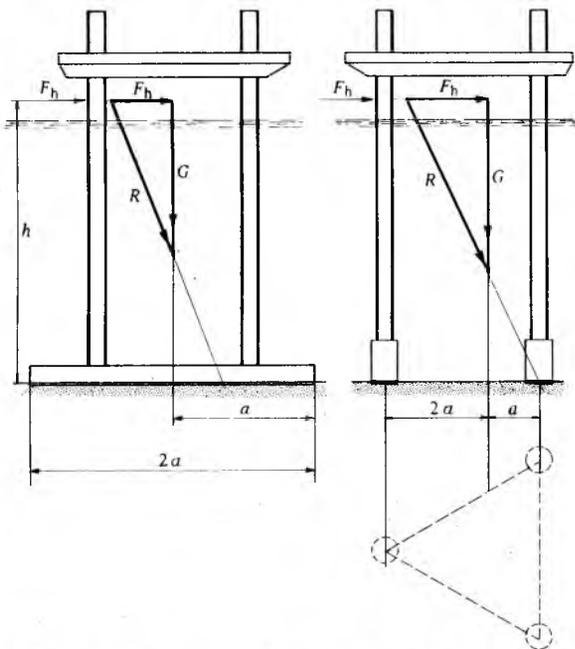
povećanje prodiranja nogu u tlo zbog statičkih opterećenja i prekretnog momenta vodoravnih sila. Povećano prodiranje nogu u dno, osobito kad je ono mekano, veoma se često opaža kad, zbog vodoravnih sila valova velikih amplituda, nastaju dinamički periodički udari i vibracije. Platforma je teorijski dovoljno stabilna ako je prekretni moment vodoravnih sila manji od momenta okomitih sila koje preko konstrukcije nogu djeluju na dno (sl. 31). Taj je uvjet određen nejednadžbom:

$$F_h h \leq G a, \quad (1)$$

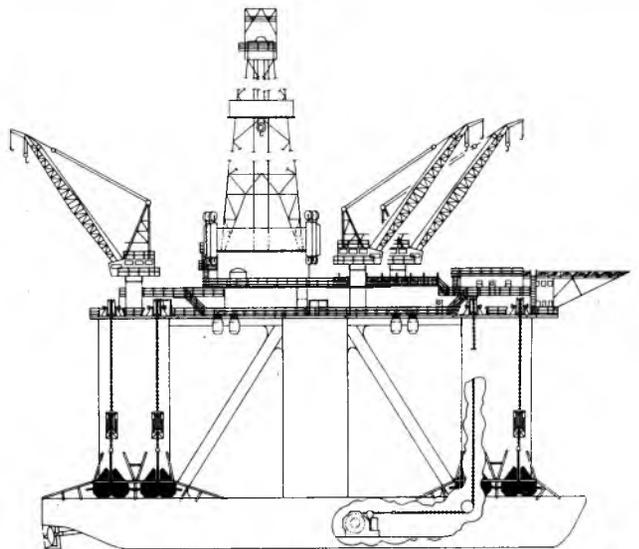
gdje je F_h rezultanta horizontalnih sila vjetera, valova i morskih struja, G ukupna težina platforme, a udaljenost težišta platforme od ruba ploče postolja ili stranice nogu platforme, a h udaljenost hvatišta sile F_h od morskog dna. Djelovanjem sile F_h mijenja se raspored naprezanja neposredno ispod papuče ili ploče postolja. Zbog toga je potrebno provjeriti mogućnost probijanja tla neposredno ispod postolja ili papuča nogu.

Poluuronjene platforme pokretne su bušače i proizvodne platforme koje tokom bušenja i proizvodnje nafte i plina te za vrijeme premještanja plutaju s različitim dubinama gaza, već prema vrsti tehnološkog zahvata. Ako dubina mora i konfiguracija njegova dna to dopuštaju, te se platforme mogu pontonima osloniti o morsko dno. Razvile su se iz uronjenih platformi početkom šezdesetih godina našeg stoljeća. Konstruirane su za bušenje pod morem dubokim i do 1000 m. Sastoje se od trupa i pontona te okomitih cilindričnih stupova koji povezuju trup s pontonima u cjelovitu konstrukciju. Na glavnoj palubi trupa, iznad otvora za bušenje, ugrađeni su oprema i postrojenje za bušenje te stambeni trakt za smještaj radnika s blagovaonicom i ambulantom (sl. 32 i 33). Trup je većine suvremeno konstruiranih platformi pravokutnog oblika, dok ih manje ima trup trokutnog, peterokutnog ili križnog oblika. Najviše je platformi izvedeno s dva pravokutna, međusobno paralelna, pregrađena pontona, zaokruženih krajeva i opremljenih propulzijskim uređajima koji služe za prijevoz platforme te za njezino održavanje na poziciji za bušenje. Gaz platforme mijenja se prema tehnološkom zahvatu i iznosi 6-8 m, dok se za vrijeme bušenja povećava na 20-25 m. Za orkansko nevremena gaz se smanjuje na 15 m. Tada je stabilnost veoma velika jer je središte uzgona vrlo nisko.

Na poziciji za bušenje poluuronjene se platforme održavaju konvencionalnim *sidrenim sustavima* ili *dinamičkim pozicioniranjem*. Konvencionalni sidreni sustav sastoji se od 8, 10 ili 11 sidara spojenih s trupom platforme lancima ili sidrenom užadi, te ponekad i njihovom kombinacijom. Taj se sustav upotrebljava za suvremeno konstruirane platforme i do dubine mora od 600 m. Sustav dinamičkog pozicioniranja



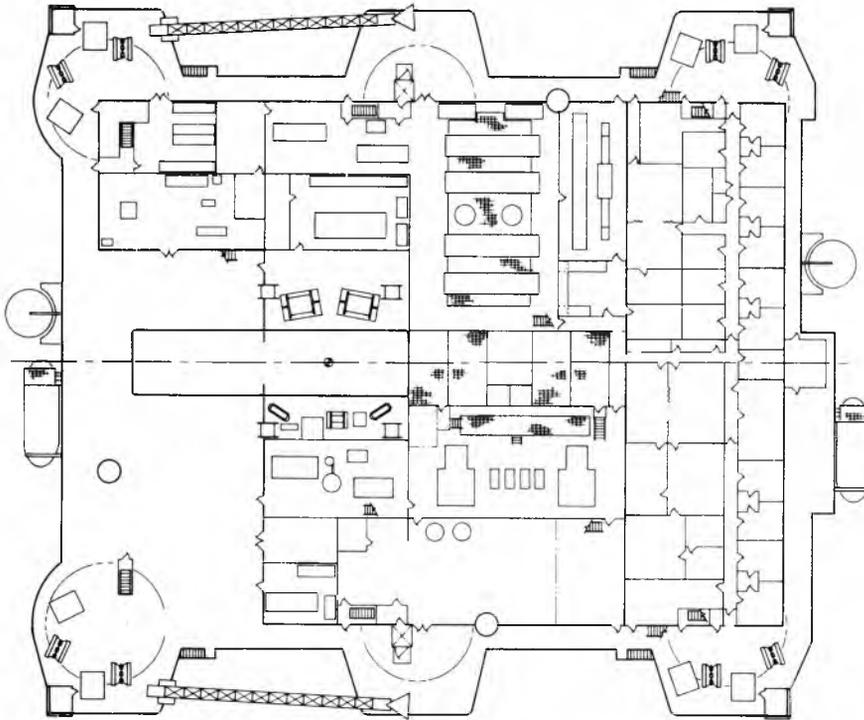
Sl. 31. Djelovanje vodoravnih (F_h) i okomitih (G) sila na platformu



Sl. 32. Poluuronjena platforma suvremene konstrukcije tipa Pacesetter

primjenjuje se za poluuronjive platforme i brodove za bušenje na velikim dubinama mora. Oba sustava vrlo uspješno održavaju platformu u poziciji za bušenje. Zbog velike mase

Sidrenim pozicioniranjem platforma se održava na radnoj poziciji sidrima, sidrenim linijama, sidrenim vitlima i vitlima. Ti su uređaji raspoređeni oko platforme simetrično i radijalno.

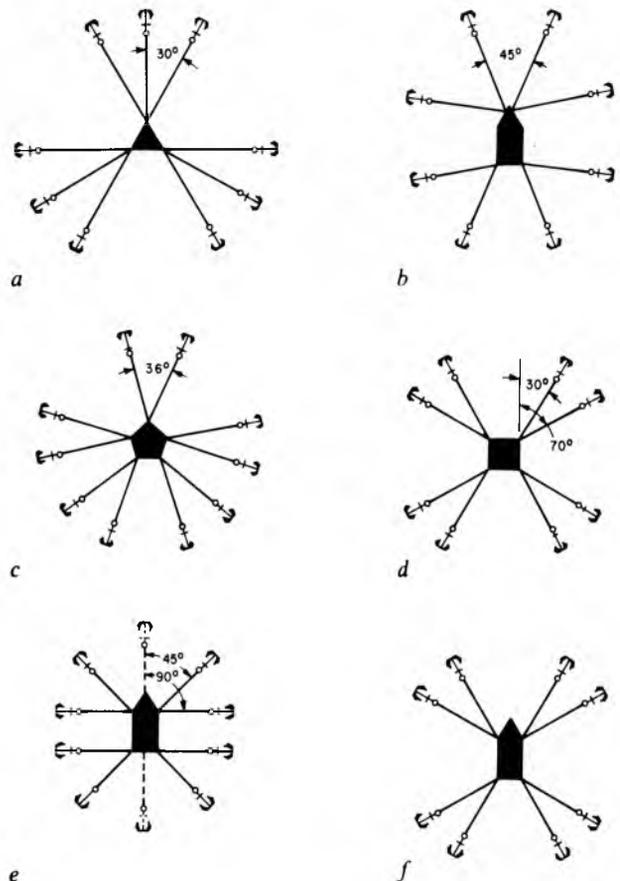


Sl. 33. Gornja paluba poluuronjene platforme tipa Pacesetter

dijela platforme koji je uronjen u more djelovanje horizontalnih sila vjetrova, valova i morskih struja uzrokuje male amplitude posrtanja i ljuljanja. Međutim se zbog okomitog kretanja platforme pojavljuju sile koje djeluju na bušaću alatku, bušotinsku glavu, sklop preventera, sustav niza cijevi uronjene stojke i teleskopsku spojnicu. Za ublaživanje tih okomitih kretanja upotrebljavaju se posebno konstruirani uređaji koji se ugrađuju u pomično ili nepomično koloturje bušaćeg postrojenja i u trup platforme.

Brod za bušenje pokretno je bušaće postrojenje prilagođeno istraživanju dubokim bušenjem nafte i plina u veoma dubokim vodama. Brod je za bušenje specijalno konstruiran ili je to preuređen već izgrađeni brod za druge namjene. Na sl. 2 prikazan je moderan brod za bušenje *Discoverer Seven Seas*. U usporedbi s poduprtim samopodiznim i poluuronjenim platformama, brodovi za bušenje mnogo su pokretljiviji, ali im je stabilnost s obzirom na poluuronjenu platformu mnogo manja, osobito za vrijeme bušenja. Zato su zastoji u radu zbog loših vremenskih uvjeta mnogo češći kad se buši s broda za bušenje. Osnovna je prednost broda za bušenje mogućnost bušenja u gotovo svim dubinama mora. Osim toga, suvremeni brodovi za bušenje opremljeni su i dinamičkim pozicioniranjem, što im omogućuje održavanje iznad ušća bušotine u dopuštenim granicama, čak i u najtežim vremenskim uvjetima. Oni imaju i mnogo veći kapacitet skladištenja potrošnog materijala i opreme nego poluuronjene platforme jednake istisnine, što omogućuje izradu mnogo dubljih bušotina bez dodatnog opskrbljivanja. Glavni su nedostaci brodova za bušenje jako okomito gibanje u lošim vremenskim prilikama i velika kontaktna ploha broda s vodenom površinom. Okomita gibanja mogu se ublažiti posebnom opremom, dok se ljuljanje može smanjiti pomoću bočnih protuljuljnih spremnika (v. *Brod, stabiliziranje*, TE 2, str. 234) i dvotrupnom konstrukcijom. Brod za bušenje *Joides Resolution* najsuverenije je opremljen i konstruktivno izveden za dubine bušenja do 9150 m na dubini mora od 8235 m.

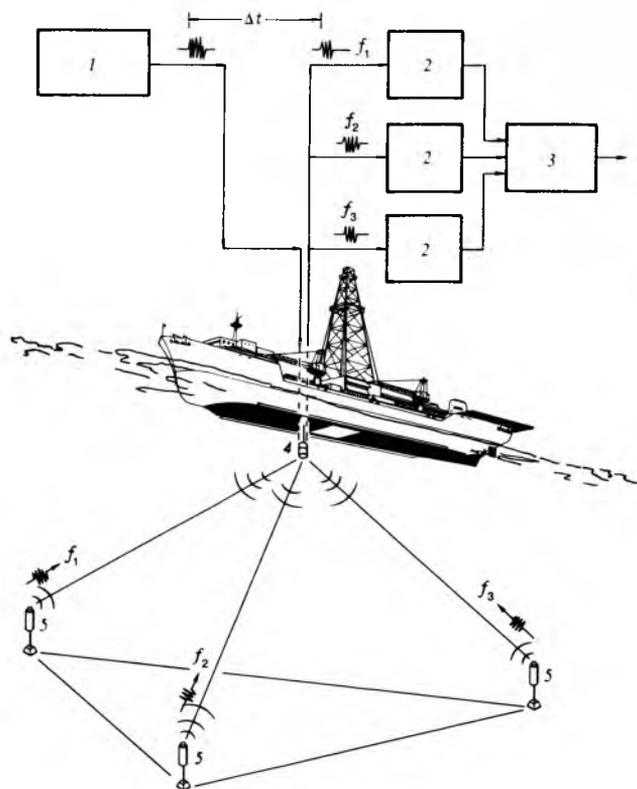
Sustavi za održavanje platformi na poziciji za bušenje. Poluuronjene platforme i brodovi za bušenje održavaju se na poziciji za bušenje sidrenim ili dinamičkim pozicioniranjem.



Sl. 34. Tipični raspoređi sidrenih linija sidreno-priteznog sustava. a devet simetričnih sidrenih linija, b osam simetričnih sidrenih linija, c deset simetričnih sidrenih linija, d osam sidrenih linija, kutovi 30° i 70°, e osam sidrenih linija, kutovi 45° i 90° (i crtkano deset sidrenih linija), f osam sidrenih linija, kutovi 30° i 60°

već prema obliku i veličini trupa. Koliko će biti sidrenih linija i kako će biti raspoređene, ovisi o izloženosti platforme glavnom smjeru djelovanja sila vjetera, valova i morskih struja, zatim o maksimalno dopuštenim silama natega sidrenih linija te o dopuštenim naprezanjima opreme kao što su vodilice sidrenih linija, vitla, odnosno sidrena vitla itd. Na sl. 34 prikazani su neki sidreni sustavi. Njihovom primjenom omogućuje se bušenje i u težim vremenskim prilikama, pri čemu se dopušta otklon platforme od ušća bušotine za 5...6% od dubine mora.

Dinamičko pozicioniranje sustav je koji za održavanje platforme ili broda na poziciji za bušenje upotrebljava postrojenje za njihovu propulziju te posebno konstruiranu opremu za utvrđivanje i održavanje položaja platforme ili broda iznad ušća ili oko ušća bušotine (sl. 35). Taj se sustav osobito djelotvorno primjenjuje u morskim dubinama većim od 500 m, gdje je primjena sidrenog sustava neekonomična, a nekada i tehnički neizvediva. Sustav dinamičkog pozicioniranja primijenjen je prvi put 1961. pri izvođenju projekta *Mohol*. Na poziciji za jezgrovanje morska je dubina iznosila ~6500 m, pa se brod za jezgrovanje nije mogao održavati na poziciji upotrebom sidrenog sustava. Prvi brod za bušenje opremljen dinamičkim pozicioniranjem koji se je rabio za istraživanje nafte i plina u podmorskim sedimentima bio je *SEDCO 445*.



Sl. 35. Dinamičko pozicioniranje broda za bušenje ili poluuronjene platforme pomoću transpondera duge osnovice. 1 prisluskičavač, 2 brojač signala, 3 procesno računalo, 4 hidrofon, 5 transponder, Δt vremensko kašnjenje pri proračunu nagiba

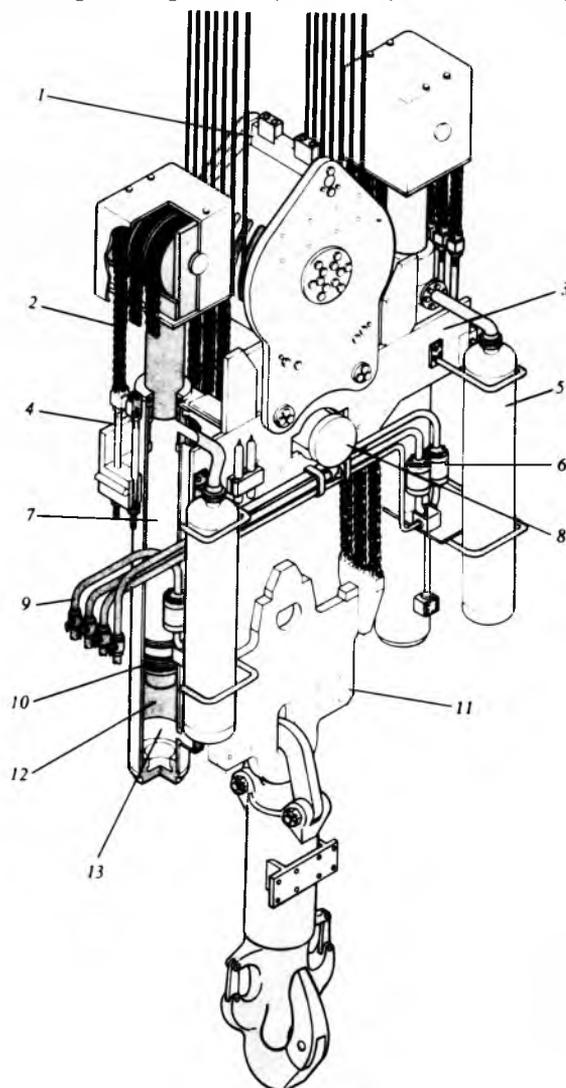
Osnovna je prednost sustava dinamičkog pozicioniranja što se platforma ili brod za bušenje mogu uspješno održavati na poziciji za bušenje bez ograničenja dubine mora. Uz to, dinamičko pozicioniranje ima određene prednosti i pri izvođenju pojedinih specifičnih zahvata u tehnološkom procesu bušenja.

Isto kao i sidreni sustav, dinamičko pozicioniranje platforme ili broda za bušenje mora ublažiti dvije vrste vodoravnih prijenosnih gibanja, i to zalijetanje i zanošenje te vodoravno kružno gibanje, zaošijanje. Kao i za sidreni sustav, ograničenja se gibanja iskazuju postotkom od dubine mora. Sustav je

dinamičkog pozicioniranja konstruiran za ograničenje gibanja platforme ili broda za bušenje u krugu promjera 5...6% od dubine mora. Uređaj za dinamičko pozicioniranje sastoji se od tri osnovna, međusobno povezana sustava: pozicionog sustava osjetnika (detektora), elektroničkog računalnog sustava i propulzijskog sustava bočnih porivnika i brodskih propelera.

Pozicioni sustav osjetnika opremljen je transponderima (akustički primopredajni uređaj) položenim na morsko dno. Proračunavajući i analizirajući vremenske razlike između aktivnih ehosignala što ih emitiraju transponderi, brodsko elektroničko računalo uključuje impulsima u rad propulzijski sustav. Prema tim impulsima brodski propulzijski sustav (tj. bočni porivnici i brodski propeleri) proizvode porivnu silu tako usmjerenu da poništi djelovanje vanjskih poremećajnih sila (vjetar, valovi, morske struje) i da omogućiti da se platforma ili brod za bušenje stalno održava na određenoj poziciji.

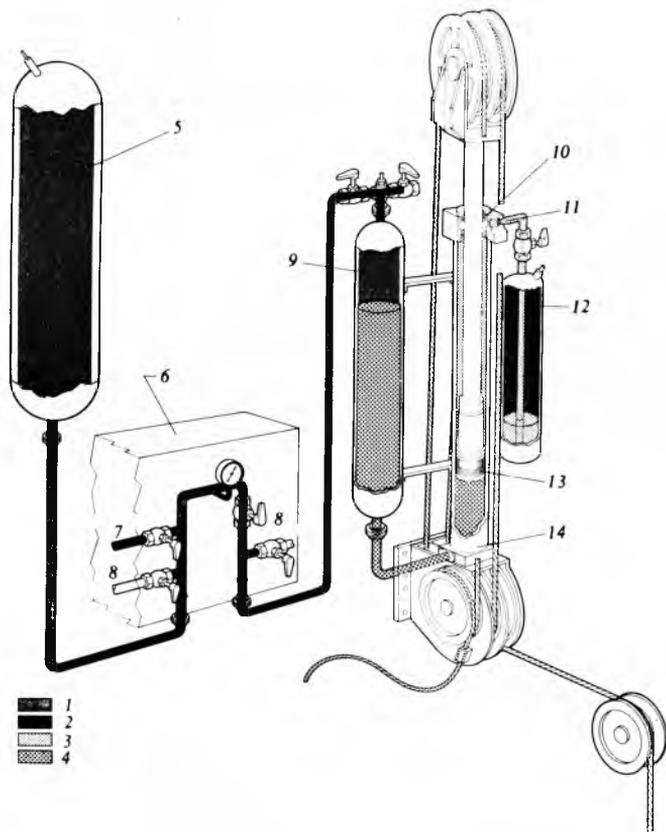
Informacije o položaju ušća bušotine moguće je osigurati i *uređajem nategnutog užeta* koji se primjenjuje u plićim morima. To je čelična žica nategnuta i učvršćena jednim krajem o platformu ili brod, a drugim o sidro na morskom dnu. Dvoosnim inklinometrom mjeri se na boku platforme ili broda nagib nategnute linije. Položaj broda određuje se



Sl. 36. Uređaj za kompenzaciju okomitih gibanja bušačih alati ugrađen u sklop pomičnog koloturja. 1 zajednička konstrukcija pokretnog koloturja, 2 lanac nosivosti 500 t, 3 glavna noseća konstrukcija, 4 klipnjača za podešavanje duljine lanca, 5 zračno-uljni spremnik, 6 zračni sigurnosni ventil, 7 ulje za kompenzaciju (tlak 1,4...2,8 bar), 8 kračun kućišta brave, 9 snop crijeva $\varnothing 75$ mm, 10 brtvilo klipa visokog tlaka, 11 nosač kuke, 12 zrak pod visokim tlakom (14...170 bar), 13 kraj hidrauličkog cilindra

kutom i smjerom nagiba nategnute linije te poznatom dubinom vode.

Oprema za kompenzaciju okomitih gibanja. Poluuronjene platforme i brodovi za bušenje opremljeni su kompenzacijskim uređajima za ublaživanje okomitih gibanja bušačkih alatki, platforme ili broda s obzirom na teleskopsku spojnicu, odnosno cijevi uronjene stojke te platforme ili broda prema užadi za vadenje i spuštanje opreme i alata te pojedinih dijelova bušotinske glave. Kompenzator okomitih gibanja bušačkih alatki u procesu izradbe bušotina omogućuje održavanje stalnog opterećenja dlijeta bez utjecaja okomitih gibanja platforme ili broda za bušenje, trenutačnu promjenu opterećenja dlijeta, povećanje vijeka trajanja dlijeta, izvlačenje i spuštanje bušačkih alatki, spuštanje i izvlačenje preventerskog sklopa cijevi uronjene stojke i teleskopske spojnice, ugradnju zaštitnih cijevi, elektrokarotazna mjerenja, ispitivanja u zacijevljenom kanalu bušotine, kontrolu iznenadnih izbacivanja slojnog fluida pod visokim tlakom i dr. Većina suvremenih kompenzatora okomitih gibanja bušačkih alatki radi na principu zračnih ili zračno-hidrauličkih vlačnih (nateznih) i tlačnih opruga. Uređaji se ugrađuju u sklop pomičnog ili nepomičnog koloturja (sl. 36). Vlastite težine niza cijevi uronjene stojke, razlika u težinama između isplake i morske vode, djelovanje vanjskih sila na cijevi uronjene stojke te okomito gibanje platforme uzrokuju česta oštećenja cijevi uronjene stojke.



Sl. 37. Uređaj za zatezanje sklopa uronjene stojke. 1 niski tlak zraka, 2 visoki tlak zraka, 3 niski tlak ulja, 4 visoki tlak ulja, 5 zračna tlačna boca, 6 kontrolna ploča, 7 dovod zraka, 8 odušni vod, 9 boca spremnik, 10 brtvilo niskog tlaka, 11 fiksna sapnica, 12 zračno-uljni spremnik, 13 brtvilo visokog tlaka, 14 cilindar

Zbog toga se rabi poseban uređaj kojim se povećava nateg u cijevima, a cijevi se opremaju tako da im se povećava sila uzgona. Taj se uređaj za održavanje stalnog natega cijevi uronjene stojke sastoji od visokotlačnih kompenzacijskih cilindara opremljenih klipom i klipnjačom te koloturama i užetom (sl. 37). Veoma je sličan i uređaj za održavanje natega užadi koja spaja baznu ploču bušotinske glave s platformom.

Kriteriji za projektiranje platformi

Na projektiranje platformi utječu mnogi činioci, od kojih su najvažniji: dubina mora, uvjeti okoliša (vjetar, valovi,

klima, morske struje, geomehanička svojstva morskog dna), pokretnost (samo za pokretne platforme), gibanja plutajućih platformi i brodova za bušenje, zahtjevi sigurnosti (čvrstoća, stabilnost, protupožarna i protueksplozijska zaštita, te zaštita okoliša), konstrukcijski kriteriji određeni nacionalnim i internacionalnim pravilima i propisima, teret koji nosi platforma, broj posade, položaj bušotinske glave i sklopa preventera iznad površine mora ili na dnu mora i dr.

Dubina mora jedan je od najvažnijih činilaca koji utječe na izbor tipa i konstrukciju platforme. Ovisnost tipa i konstrukcije platforme o dubini mora vidi se u tabl. 3 (v. *Nafta*, TE 9, str. 210).

Tablica 3
OVISNOST TIPA PLATFORME O MORSKOJ DUBINI

Dubina mora m	Tip platforme	Način pozicioniranja
50	Uronjena platforma	Dosjedanjem na morsko dno
15...100	Samopodizna platforma	Oslonjena nogama o morsko dno
100...600	Poluuronjena platforma Brod za bušenje	Sidreno-zatezni sustav Uređaj za dinamičko pozicioniranje
600	Poluuronjena platforma Brod za bušenje	Uređaj za dinamičko pozicioniranje

Pokretnost je važno svojstvo svih pokretnih platformi, jer se one upotrebljavaju većinom za istražno i razradno bušenje te za pokusnu proizvodnju, pa se nakon obavljenih radova premještaju na neku drugu i mnogo udaljeniju lokaciju. Zbog proširenja istraživanja nafte i plina na daleka morska prostranstva i zbog visokih troškova tegljenja platformi tegljačima razvile su se samopokretne platforme opremljene vlastitim propulzorskim postrojenjem. Otpor plovidbi ovisi o obliku uronjenog dijela trupa platforme i broda za bušenje. Olujno more i vjetar uzrokuju *oscilatorna gibanja* poluuronjenih platformi i brodova za bušenje, koji održavaju svoj položaj iznad ušća bušotine pomoću sidreno-priveznog uređaja ili dinamičkim pozicioniranjem. Postoji 6 stupnjeva slobode oscilatornih gibanja plutajućih platformi i brodova za bušenje. Kratkotrajne oscilirajuće sile vjetra i valova premašuju kapacitet bilo kojeg sidreno-priveznog sustava. Zato on mora biti dovoljno fleksibilan da dopusti ta gibanja, ali i da ih zadrži u dopuštenim granicama.

Na savijanje bušačkih alatki i niza cijevi uronjene stojke, gdje se nalaze rotirajuće bušaće alatke, utječu vodoravni pomaci, posrtanje i valjanje platforme. U praksi se dopušta vodoravno odstupanje od središnje točke za 5...10% dubine mora, dok se otkloni od vertikale dopuštaju i do 10°. Poniranje (vertikalno gibanje) uzrokuje rastezanje ili tlačanje bušačkih alatki, kolona zaštitnih cijevi itd. Pri bušenju dopušteno je poniranje ~3 m.

Poluuronjene platforme bolje se ponašaju na nemirnom moru nego brod za bušenje, jer one obično imaju periodu valjanja od 18...33 s, što je osjetno duže nego je perioda valjanja broda za bušenje. U tabl. 4 navedeni su uvjeti pri kojima se obustavljaju pojedini tehnološki zahvati pri bušenju koji se izvode s određenog tipa poluuronjene platforme.

Tablica 4
KRITERIJI ZA OBUSTAVU RADA POLUURONJENE PLATFORME

Radna operacija	Visina vala m	Poniranje platforme m
Bušenje	9,2	3,0
Ugradnja kolone zaštitnih cijevi	6,7	1,83
Ugradnja pojedinih sklopova bušotinske glave i niza cijevi uronjene stojke	4,6	0,91

Sigurnost platforme ovisi o njoj čvrstoći, stabilnosti, nepotplojivosti i zaštiti od požara, eksplozije i erupcije. Relativno mnogo nezgoda na nepokretnim, a i na pokretnim platformama, razlog je što su doneseni veoma strogi propisi o sigurnosti platformi. Od 23 havarije koje su se dogodile od 1955. do 1965. gdje je svaka pojedinačna šteta bila veća od 1 000 000 SAD \$, 20% nezgoda prouzročile su nekontrolirane erupcije nafte ili plina, 20% olujno nevrijeme, a 60% nezgoda dogodilo se pri premještanju ili u toku pripreme za premještanje platformi. Pri premještanju platformi najviše su stradale samopodizne platforme (14 platformi). Dvije do sada najteže nesreće dogodile su se 1980, kad se prevrнула u Sjevernom moru poluuronjena stambena platforma *Alexander Kielland*, gdje je poginulo 129 ljudi, i 1982, kad je potonula u području Newfoundlanda tada najveća poluuronjena platforma *Ocean Ranger* i nitko od 84 člana posade nije preživio nesreću.

Čvrstoća platforme. Projekti konstrukcije i proračun čvrstoće ovisi o tipu platforme. *Brod za bušenje* projektira se na konvencionalan način, uz obvezan proračun uzdužne čvrstoće trupa. Pri proračunu čvrstoće *samopodizne platforme* razmatraju se tri slučaja opterećenja: a) trup je podignut na položaj bušenja i ravnomjerno oslonjen na sve tri noge; b) trup se postupno podiže, ali nije definitivno učvršćen pa se ne oslanja na sve noge i c) trup pluta s potpuno ili djelomično podignutim nogama. Proračun čvrstoće *poluuronjene platforme* sličan je proračunu samopodizne platforme u fazi plutanja.

Konstrukcijski materijal izravno utječe na čvrstoću platforme i na njen vijek trajanja. Trup samopodizne platforme, broda za bušenje, cjelokupne strukture poluuronjenih platformi i stalnih proizvodnih platformi u načelu se grade od standardnog brodograđevnog čelika, neki dijelovi strukture nadgrađa i glavne palube od čelika veće čvrstoće, noge samopodizne platforme od čelika veoma visoke čvrstoće, a platforme za područja s visokim temperaturama od specijalnih čelika koji i pri takvim temperaturama zadržavaju potrebna mehanička svojstva.

Korozijska zaštita čelične strukture platforme potrebna je zbog toga što korozija smanjuje čvrstoću i vijek trajanja platforme. Na svakoj se platformi razlikuje pet korozijskih zona: zona izložena atmosferskim utjecajima, zona izložena prskanju morske pjene i valova, zona plavljenja plimom, stalno uronjena zona i zona dna. Za zaštitu stalno uronjene zone i zone dna primjenjuje se aktivna katodna zaštita s istosmjernom strujom od $\sim 0,5 \text{ mA/m}^2$ ili pasivna katodna zaštita s ugrađenim elektrodama (v. *Korozija metala*, TE 7, str. 304). Za ostale se zone primjenjuje konvencionalna brodska antikorozijska zaštita premazivanjem. U zoni prskanja dubina prodiranja korozije u čelični lim iznosi $\sim 0,44 \text{ mm}$ godišnje.

Nepotopivost platforme osigurava se na isti način kao nepotopivost trgovačkih brodova, tj. podjelom trupa platforme na nepropusne odjeljke. Osobito je važan raspored nepropusnih pregrada u okomitim stupovima poluuronjenih platformi. Stabilizacijski stupovi poluuronjenih platformi izloženi su mehaničkim oštećenjima, pa zato moraju imati okomite i vodoravne nepropusne pregrade. Usto se određeni broj odjeljaka ispunjava lakim sintetskim poroznim materijalom male naplavlivosti, pa odjeljci djeluju kao uzgonski spremnici.

Protupožarna i protueksplozijska zaštita. U procesu bušenja i proizvodnje nafte i plina nepokretne i pokretne platforme izložene su većoj opasnosti od požara i eksplozije nego trgovački brodovi. To je posljedica neispravnog bušenja kad nastaje nekontrolirano izbacivanje mješavine plina, nafte, vode i pijeska, što može uzrokovati požar i eksploziju na platformi. Zbog toga se oprema ušća bušotine, osobito sklop preventera, mora trajno održavati u ispravnom stanju, a isplačni sustav mora biti opremljen odvajačima nafte i plina iz isplake. Minimalna zaštita od požara i eksplozije određena je međunarodnim i nacionalnim propisima.

Pravila i propisi. Konstrukcije i oprema platformi za bušenje i proizvodnju nafte i plina moraju zadovoljavati međunarodne i nacionalne propise. Svaka platforma gradi se prema pravilima barem jednog društva za klasifikaciju brodova (v. *Brod*, TE 2, str. 264). Od međunarodnih propisa o gradnji i opremi platformi najvažniji su: *Konvencija o sigurnosti života na moru* (Convention for Safety of Life at Sea, SOLAS) i *Kodeks za konstrukciju i opremu pokretnih platformi* (Code for Construction and Equipment of Mobile Offshore Drilling Units, MODU Code). Da bi platforma dobila dopuštenje za rad u određenom području, mora zadovoljavati i nacionalne propise države pod čiju jurisdikciju spada to područje. Nacionalni se propisi često međusobno veoma razlikuju, što otežava projektiranje platformi i brodova za bušenje.

ISTRAŽIVANJE, RAZRADA I PRIVOĐENJE PROIZVODNJI PODMORSKIH LEŽIŠTA NAFTE I PLINA

Otkrivanje podmorskog ležišta nafte ili plina te njegovo iskorištavanje veoma je složen multidisciplinarni tehnološki proces s djelatnostima iz naftnog rudarstva, geologije, geofizike, geokemije, strojarstva, elektrotehnike, elektronike, brodogradnje, kemije i dr. U tehnologiji podmorskog bušenja razlikuju se tri tehnološki zaokružene cjeline: istraživanje nafte i plina, razrada otkrivenih ležišta nafte i plina, te proizvodnja i uključivanje u proizvodnju podmorskih ležišta nafte i plina.

Istraživanje nafte i plina u podmorskim sedimentima u suštini se ne razlikuje od onog na kopnu (v. *Nafta*, TE 9, str. 198). Jedina je znatnija razlika u opremi. Proces je moguće podijeliti na istraživanje površinskim posrednim metodama te na istraživanje bušenjem na velike dubine. Od površinskih posrednih metoda najvažnije su geološka prospekcija obalnog područja, geofizička prospekcija, u kojoj se najčešće primjenjuju seizmičke, gravimetrijske i magnetometrijske metode, te geokemijska prospekcija. Na osnovi tako dobivenih rezultata određuje se položaj optimalne lokacije istražne bušotine. Kad se već prvom istražnom bušotinom otkrije ležište nafte i plina, buše se tzv. konturne ocjenske bušotine kojima se utvrđuju podaci potrebni za proračun pridobivih (bilančnih) rezervi nafte i plina. Ako se na osnovi svih potrebnih relevantnih podataka utvrdi da je polje komercijalno iskoristivo, razrađuje se projekt gradnje polja.

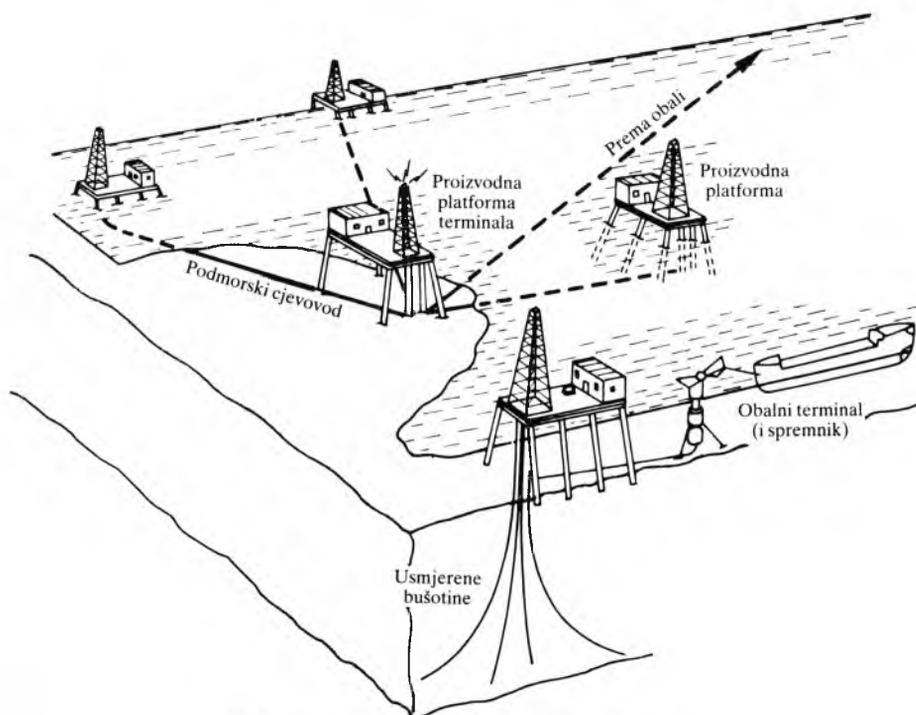
Razrada otkrivenog podmorskog polja ostvaruje se izradom grma koso usmjerenih dubokih bušotina (v. *Nafta*, TE 9, str. 201), bilo sa stalnih nepokretnih, bilo s pokretnih platformi različitih tipova. Gotovo sve platforme, osim pokretnih samopodiznih, sastavni su dio proizvodnog procesa iskorištavanja podmorskih ležišta.

Proizvodni sustav. Pod proizvodnim sustavom podmorskog polja podrazumijeva se sklop različitih tipova platformi i konstrukcija, postrojenja i uređaja potrebnih za proizvodnju, sabiranje, obradu i čišćenje ugljikovodika te njihovu otpremu do kopna. Izbor tipa proizvodnog sustava ovisi o mnogim faktorima, od kojih su najutjecajniji: količina pridobivih rezervi nafte i plina, karakteristike ležišta, dubina zalijeganja sloja zasićenog ugljikovodicima, dubina mora, geografski položaj ležišta, udaljenost od kopna i potrošača, te veličina i dinamika investicija. Podmorska ležišta nafte i plina, na sadašnjem stupnju razvoja, iskorišćuju se sa tri tipa proizvodnih sustava: površinskog, podmorskog i kombiniranog.

Površinski sustav proizvodnje. U površinskom sustavu glave bušotina s erupcijskim i proizvodnim uređajima nalaze se iznad površine mora. Nafta i plin iz ležišta dobivaju se proizvodnom opremom ugrađenom u bušotinu, pa se na proizvodnoj platformi sabiru i procesnim uređajima odvajaju i čiste, te se cjevovodima otpremaju na kopno (sl. 38). Ako proizvodni sustav nije povezan s kopnenim terminalom, očišćena se nafta otprema do obalnog terminala, odakle se odvozi brodom. Pri iskorištavanju podmorskih ležišta nafte i plina površinskim sustavom, koja su veoma udaljena od potrošača, očišćena se nafta otprema do obalnog terminala,

a izdvojeni se plin i slojna voda radi održavanja slojne energije ležišta ponovno utiskuju u ležište posebno izrađenim i opremljenim utisnim bušotinama. Najveća dubina mora s koje se danas ostvaruje ekonomična proizvodnja nafte i plina površinskim sustavom proizvodnje podmorsko je ležište u Meksičkom zaljevu na lokalitetu Venice, gdje dubina mora iznosi 311 m. Na tom lokalitetu postavljena je i najviša na svijetu nepokretna bušača i proizvodna platforma Cognac. U proljeće 1987. počela je gradnja još više i teže platforme istog tipa, nazvane Bullwinkle, koja će biti 1988. postavljena na prosječnoj dubini mora od ~412 m na lokalitetu Green Canyon. Osim navedenih tipova platformi, već je započela gradnja proizvodnog površinskog sustava u kojemu će se za proizvodnju nafte i plina upotrebljavati poluuronjena platforma učvršćena o morsko dno zategnutim užetima. Platforma će biti postavljena 1989. u Meksičkom zaljevu na dubini mora od 536 m i služiti će za iskorištavanje podmorskog ležišta

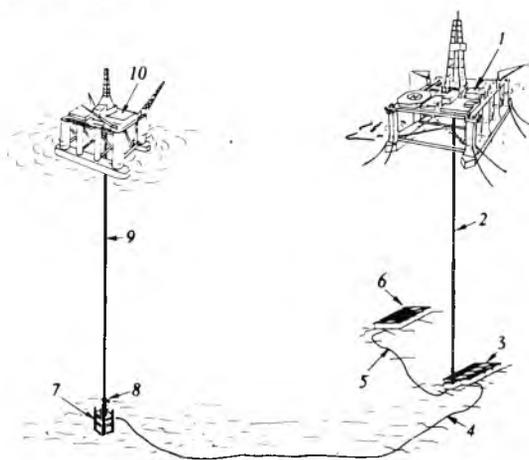
postrojenja, uređaja i opreme (sl. 39): poluuronjene proizvodne platforme i kontrolnih uređaja smještenih na njoj, proizvodne uronjene stojke rešetkaste konstrukcije smještene na dno mora u koju su ugrađene bušotinske glave i ušće bušotina, protočnih i kontrolnih linija, vodova za sabiranje proizvedene mješavine nafte, plina i vode te za utiskivanje plina ili vode u ležište, rešetkaste konstrukcije s razradnim sustavom i ugrađenim bušotinskim glavama i ušćima bušotina opremljenim proizvodnom opremom, protočnih i kontrolnih linija za spajanje s bušotinskom glavom i ušćem satelitske proizvodne bušotine opremljene proizvodnim i kontrolnim uređajima te uronjene stojke s kontrolnim kabelima za opremanje satelitske bušotine i pokretne poluuronjene platforme s koje se ugrađuje oprema i kontrolira rad satelitske proizvodne bušotine. Prema najnovijim podacima, u svijetu je do sada izgrađeno i opremljeno 419 proizvodnih bušotina s ušćima smještenim na dno mora. Od toga su 254 bušotine



Sl. 38. Površinski sustav proizvodnje nafte i plina

Joliet. Početak proizvodnje očekuje se potkraj 1989. To će tada biti najveća dubina mora s koje će se proizvoditi nafta i plin.

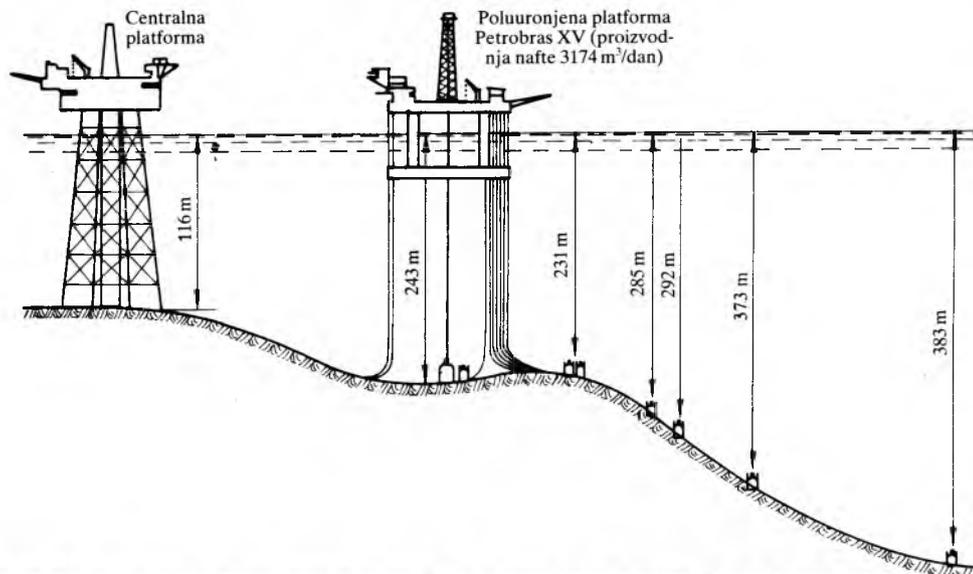
Podmorski sustav proizvodnje. U podmorskom sustavu proizvodnje bušotinska glava proizvodne bušotine i ušće bušotine opremljeno proizvodnim podmorskim uređajem smješteni su na morsko dno. Taj se sustav u načelu upotrebljava za proizvodnju nafte i plina iz podmorskih ležišta dubljih mora, gdje se za razradu otkrivenog ležišta i za proizvodnju najčešće upotrebljavaju poluuronjene platforme. Sustav se, također, primjenjuje i u početnoj ispitnoj fazi proizvodnje radi prikupljanja svih podataka potrebnih za projektiranje, te za rentabilno iskorištavanje manjih satelitskih podmorskih ležišta koja se nalaze nedaleko od glavnog ležišta. U svjetskim morima i oceanima ukupno je do proljeća 1987. izgrađeno i postavljeno 39 podmorskih proizvodnih sustava, od kojih 22 proizvode naftu i plin. Najviše se rabe poluuronjene platforme, zatim brodovi za bušenje i samopodizne platforme. Kako već sada u svijetu postoje mnoga različita rješenja podmorskih proizvodnih sustava, koji se međusobno znatno razlikuju, American Petroleum Institute (API) pripremio je i tiskao 1987. *Praktične preporuke za projektiranje i izvođenje podmorskih proizvodnih sustava* (Recommended practice for design and operation of subsea production systems). Prema tim preporukama, sustav za podmorsku proizvodnju nafte i plina sastoji se od sljedećih



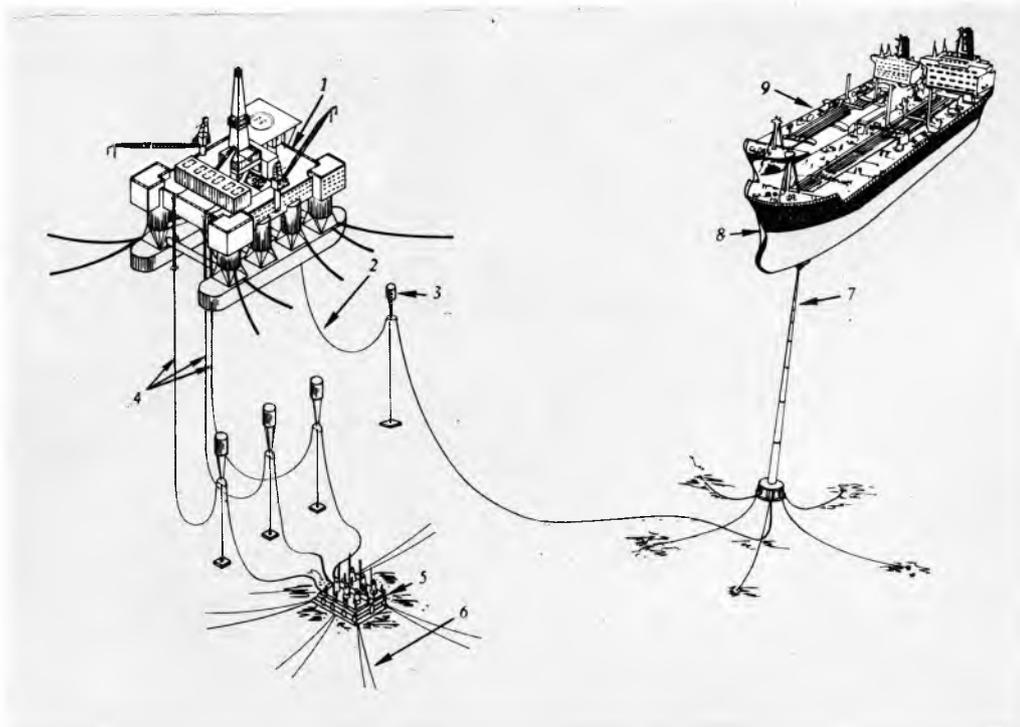
Sl. 39. Sustav za podmorsku proizvodnju prema standardu API. 1 poluuronjena proizvodna platforma s kontrolnim uređajima, 2 niz cijevi proizvodne uronjene stojke, 3 zaštitna konstrukcija s bušotinskim glavama i ušćima proizvodnih bušotina, 4 protočni i kontrolni vodovi, 5 vodovi za sabiranje nafte, plina i vode te vodovi za utiskivanje vode ili plina u ležište, 6 zaštitna konstrukcija s razradnim sustavom bušotinskih glava i ušća bušotina, 7 satelitska bušotina s bušotinskom glavom i proizvodnim uređajem, 8 kontrolni i upravljački uređaj satelitske bušotine, 9 kontrolni i upravljački vodovi satelitske bušotine, 10 poluuronjena platforma

u proizvodnji, dok ih je 60 privremeno zatvoreno, a 105 je bušotina napušteno. Od ukupno 419 kompletno opremljenih proizvodnih podmorskih bušotina s ušćima na dnu mora ima 296 naftnih, 52 plinske i 71 utisna. Od ukupno opremljenih proizvodnih bušotina s ušćima na dnu mora 31 bušotina postavljena je na dubinama većim od 200 m. Najveća dubina mora na kojoj je do 1987. opremljena bušotina s ušćem na dnu mora iznosi 383 m na lokaciji nazvanoj Marimba uz obalu Brazila (sl. 40). Bušotina je uključena u proizvodnju 1985.

bušotinskih glava i proizvodnih uređaja ušća bušotina. Snop fleksibilnih cijevi sastoji se od protočne cijevi kojom se mješavina nafte, plina i vode dovodi na poluuronjenu platformu. Osim te cijevi, u snopu se još nalazi i cijev za utiskivanje vode ili plina u ležište, te cijev kojom se plin dovodi od poluuronjene platforme do bušotinske glave gdje se potiskuje u bušotinu, kako bi se upotrebom dizala plina (gas-lift) moglo nastaviti iskorištavanje ležišta. Dizalo plina se uključuje u rad nakon dužeg crpljenja nafte, kada slojna



Sl. 40. Bušotina na ležištu Piruna, bazen Campos, Brazil: najveća dubina mora od 383 m na kojoj je do 1987. opremljena bušotina

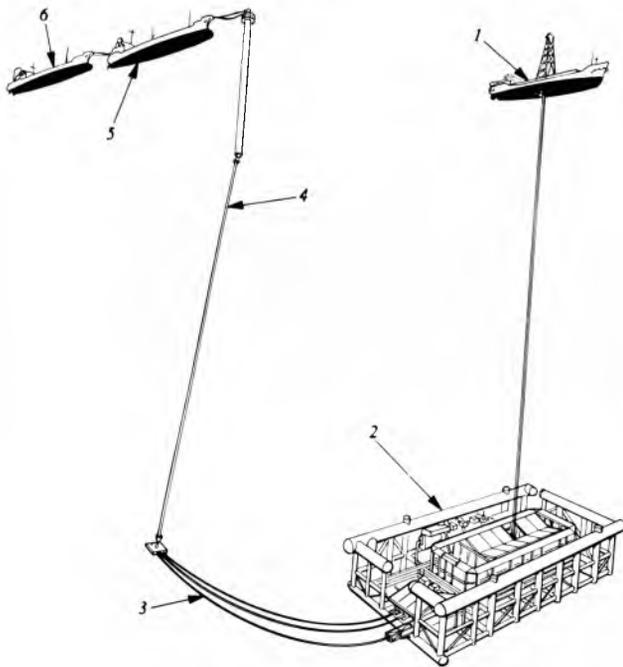


Sl. 41. Podmorski proizvodni sustav za proizvodnju od 15000-38000 m³/dan. 1 proizvodna poluuronjena platforma, 2 odvodni vod, 3 podvodna plutača, 4 uronjena proizvodna stojka s vodovima za dizalo plina, utiskivanje vode i proizvodnju nafte, 5 zaštitna konstrukcija ušća bušotine i proizvodne opreme, 6 usmjerene bušotine, 7 sabirni vod, 8 dovod u rezervoar tankera, 9 prijevozni tanker

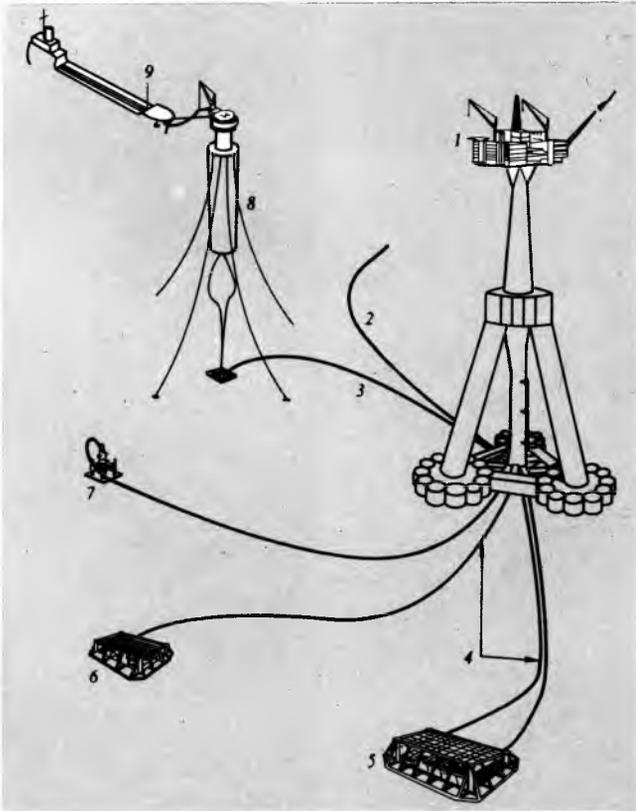
Na slici 41 prikazan je podmorski proizvodni sustav za dnevnu proizvodnju nafte od 15000-38000 m³. U tom je sustavu proizvodna poluuronjena platforma povezana s bušotinskom glavom i proizvodnim uređajem, a ušće bušotine dugačkim fleksibilnim cijevima ovješeno o uronjene plutače. U zaštitnu konstrukciju smještenu na dnu mora ugrađeno je više

energija nije dovoljna za podizanje nafte, plina i vode na platformu. Na poluuronjenoj platformi mješavina nafte, plina i vode procesnim se uređajima pročišćuje tako da se voda i plin odvoje od nafte. Očišćena nafta ili plin podvodnim se fleksibilnim cjevovodom odvođe u usidreni tanker, koji služi kao skladište nafte i odobalni terminal. Prema rješenjima

kompanije Exxon (sl. 42) nije potrebna ni proizvodna platforma ni velika plutača-skladište. Zaštitna konstrukcija s ugrađenim bušotinskim glavama i proizvodnim uređajima ušća bušotina izravno je povezana cjevovodima i električnim kabelima s odobalnim terminalom, velikim brodom-tankerom na kojemu su procesni uređaji i skladište nafte. Grm koso



Sl. 42. Podmorski proizvodni sustav kompanije Exxon. 1 brod za razradno bušenje, 2 zaštitna konstrukcija bušotinske glave i proizvodne opreme, 3 cjevovodi i električni kabeli, 4 zglobna proizvodna uronjena stojka, 5 tanker s proizvodnim uređajem i skladištem, 6 prijevozni tanker



Sl. 43. Kombinacija podmorskog i površinskog proizvodnog sustava u polju Troll u Sjevernom moru. 1 stalna platforma, 2 plinovod, 3 naftovod, 4 protočni cjevovodi, 5 zaštitna konstrukcija četiriju bušotinskih glava i proizvodne opreme, 6 zaštitna konstrukcija dviju bušotinskih glava i proizvodne opreme, 7 satelitska bušotina, 8 poluuronjena plutača, 9 tanker

usmjerenih proizvodnih bušotina izrađuje se s broda za bušenje.

Kombinirani podmorski i površinski sustav proizvodnje najbolje se može ilustrirati primjerom plinsko-naftnog polja Troll u Sjevernom moru (sl. 43). Proizvodni sustav sastoji se od stalne gravitacijske platforme, velike cilindrične poluuronjene plutače (odobalni terminal) i sedam bušotina opremljenih podmorskom opremom. Na stalnoj platformi ušća bušotina izgrađena su iznad razine mora i opremljena kao i na kopnu. Takvim kombiniranim proizvodnim sustavom podmorsko ležište Troll iskorišćuje se ravnomjerno uz maksimalni iscrpak.

Specijalni plovnotehnički objekti. Za gradnju i održavanje sustava proizvodnje nafte i plina iz podmorskih ležišta upotrebljavaju se različiti specijalni plovnotehnički objekti. Ti objekti razvili su se posljednjih 20 godina, a neki su od njih vrhunska dostignuća strojogradne i brodogradne tehnologije. Za prijevoz i porinuće velikih rešetkastih postolja stalnih proizvodnih platformi služe posebne barže (sl. 44) opremljene snažnim vitlima, balastnim sisaljka i stazama za porinuće postolja.

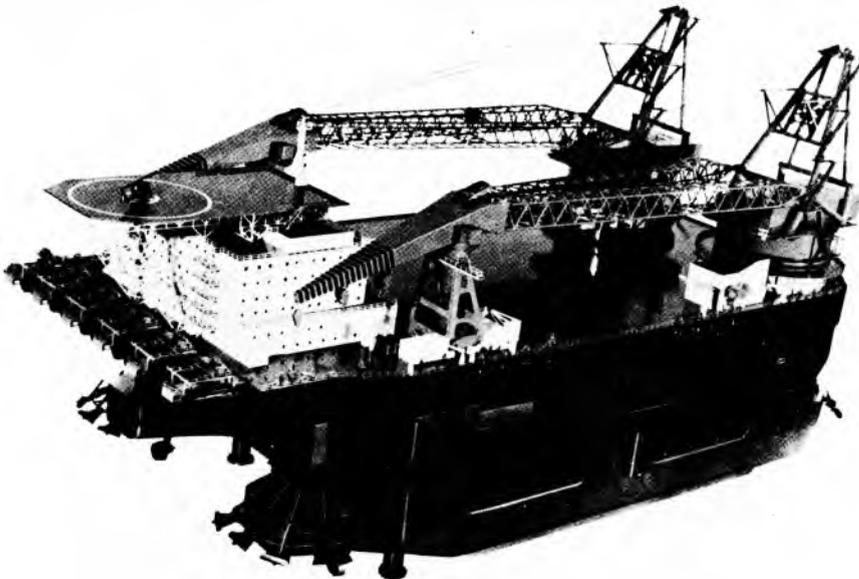


Sl. 44. Barža za prijevoz postolja stalnih proizvodnih platformi

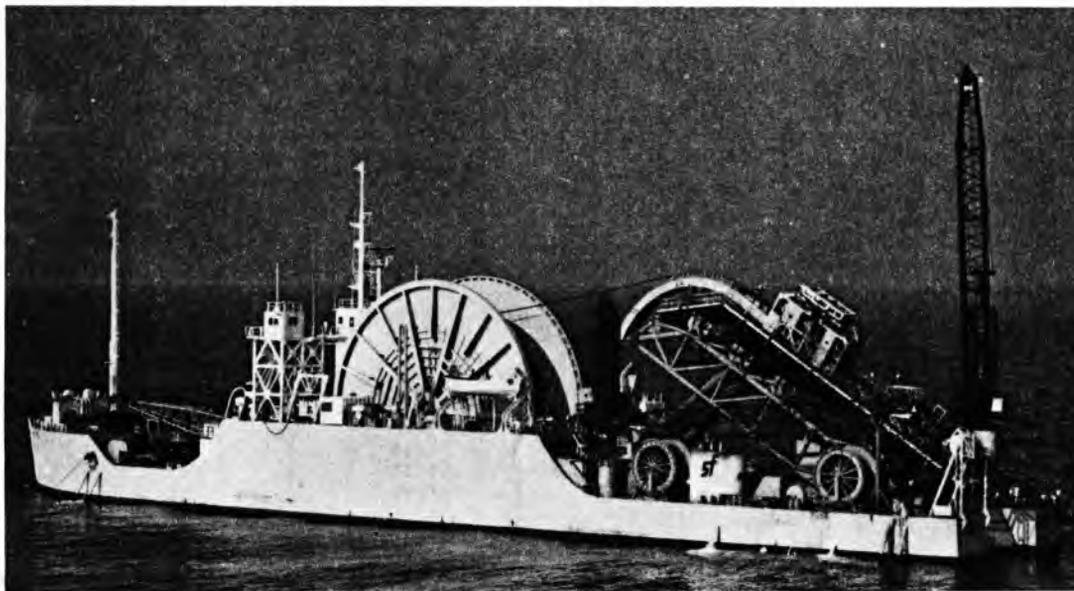
Brodovi dizalice i poluuronjene dizalice služe za postavljanje postolja i nadgrada stalnih proizvodnih platformi, zaštitne konstrukcije s podmorskom opremom ušća bušotine, strukture odobalnih stalnih terminala te ostalih uređaja i sklopova potrebnih za istraživanje, razradu i proizvodnju nafte i plina iz podmorskih ležišta (sl. 45). Trup broda dizalice može biti kao u običnog broda ili je katamaran. Poluuronjena platforma dizalice prikazana je na sl. 46. Kapacitet uređaja za dizanje iznosi od nekoliko stotina do 14000 t. Suvremene plovne dizalice opremljene su postoljem za samostalnu plovidbu, sidreno-priteznim sustavom ili dinamičkim pozicioniranjem te uređajima i sustavom za balastiranje. Brz razvoj djelatnosti proizvodnje nafte i plina iz podmorskih ležišta pridonio je



Sl. 45. Brod dizalica



Sl. 46. Poluuronjena platforma dizalica



Sl. 47. Barža za polaganje podmorskih naftovoda i plinovoda

veoma brzom razvoju plutajućih dizalica, pa one danas po moći dizanja premašuju kopnene. Naftovodi i plinovodi polažu se pomoću specijalnih barži i brodova (sl. 47). Od ostalih plovnotehničkih objekata treba spomenuti brodove baze ronilaca i ronilice s manipulatorima za podvodne radove (v. *Podmornica*, TE 10, str. 469).

ISTRAŽIVANJA NAFTE I PLINA U NAŠEM DIJELU JADRANSKOG PODMORJA

Istraživanja su započela 1970. unajmljenim stranim samopodiznim platformama i brodom za bušenje. Uključivanje (1977) u istraživanje prve naše samopodizne platforme Panon pridonijelo je bržem otkrivanju plinskih polja Ivane i Ike nedaleko od istarske obale. Zatim je INA-Naftaplin izgradila u domaćim brodogradilištima samopodiznu platformu Labin, koja se početkom 1986. uključila u istraživanje jadranskog podmorja. Ona se razlikuje od platforme Panon samo po izmijenjenoj konstrukciji pontona i supstrukture bušaćeg postrojenja.

Platforma Labin (sl. 25) poduprta je sa tri noge četvrtastog presjeka, s pontonom oblika istokračnog trokuta bez otvora za bušenje, te s nosećom supstrukturom bušaćeg postrojenja i ostale opreme što je smještena na njoj, a može se izvlačiti i do 10,67 m izvan tijela pontona. Duljina pontona iznosi 60,96 m, širina stražnjeg kraja 66,89 m, a debljina 6,99 m. Unutrašnjost pontona podijeljena je stropnom pregradom na dvostruko dno i prostor natkriven pokrovom, koji je ujedno i glavna paluba platforme. Dvostruko dno pontona podijeljeno je pregradama u spremnike za morsku vodu, potrebnu za balastiranje platforme i za preopterećenje nogara, za pitku i industrijsku vodu te za gorivo i mazivo.

U prostoru između dvostrukog dna i glavne palube smješteni su glavni pogonski Dieselovski motori, generatori izmjenične struje, tiristorski ispravljački mostovi, isplačne sisaljke, kompresori, postrojenje za desalinizaciju morske vode, stroj za cementiranje, silosi za cement i isplačni materijal, spremnici za isplaku, sisaljke za industrijsku i otpadnu vodu itd. Na prednjem dijelu glavne palube pontona smješten je stambeni trakt za 75 osoba, s uređajem za klimatizaciju.

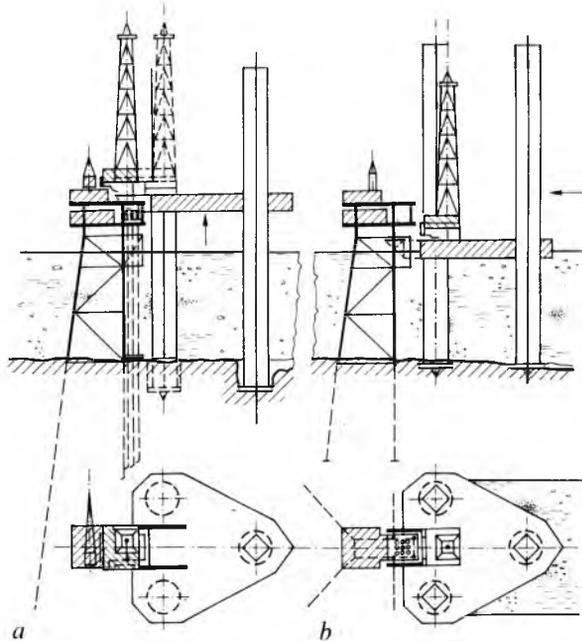
Iznad stambenog trakta nalazi se komandni most u koji je ugrađen sklop uređaja za upravljanje sustavom za dizanje i spuštanje nogara i pontona platforme.

Helikopterska paluba s nosećom konstrukcijom montirana je na pramčani dio pontona.

Supstrukturom bušaćeg postrojenja, zajedno s opremom i alatima smještenim na njoj, moguće je hidrauličkim uređajima

i perforiranim letvama zavarenim uzduž glavne palube izvući 10,67 m izvan tijela pontona. Gornji dio supstrukture također se može pomicati poprečno na simetralu platforme, i to 2,45 m na jednu ili drugu stranu. To omogućuje izradu 9 bušotina raspoređenih u tri reda.

Platforma ima tri noge. Duljina svake noge, zajedno s papučom, iznosi 126,35 m. Noge su rešetkaste konstrukcije, kvadratnog presjeka, s četiri glavna cijevna nosača i sa stranicama širokim 6,705 m. Uzduž vanjskih strana dvaju dijagonalno suprotnih glavnih nosača svake noge zavarene su dvije zupčaste letve. One su spregnute sa zupčanicima uređaja za dizanje i spuštanje pontona i nogu. Donji krajevi nogu imaju papuče koje služe kao ležaji nogu. Papuče su zapravo sidreni rezervoari promjera 14,6304 m i visine 1,8288 m. Da bi se olakšalo prodiranje nogu u tvrdo morsko dno, donji dio papuče je koničnog oblika. Takav oblik ujedno olakšava i čupanje nogu iz morskog dna. Usto je svaka papuča opremljena i sustavom mlaznica i cjevovoda, što olakšava čupanje nogu iz morskog dna te punjenje i pražnjenje balastnom vodom.

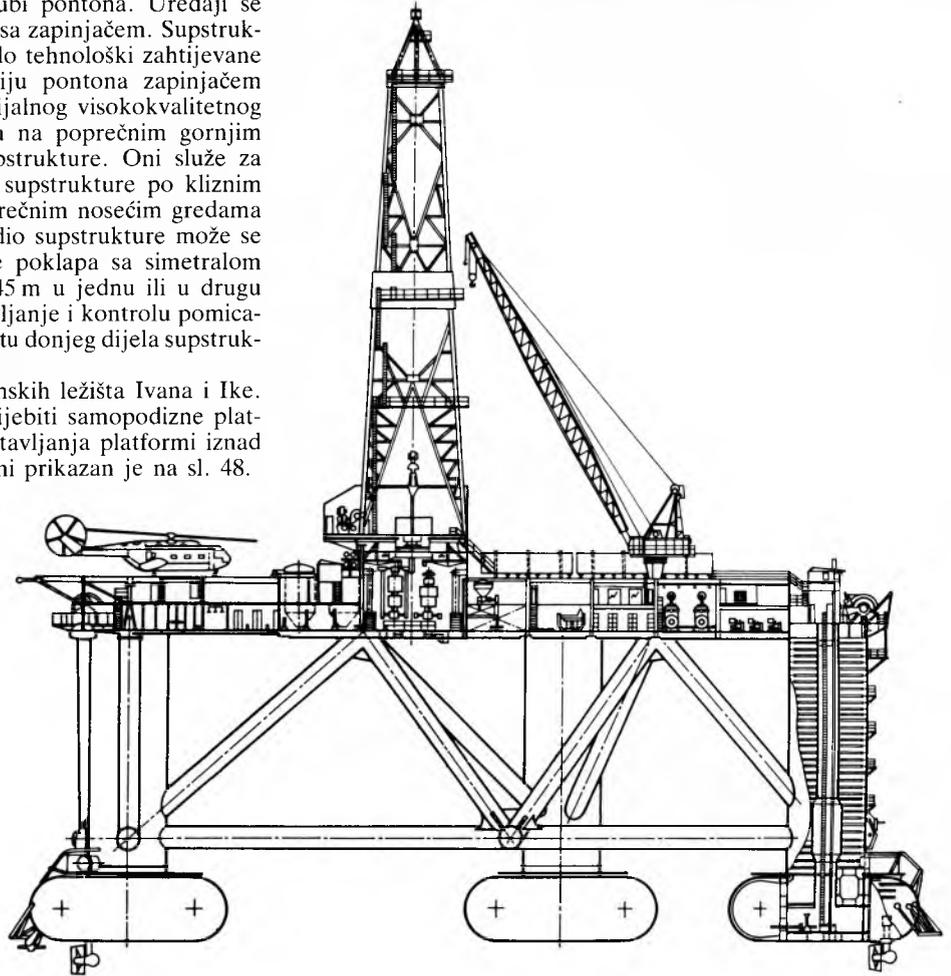


Sl. 48. Postupak postavljanja samopodiznih platformi Panon i Labin. a podizanje trupa i centriranje tornja, b nasjedanje na dno

Sa svake strane supstrukture bušačeg postrojenja, neposredno uz prednje noge, ugrađeni su hidraulički uređaji koji služe za uzdužno pomicanje supstrukture po nazubljenim letvama, zavarenim na glavnoj palubi pontona. Uređaji se sastoje od cilindra s klipom i poluge sa zapinjačem. Supstruktura bušačeg postrojenja, izvučena do tehnološki zahtijevane pozicije, učvršćuje se o konstrukciju pontona zapinjačem češljastog oblika, izrađenog od specijalnog visokokvalitetnog čelika. Jednaki uređaji ugrađeni su na poprečnim gornjim nosećim gredama donjeg dijela supstrukture. Oni služe za poprečno pomicanje gornjeg dijela supstrukture po kliznim letvama, zavarenim na gornjim poprečnim nosećim gredama donjeg dijela supstrukture. Gornji dio supstrukture može se smjestiti u središnji položaj koji se poklapa sa simetralom pontona, ili se može pomaknuti 2,45 m u jednu ili u drugu stranu od simetrale. Uređaj za upravljanje i kontrolu pomicanja supstrukture smješten je na podištu donjeg dijela supstrukture.

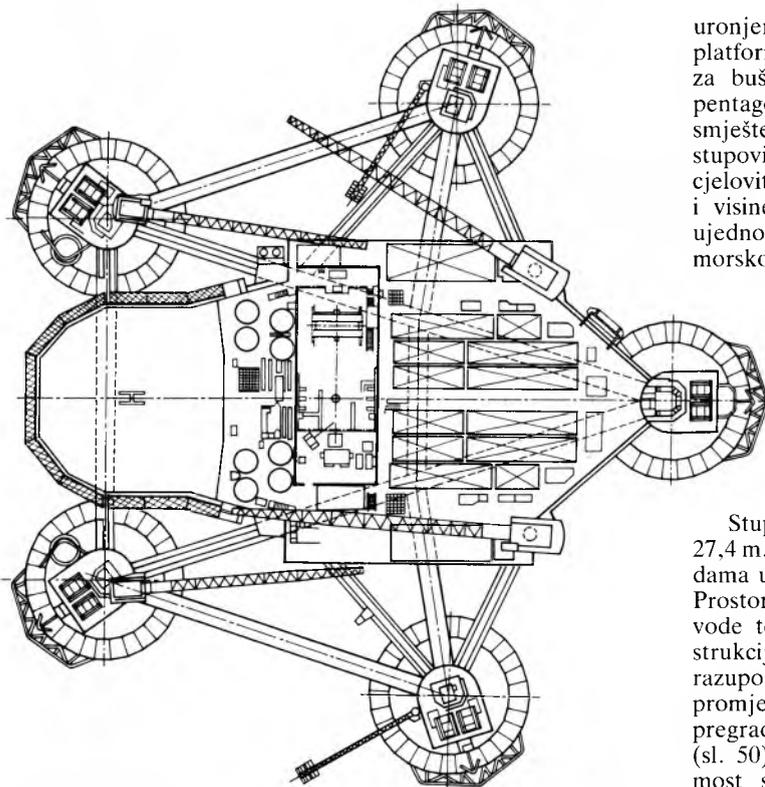
Priprema se početak razrade plinskih ležišta Ivana i Ike. Za razradu će INA-Naftaplin upotrijebiti samopodizne platforme Panon i Labin. Postupak postavljanja platformi iznad postolja stalnih proizvodnih platformi prikazan je na sl. 48.

Platforma Zagreb I. Istraživanje nafte i plina u dubljim dijelovima jadranskog podmorja INA-Naftaplin obavlja poluuronjenom platformom Zagreb I, nabavljenom 1981. Polu-



Sl. 49. Poluuronjena platforma Zagreb I

uronjena platforma Zagreb I (sl. 49) pokretna je bušača platforma s vlastitim pogonom za pozicioniranje na lokaciji za bušenje. Platforma se sastoji od pet pontona i trupa pentagonalnog oblika, s kvadratnim otvorom za bušenje smještenim u njegovom središtu. Pontoni su cilindričnim stupovima i poduporima povezani s trupom platforme u cjelovitu konstrukciju. Oni su okruglog oblika, promjera 22 m i visine 7,5 m. Opremljeni su metalnim odbojnicima, koji ujedno služe i za smještaj sidara, te otvorima za balastiranje morskom vodom.

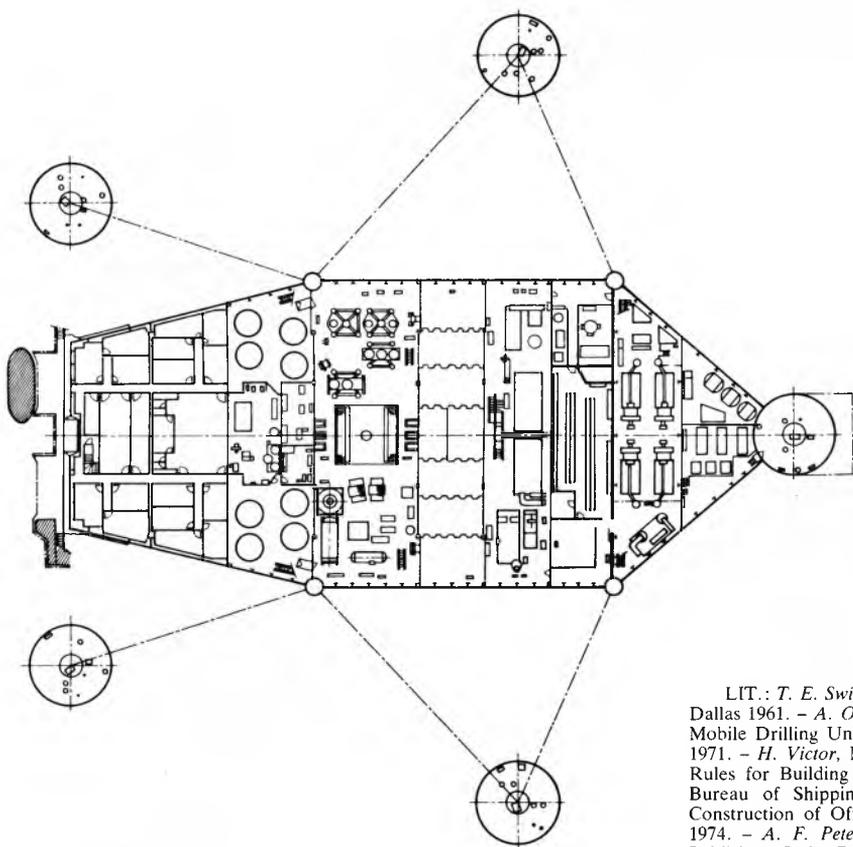
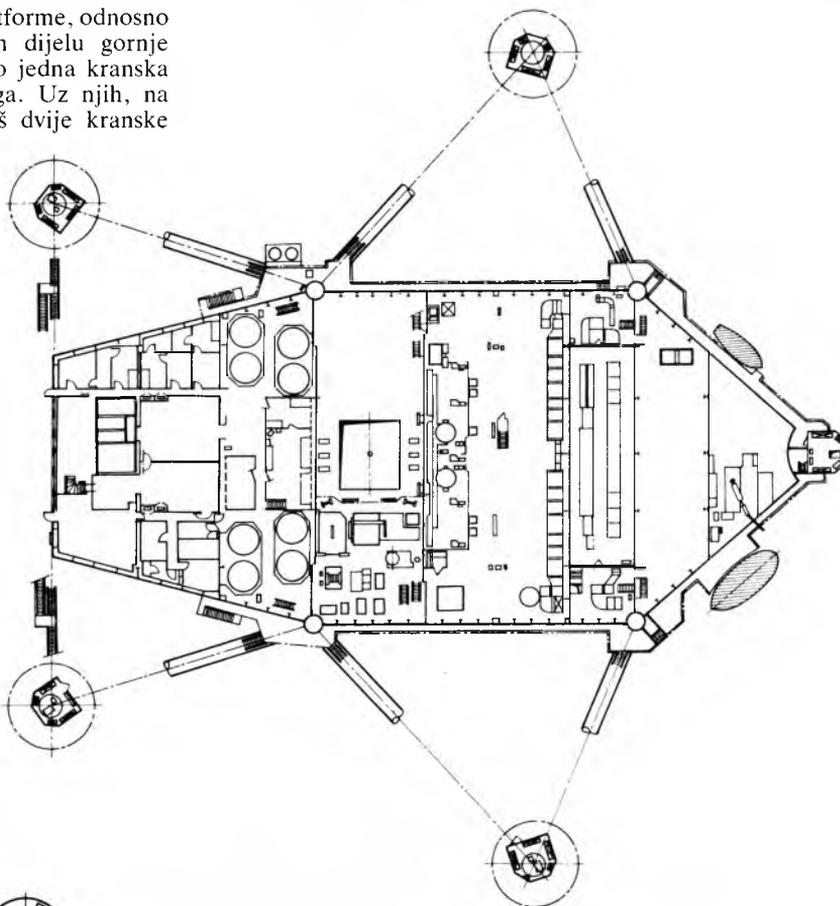


Sl. 50. Gornja paluba poluuronjene platforme Zagreb I

Stupovi su cilindričnog oblika, promjera 3,5 m i visine 27,4 m. Svaki je stup razdijeljen vodonepropusnim pregradama u 5 odvojenih prostorija smještenih jedna iznad druge. Prostorije služe za uskladištenje balastne, industrijske i pitke vode te za uskladištenje suhog potrošnog materijala. Konstrukcija platforme sastoji se od spleta cijevnih vodoravnih razupora i dijagonalnih podupora, različitih dimenzija i promjera. Trup je platforme poprečnim vodonepropusnim pregradama podijeljen na 9 prostorija, a sastoji se od gornje (sl. 50), srednje (sl. 51) i donje palube (sl. 52). Komandni most sa svim uređajima i instrumentima potrebnim pri

tegljenju platforme smješten je na pramcu platforme, odnosno na vrhu pramčanog stupa. Na pramčanom dijelu gornje palube sa svake njene strane ugrađena je po jedna kranska dizalica dovoljno velikog kapaciteta i dosega. Uz njih, na vrhovima stražnjih stupova, ugrađene su još dvije kranske

Sl. 51. Srednja paluba poluuronjene platforme Zagreb I



Sl. 52. Donja paluba poluuronjene platforme Zagreb I

dizalice. Platforma je opremljena uređajima za ispitivanje, bakljama za spaljivanje nafte i plina, sidreno-priteznim sustavom i sustavom za kompenzaciju okomitih pomaka platforme.

LIT.: T. E. Swigart, History of Petroleum Engineering. Boyd Printing Co., Dallas 1961. – A. O. Bell, R. C. Walker, Stresses Experienced by an Offshore Mobile Drilling Unit. Proceeding Offshore Technology Conference, Houston 1971. – H. Victor, Meerestechnologie. Verlag Karl Tiemig, München 1973. – Rules for Building and Classing Offshore Mobile Drilling Units. American Bureau of Shipping, New York 1973. – Guidance on the Design and Construction of Offshore Installations. UK Department of Energy, London 1974. – A. F. Peters, Impact of Offshore Oil Operations. Applied Science Publishers Ltd., Barking 1975. – M. J. Morgan, Dynamic Positioning of Offshore Vessels. The Petroleum Publishing Co., Tulsa 1978. – Code for the Construction and Equipment of Mobile Offshore Drilling Units. International Maritime Organisation, London 1980. – Guidelines for the Specification and Operation of Dynamically Positioned Drilling Vessels. UK Department of Energy, London 1983.

F. Marochini B. Omrčen