

Alicja Mrozowska
Akademia Marynarki Wojennej

ORGANIZACJA PRACY PRZY WYDOBYCIU SUROWCÓW ENERGETYCZNYCH SPOD DNA MORSKIEGO

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono organizację pracy przy wydobywaniu surowców energetycznych spod dna morskiego, pokazując, jak szerokie jest spektrum prowadzonych prac dla zapewnienia prawidłowej eksploatacji złóż podmorskich. Wyszczególniono również infrastrukturę wykorzystywaną podczas tych działań. Scharakteryzowane zostało środowisko morskie jako determinant działalności na polu eksploatacyjnym.

Słowa kluczowe:

organizacja pracy na polu eksploatacyjnym, surowce energetyczne, infrastruktura pracująca na polu eksploatacyjnym, środowisko morskie.

WSTĘP

Wydobywanie surowca energetycznego¹ z dna morskiego jest jedną z najbardziej skomplikowanych metod jego pozyskiwania, ze względu na umiejscowienie złóż. Wydobywanie wiąże się z szeregiem operacji obarczonych wysokim stopniem ryzyka, zaistnienia niebezpiecznego zdarzenia oraz narażone jest na oddziaływanie niszczycielskiej siły morskiego żywiołu. Powoduje to konieczność wprowadzenia adekwatnej do panujących warunków organizacji pracy na wyznaczonym obszarze morskim, tak aby w pełni wykorzystać znajdujące się w dnie zasoby, przystosować się do panujących warunków zewnętrznych oraz przygotować na wystąpienie niebezpiecznych zdarzeń. Przyczyniło się to także do budowy specjalistycznych jednostek i urządzeń, które mogą być eksploatowane w trudnych warunkach morskich.

¹ Surowce energetyczne: ropa naftowa i gaz ziemny.

ŚRODOWISKO MORSKIE

Warunki hydrometeorologiczne występujące na danym akwenu są jednym z czynników eksploatacyjnych determinujących organizację pracy dla pozyskiwania surowców energetycznych i zagospodarowania złóż. Analiza pod względem występujących prądów morskich, pływów, falowania, kierunku i siły wiatru, a także głębokości akwenu i ukształtowania jego dna pozwala przygotować się na długotrwałe eksploataowanie złoża podmorskiego przy zmiennych warunkach zewnętrznych. Należy zaznaczyć, że każda jednostka i urządzenie ma optymalne warunki, w jakich może pracować i zgodnie z tymi wytycznymi jest eksploatowana. W zależności od akwenu, na jakim działa, spełnia określone warunki i jest dopuszczana do prac przez towarzystwo klasyfikacyjne. Obecnie projektanci prześcigają się w nowatorskich rozwiązaniach konstrukcyjnych oraz wyposażenia pływających i stałych jednostek górnictwa morskiego, a także urządzeń, które zapewniałyby jak najlepszą pracę w zmiennych warunkach hydrometeorologicznych oraz na bieżąco monitorowały warunki zewnętrzne.

Platformy, instalacje podwodne i nawodne oraz ich wyposażenie muszą być tak skonstruowane, aby stale przeciwstawiać się zagrożeniom wynikającym z panujących warunków zewnętrznych, takich jak falowanie, wiatr, prądy morskie czy zalodzenie. Ma to istotne znaczenie szczególnie w przypadku zachodzących obecnie zmian klimatycznych oraz występujących gwałtownych zmian warunków meteorologicznych. Na obszarach morskich, takich jak rejon Alaski (Zatoka Cooka), Morze Arktyczne (przyładek Barrow, Cieśnina Melville'a), Morze Północne, platformy narażone są na działanie nie tylko wiatrów sztormowych, ale także naporu lodu na ich konstrukcje, w związku z tym są one odpowiednio wzmacniane.

Ekstremalne warunki, takie jak silne sztormowe wiatry czy huragany, doprowadzają często do uszkodzenia konstrukcji lub nawet do jej całkowitego zniszczenia. Falowanie wody i napór wiatru powodują obciążenie konstrukcji platformy momentami przechyłającymi i drganiami. Gwałtowne uderzenia fali mogą wywołać uszkodzenia poszycia platformy i zagrozić jej stateczności. Ważne jest, aby platforma posadowiona była na odpowiednim gruncie, na którym nie będzie mogła się przemieszczać pod naporem wiatru i fali. Podwodna część platformy narażona jest na działanie prądów morskich oraz zawirowań wody. Na jej nogi działa ogromne ciśnienie hydrostatyczne, które może sumować się z oddziaływaniem fali i prądów morskich i być przyczyną ich uszkodzenia.

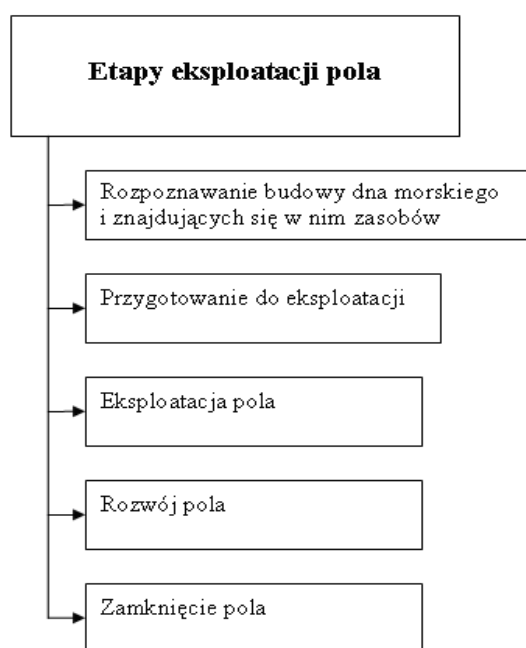
W środowisku morskim panują zmienne i często nieprzewidywalne warunki. W związku z tym eksploatacja surowców energetycznych z dna morskiego narażona jest na oddziaływanie niszczycielskiej siły morskiego żywiołu. W przypadku niedostosowania się do panujących warunków na danym akwenu lub wystąpieniu długotrwałego

niekorzystnego ich oddziaływania uszkodzeniu mogą ulec instalacje wydobywcze, produkcyjne oraz urządzenia. W wyniku tego rodzaju awarii może dojść do przerwania prac, a także zanieczyszczenia środowiska naturalnego, a przede wszystkim może to stanowić zagrożenie dla życia i zdrowia ludzi.

Ważne, aby statki obsługujące instalacje wydobywcze przystosowane były do pracy w zmiennych i często ekstremalnych warunkach morskich, tak by można je w bezpieczny sposób eksploatować, obsługiwać infrastrukturę znajdującą się na polu eksploatacyjnym oraz w razie konieczności udzielać natychmiastowej pomocy.

ETAPY EKSPLOATACJI

Odpowiednia organizacja pracy na polu eksploatacyjnym jest zbiorem aspektów środowiskowych, czynników bezpieczeństwa, technicznych oraz ekonomicznych. Ich połączenie zapewnia prawidłowy przebieg, bezpieczeństwo prowadzenia prac od momentu rozpoznawania dna morskiego do zamknięcia eksploatacji na danym akwenu, a także zabezpieczenia na wypadek wystąpienia niebezpiecznego zdarzenia. Praca na polu eksploatacyjnym, odbywa się w kolejno po sobie następujących etapach (schemat 1.).



Schemat 1. Etapy organizacji pracy na polu eksploatacyjnym

Źródło: opracowanie własne.

Rozpoznawanie budowy dna morskiego

Pierwszym etapem jest rozpoznawanie budowy dna morskiego i znajdujących się w nim zasobów energetycznych poprzez badanie geologiczne dna morskiego. Jest to długotrwały proces, który pozwala szczegółowo określić między innymi: strukturę dna, nagromadzenie i umiejscowienie zasobów, możliwości wykonania próbnych odwiertów czy wydobywania na powierzchnię paliw kopalnych. Analiza budowy dna morskiego odbywa się za pomocą specjalistycznych statków badawczych, które wyposażone są w urządzenia pozwalające na badanie warstwy podpowierzchniowej dna morskiego: struktury skalnej, głębokości położenia i wielkości złoża, zawartości i jakości węglowodorów energetycznych, określenia przewidywanego czasu eksploatacji złoża, możliwości wykonania próbnych odwiertów, pobierania próbek i innych prac. Pomiary dna zbierane są za pomocą kabli, tzw. strimerów, z wbudowanymi hydrofonami², które mogą być holowane za statkiem, układane na dnie morza, zakotwiczone w dnie, wleczone po dnie, a także za pomocą urządzeń rozmieszczonych na dnie.

Aby poznać strukturę dna morskiego, stosowane są różne metody badań. Najstarszą jest metoda wykorzystująca fale sejsmiczne³, jednak gromadzone tą techniką dane są mało dokładne. Obecnie stosuje się sejsmikę refleksyjną⁴. Do badania dna wykorzystywane mogą być również inne metody: akustyczna, elektromagnetyczna, sejsmoakustyczna, magnetometryczne, poprzez pracę bezpośrednio na dnie pojazdu podwodnego i zbieranie przez niego informacji, a także techniki 2D⁵, 3D⁶ oraz 4D⁷.

Na miejsce występowania złóż surowców wprowadzane mogą być statki wiertnicze lub ruchome platformy, z których wykonywane są próbne odwierty. Próbkę poddawane są badaniom, w wyniku których podejmowane są decyzje o możliwościach wydobywczych i ich opłacalności. W efekcie korzystnego rachunku ekonomicznego podejmowane są decyzje o zagospodarowaniu złoża i jego dalszym rozwoju oraz omawiane są aspekty zapewnienia bezpieczeństwa podczas prowadzonych prac.

² Strimery — specjalnej konstrukcji kable, które dzięki swojej naturalnej pływalności holowane mogą być za statkiem. Mają wbudowane urządzenia — hydrofony, które odbierają fale akustyczne odbite od struktur dna morskiego. Zob. J. Cydejko, J. Puchalski, G. Rutkowski, *Statki i technologie off-shore w zarysie*, Wydawnictwo Trademar, Gdynia 2011, s. 43.

³ Fale sejsmiczne — sztucznie wywołane fale, takie jak powstają w wyniku trzęsień ziemi. Dzięki czasowi i amplitudzie rozchodzenia się fal można określić struktury geologiczne dna morskiego.

⁴ Sejsmika refleksyjna polega na wykorzystaniu sztucznie wytworzonych wstrząsów, które generują fale akustyczne i odbijają się od dna morskiego. Analiza zgromadzonych w ten sposób danych pozwala na poznanie budowy geologicznej dna oraz jego interpretację.

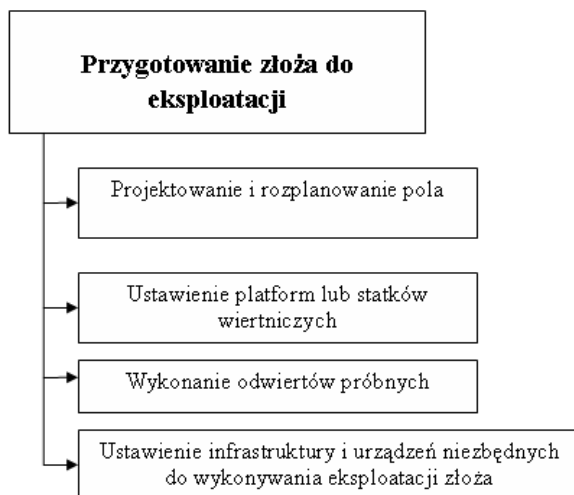
⁵ 2D — bada pionowe przekroje dna podczas kolejnego przejścia statku.

⁶ 3D — bada pionowe przekroje podczas jednego przejścia statku.

⁷ 4D — uwzględniała zmiany w złożach z upływem czasu, podczas jego eksploatacji.

Przygotowanie pola do eksploatacji

Jeśli zgromadzone informacje potwierdzą techniczne oraz ekonomiczne możliwości pozyskania surowców energetycznych z dna morskiego, rozpoczyna się drugi etap, w którym podejmowane są działania przygotowawcze pola do eksploatacji. Jest to kompleks działań, w których następuje dalsza analiza zgromadzonych danych, mająca na celu przygotowanie i prawidłowe zagospodarowanie pola pod względem rozmieszczenia, posadowienia i doboru odpowiednich instalacji wiertniczych, wydobywczych, produkcyjnych i przesyłowych. Zbiór związanych z tym podstawowych czynności przedstawia schemat 2.



Schemat 2. Czynności wykonywane podczas przygotowania złoża

Źródło: opracowanie własne.

Podczas wykonywania czynności przygotowawczych pola do eksploatacji uszczegółowione są między innymi:

- warunki hydrometeorologiczne;
- głębokość, ukształtowanie i rodzaj dna morskiego;
- wielkość złoża i rodzaj znajdujących się w nim surowców;
- przewidziany czas eksploatacji złoża;
- dopuszczalne obciążenia dna morskiego w celu bezpiecznego posadowienia instalacji stałych;
- możliwość budowy instalacji podwodnej oraz nawodnej;
- zastosowanie technologii pozyskiwania surowca z dna morskiego;
- koszty eksploatacji.

Następnie w wyznaczone miejsce wprowadzane są odpowiednie jednostki, instalacje i urządzenia wydobywcze, produkcyjne oraz przesyłowe. Z zainstalowanych platform lub zakotwiczonych statków wykonywane mogą być wiercenia próbne i/lub eksploatacyjne.

Prace wiertnicze wymagają zastosowania odpowiednich urządzeń, technologii przystosowanej do pracy w środowisku morskim, a następnie w strukturze dna morskiego oraz czujników pomiarowych. Przewód wiertniczy, na końcu którego znajduje się świder, umieszczony jest w kolumnie rynnowej (riser). Instalowane są w niej urządzenia pomiarowe oraz przechodzi przez nie płuczka wiertnicza⁸. Wiercenie odbywa się poprzez obracanie świda w otworze, podnoszenie i opuszczanie rur z odwiertu oraz cyrkulację płynów pomiędzy platformą a dnem odwiertu. Końcowym etapem zakończenia wiercenia jest zagłowiczenie odwiertu. W skład instalacji wiertniczej na platformie wchodzi między innymi: maszt wiertniczy⁹, wyciąg wiertniczy¹⁰, stół wiertniczy¹¹, wielokrążki (dolny i górny), hak wyciągowy¹², urządzenia kompensujące ruchy jednostki¹³, bloki głowic przeciwwybuchowych oraz inne urządzenia. Obecnie w morskich wierceniach często używa się tzw. turbowiertów. To turbina zasilana płuczką, umiejscowiona bezpośrednio nad świdrem. Dzięki temu obraca się tylko świder, rury płuczkowe są nieruchome. Ogranicza się przez to stosowanie stołu wiertniczego.

Wykonywany odwiert może przebiegać pionowo w dół oraz kierunkowo. Odwierty kierunkowe w pierwszej kolejności biegają pionowo w dół, a następnie za pomocą odpowiednich narzędzi wiertniczych i rur przegubowych odchylane są od pionu nawet o osiemdziesiąt stopni i na pewnym etapie wiercenia mogą przechodzić poziomo. Pozwala to na dotarcie do dalej położonych zbiorników gazu lub ropy, które nie znajdują się bezpośrednio pod platformą, a także mogą poprawić wydajność złoża. Jest to opłacalne, ponieważ z jednego odwiertu może biec kilka odgałęzień,

⁸ Płuczka wiertnicza jest to najczęściej mieszanina wody i bentonitu oraz różne inne składniki (np. baryt, który stosowany jest w tzw. płuczках ciężkich). Nie wszystkie składniki rozpuszczają się w wodzie. Płuczki ciekłe można zaliczyć częściowo do zawiesin, a częściowo do roztworów koloidalnych.

⁹ Maszt wiertniczy służy między innymi do opuszczania przewodu wiertniczego i jego podtrzymywania.

¹⁰ Wyciąg wiertniczy utrzymuje przewód wiertniczy podczas wiercenia, reguluje nacisk osiowy świda, nadaje prędkość obrotową stołowi wiertniczemu.

¹¹ Stół wiertniczy nadaje ruch obrotowy przewodowi wiertniczemu oraz służy do zapuszczania i wyciągania rur wiertniczych.

¹² Hak wyciągowy służy do opuszczania i wyciągania rur okładzinowych oraz ich uszczelniania.

¹³ Urządzenia kompensujące ruchy jednostki pozycjonują jednostkę nad odwiertem, zapewniają stały nacisk świda, odpowiadają za opuszczanie i wyciąganie głowic przeciwwybuchowych.

umożliwiają dotarcie do różnych części złoża, tzw. kieszeni złożowych, w których zgromadziła się ropa lub gaz z jednego odwiertu.

Podczas przedstawiania prac wiertniczych należy podkreślić, że zagrożeniem w trakcie prowadzenia wiercenia jest erupcja¹⁴. W jej wyniku może dojść do przerwania prac, zniszczenia instalacji podwodnej oraz nawodnej, powstania pożaru, Postęp technologiczny i prowadzone badania oraz pomiary wiercenia zabezpieczają przed tego typu zdarzeniami. Przed wykonywaniem wiercenia na wylocie otworu instalowane są odpowiednie zabezpieczenia przeciwerupcyjne¹⁵ — montowany jest zestaw głowic przeciwerupcyjnych. Ich zadaniem jest między innymi: zamknięcie na wyjściu wypływu z odwiertu, zatłaczanie płynów do obróbki odwiertu produkcyjnego, kontrolowanie odprowadzania płynu złożowego, monitorowanie ciśnienia w odwiercie, przewidywanie gwałtownych ruchów płynu w złożu, awaryjne zatłaczanie odwiertu w czasie erupcji, a także zapewnienie obiegu płuczki wiertniczej przy zamkniętym otworze przeciwerupcyjnym.

Eksploracja pola

Faza eksploatacji jest kolejnym etapem organizacji pracy na polu eksploatacyjnym. Rozpoczyna się rozruchem znajdującej się na polu infrastruktury wraz z wyposażeniem. W tym czasie odbywa się ciągły monitoring pracy urządzeń, który ma zapewnić bezpieczne wydobywanie ropy, gazu lub ich mieszanki, wstępne rozdzielanie (jeśli to przewidziano) i przesył do magazynów (umieszczonych na wodzie lub pod wodą) albo do odbiorcy. Przebiega to z należytą uwagą i testowym (próbny) przesyłem surowca. Jeśli wszystko jest zgodne z założeniami, następuje faza produkcji.

Do jednej platformy produkcyjnej może być podłączonych kilka, a nawet kilkadziesiąt różnego rodzaju odwiertów znajdujących się w znacznej odległości (nawet kilka kilometrów). Połączone są one z platformą za pomocą rurociągów, manifoldów i riserów. Z odwiertów ropa i gaz pod wpływem ciśnienia złożowego przepływa na platformę, gdzie odbywa się rozdzielanie i przesył do magazynu na polu eksploatacyjnym, a z niego dalej statkiem lub rurociągiem do terminalu przeładunkowego na lądzie. Wydobyta ropa charakteryzuje się dużą ilością rozpuszczonych

¹⁴ Erupcja jest to niekontrolowany wybuch gazu, ropy lub ich mieszaniny ze złoża. Ma miejsce w wyniku trafienia wiertła w znajdujący się w złożu pod znacznym ciśnieniem gaz i ropę lub w umieszczony płytko zbiornik, w którym nagromadził się gaz ziemny.

¹⁵ Zabezpieczenie wylotu otworu ma mieć taką wytrzymałość, aby przewyższało ciśnienie od przewidywanego ciśnienia głowicowego. Poniżej dna morskiego montowany jest w otworze wglębny zawór bezpieczeństwa, który ma możliwość zamknięcia wypływu węglowodoru ze złoża, np. w wyniku awarii, uszkodzenia instalacji wydobywczej, panujących niekorzystnych warunków hydrometeorologicznych.

w niej gazów, zanieczyszczona jest wodą i ciałami stałymi, dlatego poddawana jest odgazowaniu i oczyszczaniu z zawartej w niej wody i ciał stałych. Niezbędny do prawidłowego przebiegu eksploatacji jest system kontroli pracy urządzeń, systemy ostrzegawcze w przypadku awarii, a także ekonomiczna i zrównoważona eksploatacja pola. Na platformach oraz statkach pracujących na polu instalowane są urządzenia monitorujące bezpieczeństwo pracy oraz zabezpieczające i ostrzegające przed nieupoważnionym dostępem osób trzecich. Są to między innymi:

- urządzenia monitorujące prace;
- kamery instalowane wewnątrz jednostki oraz na zewnątrz wraz z przekaźnikiem do pomieszczenia, w którym stale przebywa osoba kontrolująca ich obraz;
- kontraktony, których uruchomienie poprzez otwarcie drzwi włącza alarm;
- sygnalizacja świetlna: lampy;
- sygnalizacja akustyczna: dzwonki uruchamiane po wejściu do strefy zakazanej;
- wyposażenie nawigacyjne, jak radary, mapy elektroniczne, systemy wymiany informacji bezpieczeństwa żeglugi, które dzięki zobrazowaniu podają sytuację na zewnątrz jednostki oraz podają komunikaty ostrzegawcze o ewentualnym zagrożeniu.

Urządzenia te nie tylko pozwalają na zbieranie informacji o sytuacji zewnętrznej, ostrzegającej przed zbliżającym się niebezpieczeństwem, np. wpłynięciu innego statku w strefę działalności wydobywczej, ale również zapewniają ciągłą kontrolę i bezpieczeństwo pracy na jednostkach. Odbiorniki urządzeń znajdują się w miejscach, w których pełnione są całodobowe wachty i wyznaczeni członkowie załogi śledzą ich obraz, tak aby szybko podjąć odpowiednie działania.

Obszar prowadzonej eksploracji dna morskiego jest zamknięty dla żeglugi. Jest on odpowiednio oznakowany. Na mapach nawigacyjnych nanoszone są poprawki dotyczące prowadzonej działalności na obszarach morskich. W strefę bezpieczeństwa mogą wpływać statki obsługujące znajdującą się na nim infrastrukturę po uzyskaniu wcześniejszej zgody przez koordynatora pola eksploatacyjnego lub inną upoważnioną osobę.

Dla zapewnienia bezpieczeństwa instalacjom znajdującym się na polu eksploatacyjnym stały dozór pełni statek pogotowia (lub statki, w zależności od wielkości pola i znajdujących się na nim jednostek), który ma obowiązek w przypadku wystąpienia niebezpiecznego zdarzenia natychmiast podjąć odpowiednie działania.

Rozwój eksploatowanego pola

Czwartym etapem jest rozwój eksploatowanego pola. Stosowane są różnego rodzaju innowacyjne technologie mające poprawić sprawność eksploatacji złoża, jego wydajność i opłacalności inwestycji, względnie umożliwić pozyskanie większej

ilości surowca. Wprowadzone mogą zostać nowe instalacje i urządzenia. Przeprowadzane są kolejne odwierty produkcyjne, a także wykonane rekonstrukcje odwierców już istniejących i inne zróżnicowane prace interwencyjne.

W celu dalszego rozwoju i utrzymania sprawności wydobywczej oraz produkcyjnej przeprowadzane są okresowe przeglądy instalacji, naprawy, przebudowy istniejących urządzeń oraz wszelkie prace interwencyjne. Wykonywane są one przez specjalistyczne statki lub platformy, zgodnie z zatwierdzonym harmonogramem.

Ważnym elementem prawidłowego funkcjonowania pola eksploatacyjnego jest zapewnienie odpowiedniego zaplecza lądowego. Jest ono niezbędne dla przygotowania potrzebnego sprzętu, urządzeń, materiałów i innych elementów wyposażenia. Zaplecze lądowe ma infrastrukturę do składowania i przeładowywania ładunków przeznaczonych do pracy na polu. Obsługiwane jest przez kompetentny personel przygotowany do działania w normalnych warunkach eksploatacyjnych oraz w nagłych sytuacjach. Współpraca pomiędzy zapleczem lądowym a polem eksploatacyjnym ma szczególne znaczenie w przypadku wystąpienia zagrożenia, między innymi rozlewu olejowego, pożaru, wybuchu, nagłych awarii i konieczności przeprowadzenia szybkich napraw. W takiej sytuacji personel na lądzie jest w stanie szybko i sprawnie działać, przygotować niezbędny sprzęt oraz udać się w wyznaczone miejsce. Jest również łącznikiem pomiędzy instytucjami współpracującymi oraz służbami ratowniczymi, które podejmują działania podczas niebezpiecznych zdarzeń.

Zamknięcie pola

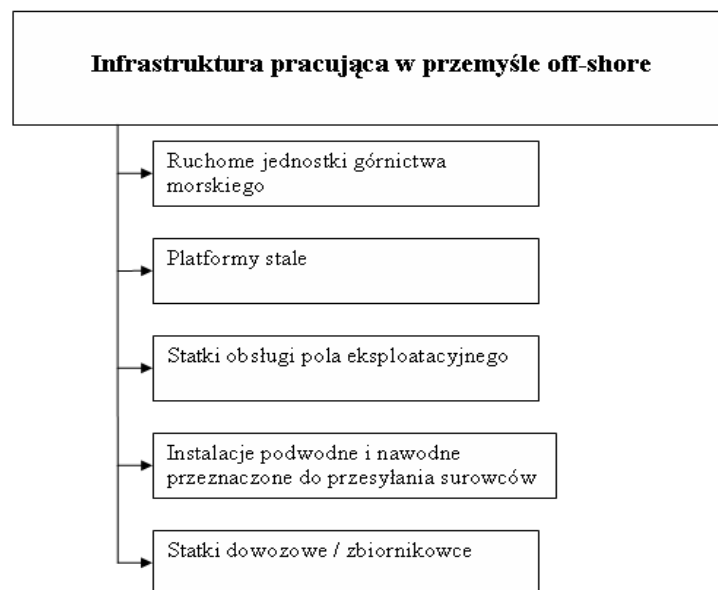
Po wyczerpaniu się złoża lub przy braku ekonomicznego uzasadnienia dalszego wydobycia następuje likwidacja odwiertu i jego zabezpieczenie, zgodnie z obowiązującymi regulacjami prawnymi. Usuwane są instalacje, konstrukcje stałe wraz z wyposażeniem (lub zabezpiecza się je przed uszkodzeniem) i pole zostaje zamknięte. O zakończeniu eksploatacji powiadamiane są wyznaczone instytucje. Na mapie nawigacyjnej nanoszone są stosowne poprawki.

INFRASTRUKTURA WYDOBYWCZA

Rozwój prac poszukiwawczo-wydobywczych na obszarach morskich przyczynił się do budowy różnego typu jednostek przystosowanych do pracy w tak zwanym przemyśle off-shore¹⁶. Nowe rozwiązania w konstrukcji i wyposażeniu spowodowały

¹⁶ Zdefiniowanie przemysłu off-shore (ang. *off-shore* — przybrzeżny) i wyjaśnienie go w języku polskim jest skomplikowane, ponieważ samo tłumaczenie słowa nie oddaje w pełni jego

powstanie ogromnej liczby specjalistycznych statków, platform oraz instalacji przygotowanych do wykonania danego zadania. W zależności od etapu organizacji pracy na polu eksploatacyjnym, wprowadzane są odpowiednie jednostki. Schemat 3. przedstawia zbiór głównych typów infrastruktury pracującej w morskich kopalniach górniczych.



Schemat 3. Infrastruktura stała i pływająca wykorzystywane w przemyśle off-shore

Źródło: opracowanie własne.

Pływające jednostki górnictwa morskiego

Pływające jednostki górnictwa morskiego (*Mobile Off-shore Drilling Units* — MODU) stanowią ogromną różnorodną grupę instalacji (schemat 4.) przeznaczonych do:

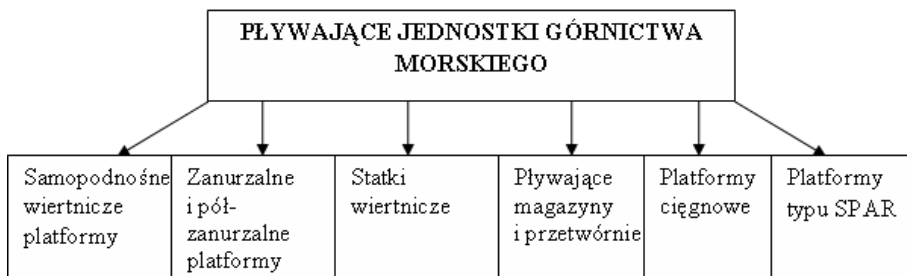
- wykonywania odwiertów próbnych i eksploatacyjnych;
- wstępnej obróbki wydobytego surowca¹⁷;

znaczenia. W rzeczywistości instalacje wchodzące w skład infrastruktury pola eksploatacyjnego znajdują się często w znacznym oddaleniu od brzegu, sięgając kilkuset mil morskich w głąb morza. Polskie Towarzystwo Klasyfikacyjne stosuje określenie górnictwo morskie. Stosowane są również inne: morskie kopalnie górnicze, morski przemysł wydobywczy, morskie kopanie surowców energetycznych. Przemysł off-shore obejmuje całokształt działań, zagadnień i infrastruktury (instalacje wydobywcze i produkcyjne i statki służące do ich obsługi) wykorzystywanej w celu pozyskania surowców energetycznych z dna morskiego, tj. poszukiwanie, wydobywanie, produkcję, eksploatację.

¹⁷ Wstępna obróbka wydobytego surowca, która polega na oddzieleniu ropy, gazu, wody oraz cząstek stałych od siebie i ich przesył do instalacji magazynowej lub przetwórczej.

- magazynowania wydobytych i przetworzonych węglowodorów energetycznych;
- przesyłu węglowodorów na inną instalację lub do terminalu przeładunkowego na lądzie.

Ich cechą charakterystyczną jest konstrukcja pozwalająca na przemieszczanie się z jednego miejsca prowadzenia prac na drugie, samodzielnie lub za pomocą holownika.



Schemat 4. Pływające jednostki górnictwa morskiego

Źródło: opracowanie własne.

Samopodnośne platformy wiertnicze

Samopodnośne platformy wiertnicze (*Self-elevating Jack-up Rigs*) stosowane są najczęściej na głębokościach wody od około 100 do 150 metrów. Wykorzystywane są do wykonywania odwiertów oraz różnego rodzaju prac podwodnych, naprawczych i rekonstrukcyjnych. Należą do grupy ruchomych jednostek górnictwa morskiego, które nie mają własnego napędu i muszą być holowane na miejsce przy użyciu holowników lub statków typu AHTS (*Ancore Handling Tug Supply*). Ponton (kadłub) platformy ma wystarczającą wyporność, aby platforma mogła być holowana na miejsce prowadzenia prac.

Na pontonie zainstalowane są pokłady platformy wraz poszczególnymi sekcjami: mieszkalną, biurową, wiertniczą, eksploatacyjną, maszynownią wraz z urządzeniami kontrolnymi zapewniającymi prawidłowy i bezpieczny przebieg prac.

Wieża wiertnicza może znajdować się na podnośniku i wychodzić poza obręb platformy lub znajdować się wewnątrz platformy, tzn. w jej wycięciu, które umożliwi przesuwanie wieży wiertniczej w lewo i w prawo albo w przód i w tył. Jedno i drugie rozwiązanie zapewnia wykonywanie prac przy innej instalacji oraz wiercenia w różnych punktach, w zależności od możliwości przesuwania wieży.

Pomieszczenia mieszkalne i biurowe wraz z systemem ewakuacji oraz z lądowiskiem dla śmigłowców umożliwiającym szybką ewakuację w przypadku zagrożenia znajdują się w drugiej części platformy.

Zanurzalne i półzanurzalne platformy

Platformy zanurzalne (*Submersible Rigs*) wykonują wiercenia na głębokościach sięgających do kilkudziesięciu metrów. W obecnie prowadzonych pracach wiertniczych nie są powszechnie stosowane ze względu na techniczne ograniczenia głębokości wody oraz wykonywanie odwiertów.

Półzanurzalne platformy (*Semi-submersible Rigs*) stosowane są do wierceń zarówno na wodach głębokich, do 2000, a nawet 3000 metrów, jak i na wodach płytszych, sięgających 300 metrów. Mogą wykonywać wiercenia na głębokościach dochodzących do 10 tysięcy metrów. W zależności od głębokości, utrzymanie na wyznaczonej pozycji zapewnia optymalny system pozycjonowania. Platformy wyposażone są w system dynamicznego pozycjonowania (*Dynamic Positioning System*¹⁸) i/lub w zestaw kotwic, które utrzymują platformę na odpowiedniej pozycji podczas wykonywania odwiertu. Wyposażone mogą być we własny napęd i rozwijając prędkość do sześciu węzłów, co ułatwia ich przemieszczanie z jednego odwiertu do drugiego, ale także mogą być holowane na miejsce wiercenia. Podobnie jak na kadłubie platformy samopodnośnej, zainstalowane są na niej poszczególne sekcje produkcyjne.

Platformy półzanurzalne mogą być wykorzystywane do wykonywania zadań: wiertniczych, produkcyjnych, magazynowo-produkcyjnych oraz jako statki do wykonywania konstrukcji podwodnych. Są bardziej stabilne od statków wiertniczych, co ma szczególne znaczenie dla prac prowadzonych na wzburzonym morzu.

Statki wiertnicze

Statki wiertnicze (*Drill Ship*) przeznaczone są do wykonywania wierceń w dnie morskim na głębokościach przekraczających nawet 10 tysięcy metrów przy głębokości wody dochodzącej do 4000 metrów. Dzięki własnemu systemowi napędowemu mogą przemieszczać się samodzielnie na wyznaczoną odległość z maksymalną prędkością dochodzącą do około 12–14 węzłów na odległość kilku albo kilkunastu tysięcy mil, w zależności od miejsca prowadzenia prac.

Wyznaczoną pozycję do wiercenia utrzymuje się za pomocą systemu dynamicznego pozycjonowania statku. Podczas wykonywania wiercenia na głębokościach

¹⁸ DP — na dziobie, śródokręciu i rufie znajdują się stery strumieniowe (*thruster*), które za pomocą urządzeń mierzących siłę, kierunek wiatru i fali kompensują ruchy wywołane działaniem czynników zewnętrznych. W systemach DP stosowane są również pędniki azymutalne. Automatycznie utrzymują statek na pozycji. Instalowane są też systemy DP-2 i DP-3, których zdublowane urządzenia eliminują powstawanie ewentualnych błędów.

mniejszych, rzędu kilkuset metrów (200 m), statek może zostać zakotwiczony przy użyciu od sześciu do dwunastu kotwic i za pomocą nich utrzymywany w wyznaczonym miejscu. Na statku zainstalowane są specjalistyczne urządzenia wiertnicze, kontrolne i sterujące, magazyny płuczki wiertniczej i system jej cyrkulacji, laboratoria oraz wydzielone jest miejsce na instalowanie głowicy przeciwybuchowej. Znajdują się również systemy kotwiczenia statku, przeładunkowe, pomieszczenia maszynowe, mieszkalne, mostek nawigacyjny oraz lądowisko dla śmigłowców.

Odwierty wykonywane są bezpośrednio ze statku. Najczęściej na śródkręciu statku wiertniczego wbudowana jest na wzmocnionym pokładzie wieża wiertnicza wraz z wyposażeniem (maszt podtrzymujący przewód wiertniczy i służący do podnoszenia i opuszczania elementów przewodu, stół wiertniczy — nadający ruch obrotowy przewodowi wiertniczemu, system podnoszenia wyciągu wiertniczego — podtrzymujący i regulujący nacisk świdra, urządzenia do przemieszczania przewodu wiertniczego względem odwiertu, urządzenia do przemieszczania rur, z miejscem na układanie rur wiertniczych).

Platformy ciągnowe

Platformy ciągnowe (*Tension Leg Platform*) wykorzystywane są jako produkcyjne oraz wydobywcze, z możliwością przesyłu na instalacje magazynowo-produkcyjne. Wyposażone mogą być w urządzenia do wykonywania wierceń i przeglądów odwiertów. Platformy ciągnowe należą do jednostek górnictwa morskiego, które utrzymywane są na właściwej pozycji za pomocą systemu cumowniczego i przystosowane do pracy na głębokościach wody dochodzących do 2000 metrów. Do umieszczonego na dnie fundamentu mocowane są również risery sztywne¹⁹. Platformy TLP pozycjonuje się za pomocą kilkunastu cięgien stalowych łączących platformy z pływami fundamentu. Z reguły układ kolumna nośna — płyta fundamentu połączony jest cięgnami w liczbie od trzech do sześciu. Przy pięciu kolumnach daje to

¹⁹ Risyry sztywne stosowane są na dużych głębokościach. Składają się z rur wykonanych ze specjalnego materiału (polichlorek winylu) odpornego na wysokie ciśnienie hydrostatyczne występujące na znacznych głębokościach. Układane są za pomocą specjalistycznych statków, na szpuli których nawinięte są zespawane ze sobą rury i w sposób naprężony montowane. Ruchy jednostki są dopuszczalne w granicach kilku procent, aby nie uszkodzić rajzerów. Służą do transportu węglowodorów, wody złożowej, materiałów produkcyjnych. Podczas prac wiertniczych rajzer jest przedłużeniem odwiertu, przechodzi przez głowicę przeciwybuchową oraz biegnie do platformy. Przechodzi także urządzenie wiertnicze. Oprócz rajzerów sztywnych stosowane są także rajzery elastyczne. Są łączone z rur elastycznych i wykorzystywane na niższych głębokościach, ze względu na słabszą wytrzymałość łączy oraz wyższą częstotliwość uszkodzeń w wyniku oddziaływania ciśnienia i temperatury.

co najmniej kilkanaście cięgien. Otwory produkcyjne połączone są z platformą riserami, którymi dostarczane są surowce energetyczne z odwiertu na platformę.

Kadłub platformy, czyli część nawodna całej konstrukcji, składa się z kilku pokładów, na których znajdują się poszczególne sekcje, w zależności od zadań: mieszkalna, biurowa, dział maszynowy, pokładowy, produkcyjny, wydobywczy oraz urządzenia niezbędne do pracy platformy, takie jak kompresory gazów, generatory awaryjne, pompy przeciwpożarowe, systemy wentylacji, grzewcze oraz elektryczne.

Platforma typu SPAR

Platformy tego typu mogą prowadzić zarówno wiercenia, jak i produkcję na głębokości wody do 3000 metrów. Do dna zamocowane są za pomocą poskręcanych ze sobą stalowych lin i łańcuchów, które są naprężone lub półnaprężone. Liczba lin zależy od wymiarów kadłuba części nawodnej i waha się w granicach od sześciu do dwudziestu. Liny są zakotwiczone przy użyciu pali zabetonowanych w dnie.

Instalacja narażona jest na ruchy wirowe, które kompensowane są przez spiralnie zamontowane wokół niej pasy blachy. W części nawodnej zainstalowany jest kadłub platformy wraz z urządzeniami produkcyjnymi, wydobywczymi, a także wiertniczymi.

Platformy typu Spar są głęboko zanurzalnymi pływającymi platformami o kształcie cylindrycznym, przypominającym ogromną boję. Dziewięćdziesiąt procent konstrukcji zanurzona jest podwodą i dzięki temu zachowuje się stabilnie nawet podczas huraganowych wiatrów²⁰.

Jednostki magazynowe, produkcyjne, magazynowo-produkcyjne i magazynowo-produkcyjno-wydobywcze

Jednostki wykorzystywane do magazynowania, przetwarzania, oczyszczania oraz przeładunku wydobytych węglowodorów z dna morskiego stanowią liczną i zróżnicowaną grupę instalacji w przemyśle off-shore. Ich zalety ekonomiczne, rozwiązania technologiczne oraz kwestie bezpieczeństwa są brane pod uwagę już na etapie zagospodarowania pola. Jednostki te mogą być budowane na kadłubie statków do przewozu ładunków płynnych oraz masowych, wyposażone w odpowiednie urządzenia produkcyjne, magazynowe i przeładunkowe, a także mogą być specjalnie do tego celu konstruowane.

²⁰ Platforma pod wpływem wiatru i falowania może minimalnie przesuwac się w poziomie.

Jednostki magazynowe, produkcyjne i magazynowo-produkcyjne mogą być wykorzystywane w zależności od wielkości pola oraz czasu jego eksploatacji. Charakteryzują się łatwością przemieszczania z miejsca na miejsce i są często tańsze w eksploatacji niż platformy ruchome bądź stałe. Mogą występować samodzielnie lub być zacumowane na dużych polach eksploatacyjnych, w pobliżu platform wydobywczych albo wydobywczo-produkcyjnych i połączone z nimi rurociągami podwodnymi. Mają specjalistyczny system cumowniczy pozwalający utrzymać jednostkę na pozycji, a także przeciwdziałać zmiennym warunkom hydrometeorologicznym. Ich konstrukcja zapewnia również stabilizację podczas oddziaływania wiatru i falowania. Mają podciętą rufę, zaokrąglony dziób bez gruszki dziobowej oraz podwyższony pokład dziobówki, tak by fale nie wdzierały się na pokład. Wyposażone są w urządzenia przeładunkowe, które pozwalają przetransportować zgromadzony ładunek na inną jednostkę.

Jednostki magazynowe (*Floating Storage Off-loading, Floating Storage Units* — FSO) są pływającymi magazynami niemającymi własnego napędu. W zbiornikach znajduje się przetworzona lub wstępnie oczyszczona ropa z platformy produkcyjnej lub wydobywczo-produkcyjnej.

Jednostki produkcyjne (*Floating Production System* — FPS) są przebudowanymi zbiornikowcami wyposażonymi w urządzenia przetwórcze takie jak na platformie produkcyjnej. Najczęściej wykorzystywane są na małych polach eksploatacyjnych lub na polu, na którym nie występuje odpowiednia infrastruktura rurociągową, zapewniając przesył wydobytego surowca na inną jednostkę. Mogą być także stosowane z powodu trudnej głębokości, ukształtowania akwenu, występujących gwałtownych zmian warunków meteorologicznych. FPS podłączone są do odwiertu lub kilku odwiertów, skąd pobierany jest surowiec ze złoża. Na pokładzie jednostki wydobyte węglowodory, ropa i gaz zostają rozdzielone i następnie przekazywane są na ląd lub instalację przeładunkową.

Najbardziej popularne są jednostki łączące funkcje magazynową, produkcyjną oraz przeładunkową (*Floating Production Storage and Off-loading System* — FPSO), które wyposażone są w urządzenia do przetwarzania i oczyszczania węglowodorów, ich magazynowania oraz cumowniczo-przeładunkowe.

Wydobyta ropa, gaz i woda razem z cząstkami stałymi (np. piasek) poddana zostaje oczyszczeniu i rozdzieleniu. Gaz, który wydobywany jest razem z ropą, może być wykorzystany do zasilania urządzeń znajdujących się na FPSO lub jest ponownie wprowadzany do złoża w celu poprawy jego wydajności (poprzez wzrost ciśnienia). Odpowiednio sprężony może być wysyłany rurociągiem do terminalu na lądzie lub spalany za pomocą flary na tzw. świeczce. Woda wraz z piaskiem po oczyszczeniu

(spełniająca wymagania ochrony środowiska morskiego) jest z powrotem odprowadzana do morza albo odpowiednio odpowietrzona i odfiltrowana może być wtryskiwana do złoża, by utrzymać w nim odpowiednie ciśnienie²¹. Ropa naftowa gromadzona jest w zbiornikach FPSO lub przesyłana do boi SBM (*Single Buoy Moring*), skąd przeładowywana jest na zbiornikowiec i transportowana do terminalu na lądzie.

Platformy stałe

Odrębną grupę stanowią platformy stałe (*Fixed Rigs*), które są jednostkami głównie produkcyjnymi, ale również mogą wykonywać wiercenia i magazynować wydobyty surowiec. Ze względu na wysoki koszt ich produkcji oraz posadowienia na dnie instalowane są na potwierdzonych źródłach węglowodorów, których eksploatacja będzie możliwa przez 20–30 lat, a także na których panują niekorzystne warunki hydrometeorologiczne. Mają najczęściej konstrukcję stalową lub betonowo-stalową, która jest specjalnie wzmocniana i odporna na oddziaływanie niekorzystnych czynników hydrometeorologicznych.

Platforma posadowiona może być bezpośrednio na dnie lub zostać zainstalowana na palach wbitych w dno. Ciężka betonowa konstrukcja platformy ze specjalnie odlewane go wzmocnianego betonu jest posadowiona w dnie pod wpływem swojego ciężaru. Lżejsze konstrukcje wspierane są na palach. Na pokładzie umieszczone są poszczególne sekcje:

1. Produkcyjna, w której odbywa się wstępna obróbka wydobytego surowca — oddzielenie wody i gazu od ropy i innych cząstek stałych, następnie oczyszczona ropa przesyłana jest do magazynu, który znajduje się poza platformą lub na niej. Gaz wykorzystywany jest do zasilania urządzeń na platformie i wtłaczany z powrotem do złoża w celu podniesienia w nim ciśnienia i polepszania warunków wydobywania surowców, przesyłany na inną jednostkę lub na ląd, a także spalany na flarze, natomiast woda po oczyszczeniu odprowadzana jest do morza.
2. Wieży wiertniczej, skąd wykonywane są odwierty.
3. Urządzeń płuczki, która jest wprowadzona do odwiertu w celu jego zabezpieczenia, schłodzenia wiertła, wypłukania zwiercin z dna i zapewnienia bezpieczeństwa podczas wydobywania.
4. Urządzeń maszynowych, pokładowych, grzewczych, wentylacyjnych, elektrycznych, generatorów prądotwórczych i innych.
5. Pomieszczeń mieszkalnych załogi, biurowych, kontrolnych i sterujących.
6. System ewakuacyjny, łodzi ratunkowych i lądowisko dla śmigłowców.

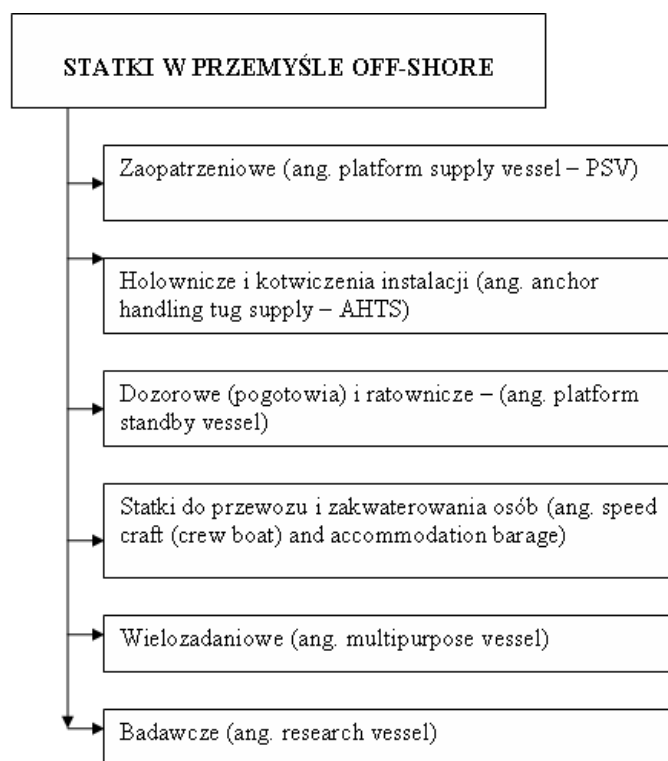
²¹J. Cydejko, J. Puchalski, G. Rutkowski, wyd. cyt., s. 306.

Statki pracujące przy obsłudze pola eksploatacyjnego

Różnorodna grupa statków umożliwia obsługę jednostek ruchomych i stałych. Schemat 5. przedstawia typy statków specjalizujących się w pracach off-shore. Wykorzystywane są one do wykonywania różnorodnych prac na polu eksploatacyjnym, tak aby mogły sprostać wymaganiom i wesprzeć rozrastającą się morską kopalnię górniczą. Oto, jakie pełnią funkcje:

- wykonywanie prac badawczych struktury dna morskiego;
- dostarczanie: urządzeń, zaopatrzenia, wyposażenia, niezbędnych materiałów dla instalacji znajdujących się na polu eksploatacyjnym;
- dozоровe oraz ratownicze, takie jak obserwacja innych statków poruszających się wokół strefy bezpieczeństwa, ostrzeganie o strefie zamkniętej dla żeglugi i niebezpieczeństwie związanym z ewentualną kolizją z instalacją, podejmowanie natychmiastowej interwencji w przypadku nieupoważnionego wplynięcia w strefę, podejmowanie działania w przypadku pożaru, rozlewu olejowego, wypadnięcia człowieka do wody, udzielenie pierwszej pomocy medycznej i schronienia poszkodowanemu w wyniku wypadku na instalacji lub platformie, koordynowanie akcji ratowniczej;
- wykonywanie prac naprawczych, instalacyjnych, remontowych, interwencyjnych lub pomoc w ich wykonywaniu;
- przeprowadzanie i wspieranie prac podwodnych z udziałem nurków i pojazdów podwodnych;
- wykonywanie prac holowniczych oraz kotwiczenia instalacji;
- układanie rurociągów i kabli podmorskich;
- wykonywanie konstrukcji nawodnych oraz podwodnych;
- przygotowywanie dna morskiego do posadowienia platformy lub instalacji: układanie fundamentów do zakotwiczenia instalacji, wykonywanie spawania podwodnego, instalowanie rajzerów i inne tego typu prace podwodne²²;
- asystowanie podczas układania podmorskiego kabla, rurociągu lub dzięki własnemu zamontowanemu wyposażeniu samodzielne wykonywanie tej czynności;
- przeprowadzanie wszelkich innych prac naprawczych, konserwacyjnych i interwencyjnych;
- inne, w zależności od potrzeb.

²² Mogą wykonywać wiele różnorodnych czynności dzięki swojemu wyposażeniu, a także dźwigom zainstalowanym na pokładzie.



Schemat 5. Najbardziej popularne typy statków przeznaczonych do pracy na polu eksploatacyjnym

Źródło: opracowanie własne.

Wymienione grupy statków oprócz ich podstawowego przeznaczenia mogą wykonywać inne zadania, np. statki zaopatrzeniowe mogą pełnić funkcje dozoru, uczestniczyć w akcjach ratowniczych i udzielać pomocy poszkodowanym. Po zainstalowaniu odpowiednich urządzeń mogą wykonywać funkcje serwisowe instalacji/platform.

Instalacje wydobywcze i produkcyjne znajdujące się na polu eksploatacyjnym połączone są wieloma rurociągami podwodnymi oraz nawodnymi, takimi jak boje przeładunkowe i magazynowe. Instalacje te umożliwiają przesył oraz zgromadzenie surowca. Z boi bądź z pływających magazynów lub przetwórci surowiec przeładowywany jest na zbiornikowce dowozowe, które transportują go do terminalu przeładunkowego na lądzie.

WNIOSKI

Przedstawiona organizacja pracy na polu eksploatacyjnym jest tylko nakreśleniem szeregu czynności, jakie należy podjąć w celu pozyskania surowca energetycznego z dna morskiego. Przedstawiona infrastruktura wskazuje, jak szerokie jest spektrum prowadzonych prac oraz jak ważne jest odpowiednie dobranie jednostek do pracy, aby bezpiecznie wykonywać eksploatację.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Craig J. R., Vaughan D. J., Skinner B. J., *Zasoby Ziemi*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003.
- [2] Cydejko J., Puchalski J., Rutkowski G., *Statki i technologie off-shore w zarysie*, Wydawnictwo Trademar, Gdynia 2011.
- [3] Mizerski W., Szamałek K., *Geologia i surowce mineralne oceanów*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2009.
- [4] Szamałek K., *Podstawy geologii gospodarczej i gospodarki surowcami mineralnymi*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
- [5] Wiewióra A., Wesołech Z., Puchalski J., *Ropa w transporcie morskim*, Wydawnictwo Trademar, Gdynia 2007.

Strony internetowe

- [1] <http://www.offshore-technology.com/>
- [2] www.zto.zut.edu.pl

WORK ORGANIZATION IN DRILLING ENERGY RESOURCES FROM SEA BOTTOM

ABSTRACT

The article presents work organization in off-shore drilling. It shows the wide spectrum of work necessary for proper exploitation of undersea deposits. It also lists infrastructure

elements used in this activity. It characterizes the marine environment as a factor in off-shore drilling.

Keywords:

work organization in off-shore industry, energy resources, infrastructure used in oil and gas field, marine environment.