MINISTERSTWO EDUKACJI
NARODOWEJ

Henryk Rospond

Eksploatowanie samoczynne i gazodźwigiem ropy naftowej 311[14].Z1.04

Poradnik dla ucznia

Wydawca
Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy
Radom 2007

„Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego"

Recenzenci:
dr hab. inż. Adam Łuksa
dr inż. Piotr Kasza

Opracowanie redakcyjne:
mgr inż. Henryk Rospond

Konsultacja:
mgr inż. Teresa Sagan

Poradnik stanowi obudowę dydaktyczną programu jednostki modułowej 311[14].Z1.04 „Eksploatowanie samoczynne i gazodźwigiem ropy naftowej”, zawartego w modułowym programie nauczania dla zawodu technik górnictwa otworowego.

Wydawca
Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2007

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie 3
2. Wymagania wstępne 5
3. Cele kształcenia 6
4. Materiał nauczania 7
4.1. Warunki samoczynnego wypływu ropy naftowej z odwiertu 7
4.1.1. Materiał nauczania 7
4.1.2. Pytania sprawdzające 9
4.1.3. Ćwiczenia 10
4.1.4. Sprawdzian postępów 11
4.2. Uzbrojenie odwiertu samoczynnego ropy naftowej 12
4.2.1. Materiał nauczania 12
4.2.2. Pytania sprawdzające 22
4.2.3. Ćwiczenia 23
4.2.4. Sprawdzian postępów 24
4.3. Parametry wydajności odwiertu samoczynnego 25
4.3.1. Materiał nauczania 25
4.3.2. Pytania sprawdzające 28
4.3.3. Ćwiczenia 29
4.3.4. Sprawdzian postępów 30
4.4. Rodzaje gazodźwigów 31
4.4.1. Materiał nauczania 31
4.4.2. Pytania sprawdzające 36
4.4.3. Ćwiczenia 36
4.4.4. Sprawdzian postępów 37
4.5. Charakterystyka pracy i obliczanie gazodźwigu sprężarkowego 38
4.5.1. Materiał nauczania 38
4.5.2. Pytania sprawdzające 47
4.5.3. Ćwiczenia 47
4.5.4. Sprawdzian postępów 48
5. Sprawdzian osiągnięć 50
6. Literatura 55

1. WPROWADZENIE

Poradnik ten pomoże Ci w przyswajaniu wiedzy i kształtowaniu umiejętności z zakresu eksploatacji samoczynnej ropy naftowej oraz eksploatacji ropy naftowej za pomocą sprężonego gazu (gazodźwigiem), ujętych w modułowym programie nauczania dla zawodu technik górnictwa otworowego.

W poradniku zamieszczono:

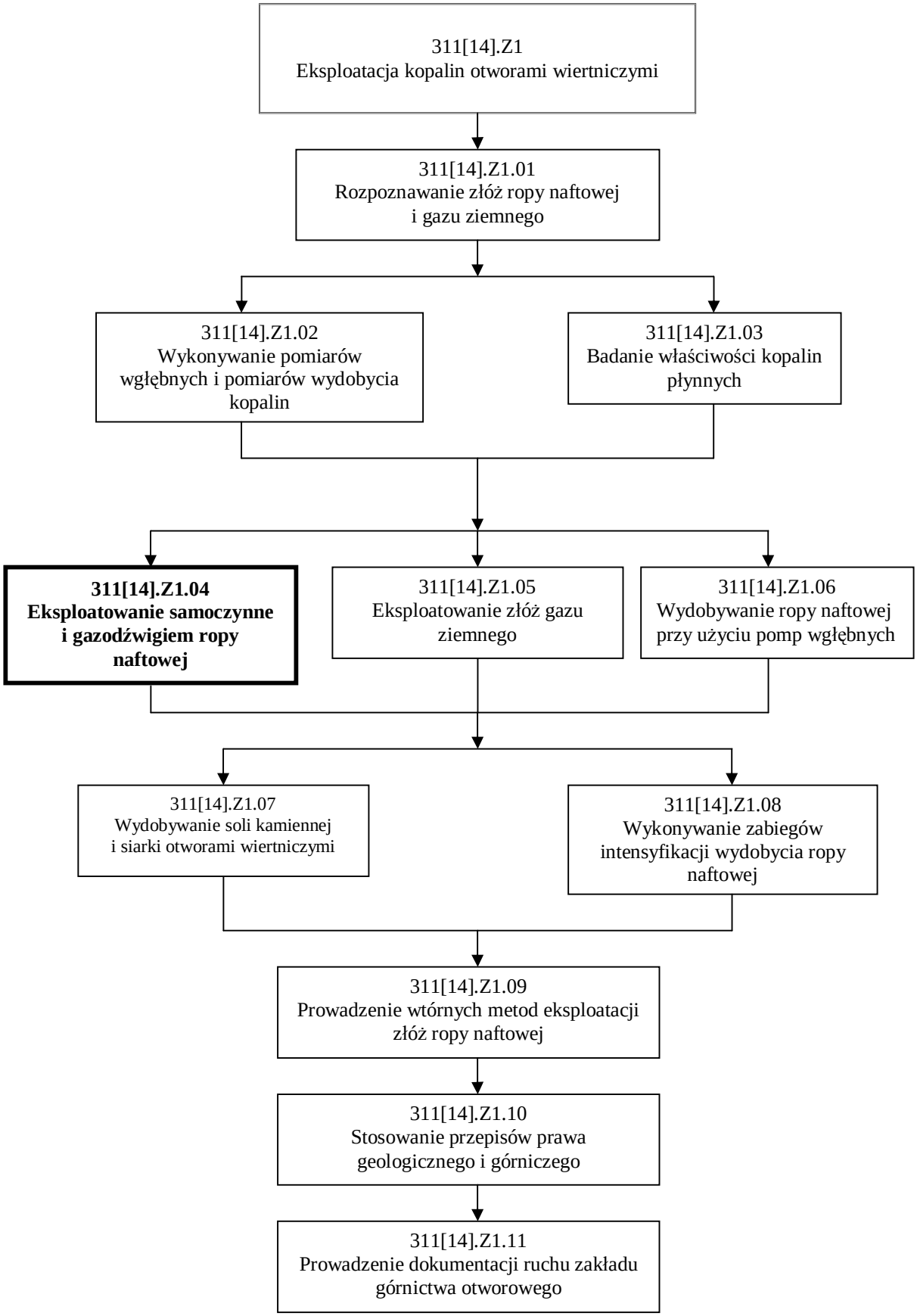
- wymagania wstępne – wykaz umiejętności, jakie powinieneś posiadać przed przystąpieniem do nauki w tej jednostce modułowej,
- cele kształcenia – wykaz umiejętności jakie ukształtujesz podczas pracy z tym poradnikiem,
- materiał nauczania – czyli zestaw wiadomości, które powinieneś posiadać, aby samodzielnie wykonać ćwiczenia,
- pytania sprawdzające – zestawy pytań, które pomogą Ci sprawdzić, czy opanowałeś podane treści i możesz już rozpocząć realizację ćwiczeń,
- ćwiczenia – mają one na celu ukształtowanie Twoich umiejętności praktycznych,
- sprawdzian postępów – zestaw pytań, na podstawie których sam możesz sprawdzić, czy potrafisz samodzielnie poradzić sobie z zadaniami, które wykonywałeś wcześniej,
- sprawdzian osiągnięć – zawiera dwa zestawy zadań testowych (testy wielokrotnego wyboru),
- literaturę – wykaz pozycji, z jakich możesz korzystać podczas nauki.

W materiale nauczania zostały przedstawione zagadnienia dotyczące:

- warunków samoczynnej eksploatacji ropy naftowej,
- wyposażenia wgłębnego i napowierzchniowego odwiertów samoczynnych ropy naftowej,
- zasad ustalania wydobycia optymalnego ropy naftowej ze złóż ropno-gazowych,
- klasyfikacji gazodźwigów jako metod eksploatacji ropy naftowej przy użyciu sprężonego gazu,
- obliczania podstawowych parametrów gazodźwigów,
- obsługi odwiertów samoczynnych ropy naftowej.

Po wykonaniu ćwiczeń sprawdź poziom swoich postępów rozwiązując test „Sprawdzian postępów” zamieszczony po ćwiczeniach, zaznaczając w odpowiednim miejscu, jako właściwą Twoim zdaniem, odpowiedź TAK albo NIE. Odpowiedzi TAK wskazują Twoje mocne strony, natomiast odpowiedzi NIE wskazują na luki w Twojej wiedzy i nie w pełni opanowane umiejętności praktyczne, które musisz nadrobić.

Po zrealizowaniu programu jednostki modułowej nauczyciel sprawdzi poziom Twoich umiejętności i wiadomości. Otrzymasz do samodzielnego rozwiązania dwa testy pisemne, na podstawie których nauczyciel podejmie decyzję o tym, czy zaliczyłeś program jednostki modułowej.



Schemat układu jednostek modułowych

2. WYMAGANIA WSTĘPNE

Przystępując do realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- posłużyć się podstawowymi pojęciami z zakresu górnictwa naftowego,
- posłużyć się podstawowymi pojęciami z zakresu mineralogii i geologii złożowej,
- posłużyć się podstawowymi pojęciami z zakresu wiertnictwa,
- rozróżniać konstrukcje odwiertów,
- przeliczać jednostki różnych wielkości fizycznych,
- zdefiniować pojęcia: ciśnienie, nadciśnienie, podciśnienie, ciśnienie absolutne,
- określić zjawisko rozpuszczalności gazów w cieczy,
- scharakteryzować rodzaje ciśnień w odwiercie eksploatacyjnym,
- charakteryzować prawa gazowe,
- wykonywać obliczenia na podstawie funkcji logarytmicznej,
- zdefiniować ciśnienie w odwiercie w warunkach statycznych i dynamicznych,
- sporządzać zestawienia tabelaryczne,
- sporządzać wykresy liniowe, słupkowe, schematy blokowe, itp.,
- korzystać z nomogramów z wykorzystaniem interpolacji,
- wykonywać podstawowe obliczenia z zakresu hydrostatyki i hydrauliki,
- zinterpretować podstawowe prawa hydrauliki,
- posługiwać się dokumentacją techniczną,
- przestrzegać zasad bezpieczeństwa i higieny pracy, ochrony przeciwpożarowej i ochrony środowiska,
- korzystać z różnych źródeł informacji,
- oceniać własne możliwości w działaniach indywidualnych i zespołowych,
- zastosować zasady współpracy w grupie,
- uczestniczyć w dyskusji i prezentacji.

3. CELE KSZTAŁCENIA

W wyniku realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- sklasyfikować metody wydobywania ropy naftowej,
- określić warunki samoczynnego wypływu ropy naftowej z odwiertu eksploatacyjnego,
- wskazać elementy uzbrojenia wgłębnego i napowierzchniowego odwiertu samoczynnego oraz określić ich rolę,
- dobrać średnicę i długość kolumny rur wydobywczych,
- wyznaczyć optymalną średnicę zwężki produkcyjnej,
- określić rodzaje i scharakteryzować zasadę działania oddzielaczy,
- scharakteryzować zaburzenia samoczynnego wypływu ropy na powierzchnię,
- wyjaśnić zasadę pracy gazodźwigu,
- rozróżnić i scharakteryzować typy gazodźwigów,
- przedstawić sposoby rozruchu gazodźwigów oraz obliczyć głębokości instalowania zaworów rozruchowych,
- określić zalety i wady wydobywania ropy naftowej przy pomocy sprężonego gazu,
- określić zasady obsługi odwiertów i urządzeń z uwzględnieniem przepisów bezpieczeństwa, higieny pracy, ochrony przeciwpożarowej i ochrony środowiska.

4. MATERIAŁ NAUCZANIA

4.1. Warunki samoczynnego wypływu ropy naftowej z odwiertu

4.1.1. Materiał nauczania

Metody wydobywania ropy naftowej

Dopływ ropy naftowej ze złoża do odwiertu eksploatacyjnego dokonuje się pod wpływem różnicy ciśnień, pomiędzy ciśnieniem złożowym $P_{zł}$ a ciśnieniem dennym dynamicznym P_{dd}, czyli w wyniku działania energii złożowej. Energia ta wykonuje pracę pokonania oporów przepływu ropy naftowej w porowatych lub szczelinowatych skałach strefy przyodwiertowej. Natomiast praca wydźwignięcia ropy z dna odwiertu na powierzchnię może być wykonana zarówno przez energię złożową, jak również przez energię dostarczoną z powierzchni do urządzenia wydobywczego. W pierwszym przypadku mamy do czynienia z eksploatacją samoczynna ropy naftowej, w drugim z jedną z kilku metod mechanicznego wydobywania ropy naftowej.

Wyboru odpowiedniej metody wydobywania ropy naftowej z odwiertu eksploatacyjnego dokonuje się na podstawie jego charakterystyki, biorąc pod uwagę między innymi:

- ciśnienie złożowe,
- głębokość zalegania złoża,
- głębokość zwierciadła ropy w odwiercie,
- wydajność odwiertu,
- wartość wykładnika gazowego,
- właściwości ropy naftowej,
- stopień zawodnienia.

W różnych okresach eksploatacji złoża, w jednym i tym samym odwiercie, stosuje się różne metody wydobywania ropy naftowej. Zwykle bezpośrednio po odwierceniu odwiertu ma miejsce eksploatacja samoczynna ropy naftowej, w przypadku, gdy energia złożowa jest wystarczająca na wydźwignięcie ropy na powierzchnię. Z czasem, gdy energia złożowa maleje, następuje okres eksploatacji ropy naftowej przy zastosowaniu jednej z metod mechanicznych. W niektórych przypadkach, gdy wartość energii złożowej od początku jest niewielka, bezpośrednio po udostępnieniu złoża stosuje się metody mechaniczne, np. pompowanie przy użyciu pomp wgłębnych.

Metody wydobywania ropy naftowej za pomocą odwiertów eksploatacyjnych możemy podzielić na:

I. Eksploatację samoczynną
II. Metody mechaniczne:
    1. Eksploatację za pomocą pomp wgłębnych:
        1) pompy z silnikiem na powierzchni:
            - tłokowe żerdziowe,
            - wibracyjne,
            - śrubowe,
        2) pompy z silnikiem w odwiercie:
            - odśrodkowe z silnikiem elektrycznym,
            - hydrotłokowe,
    2. Eksploatację za pomocą sprężonego gazu:
            - gazodźwig sprężarkowy,

- gazodźwig sprężarkowy z komorą wymiany (pompa wyporowa),
- gazodźwig nurnikowy.

3. Metody górnicze (eksploatacja ropy z piasków bitumicznych)
4. Tłokowanie.

Wydobywanie ropy naftowej ze złoża poprzedza się badaniami warunków geologiczno-złożowych oraz parametrów złoża i płynu złożowego. Dla każdego odwiertu samoczynnego ropy naftowej, corocznie na podstawie dokonywanych pomiarów, ustala się warunki eksploatacji ropy naftowej, uwzględniające maksymalne sczerpanie i racjonalną gospodarkę eksploatacyjną złoża [11].

Warunki samoczynnego wypływu ropy naftowej

Eksploatacja samoczynna polega na wydobywaniu płynu złożowego (ropy naftowej, gazu ziemnego, wody) z odwiertu przy wykorzystaniu energii zawartej w złożu. Wartość energii złożowej dla złóż ropy naftowej jest zróżnicowana dla różnych złóż, występujących w różnych rejonach występowania ropy naftowej w Polsce i w świecie. Stąd czas trwania eksploatacji samoczynnej może wynosić od kilku do nawet kilkudziesięciu lat.

Samoczynny wypływ ropy naftowej z odwiertu na powierzchnię może mieć miejsce wówczas, gdy ilość energii zawartej w określonej ilości ropy znajdującej się na dnie odwiertu jest większa od ilości energii potrzebnej do wykonania pracy wyniesienia tej ropy na powierzchnię.

Wartość energii potencjalnej odniesionej do 1 tony ropy naftowej na dnie odwiertu E_r, można określić ze wzoru:

$$E_r = 9{,}81 \cdot 10^3 (P_{dd} - P_{gd}) \quad \text{[MJ]}$$

gdzie:

P_{dd} – ciśnienie denne dynamiczne [MPa],

P_{gd} – ciśnienie głowicowe dynamiczne [MPa].

Wartość energii potencjalnej wolnego gazu znajdującego się w 1 tonie ropy E_g, przy ciśnieniu dennym dynamicznym, można określić ze wzoru:

$$E_g = V_g \cdot P_{gd} \cdot \ln \frac{P_{dd}}{P_{gd}} \quad \text{[MJ]}$$

gdzie:

V_g – ilość wolnego gazu znajdująca się w 1 t ropy przy ciśnieniu P_{dd} [Nm^3/t].

Podczas przepływu ropy w odwiercie od dna ku głowicy eksploatacyjnej następuje obniżanie się ciśnienia od P_{dd} do P_{gd}. Może to spowodować (w większości przypadków powoduje) wydzielanie się z ropy dodatkowej ilości gazu. Gaz ten jest także nośnikiem określonej ilości energii, którą możemy oznaczyć E_{gr}. A zatem całkowitą ilość energii, jaka może być zawarta w 1 t ropy naftowej E_c, w warunkach panujących na dnie odwiertu eksploatacyjnego można określić wzorem:

$$E_c = E_r + E_g + E_{gr}$$

Ostatecznie

$$E_c = 9{,}81 \cdot 10^3 (P_{dd} - P_{gd}) + V_g P_{gd} \ln \frac{P_{dd}}{P_{gd}} + E_{gr} \qquad \text{[MJ]}$$

Jeżeli w czasie eksploatacji samoczynnej ciśnienie na głowicy odwiertu P_{gd} jest większe od ciśnienia nasycenia ropy P_n to gaz rozpuszczony w ropie nie będzie się z niej wydzielał podczas przepływu rurami wydobywczymi ku głowicy odwiertu. Ciśnienie nasycenia P_n jest to ciśnienie, przy którym z ropy naftowej, dla określonej temperatury, zaczyna się

wydzielanie gazu ziemnego. Eksploatacja samoczynna odbywa się wtedy wskutek ciśnienia hydrostatycznego wody złożowej a wymagane ciśnienie denne można określić wzorem:

$$P_{dd} = L \cdot g + P_t + P_{gd}$$

gdzie:

P_{dd} – ciśnienie denne dynamiczne [Pa],
P_{gd} – ciśnienie głowicowe dynamiczne [Pa],
L – długość kolumny rur wydobywczych [m],
γ – ciężar właściwy ropy naftowej [N/m^3],
P_t – opory przepływu ropy w rurach wydobywczych [Pa].

Opory przepływu ropy naftowej w rurach wydobywczych (stratę ciśnienia) można obliczyć w oparciu o znane z hydrauliki równanie Darcy'ego – Weisbacha.

Jeżeli ciśnienie głowicowe dynamiczne P_{gd} jest mniejsze od ciśnienia nasycenia P_n ($P_{dd} < P_n$), ale równocześnie ciśnienie denne dynamiczne P_{dd} jest większe od ciśnienia nasycenia ($P_{dd} > P_n$), to gaz wydziela się z ropy dopiero w rurach wydobywczych, na pewnej wysokości od dna odwiertu.

W przypadku, gdy ciśnienie denne dynamiczne jest mniejsze od ciśnienia nasycenia ($P_{dd} < P_n$), to gaz wydziela się z ropy już na dnie odwiertu, nagazowując cały słup ropy, która przepływa ku głowicy odwiertu kolumną rur wydobywczych.

W obu przypadkach gaz wydzielający się z ropy jest bardzo ważną formą energii, wykonującej pracę wydźwignięcia ropy naftowej na powierzchnię. Jest to charakterystyczne dla złóż produkujących w warunkach gazu rozpuszczonego w ropie.

Działanie gazu wydzielającego się z ropy naftowej, jako czynnika energetycznego, można rozpatrywać w dwóch przypadkach:

1. Gaz wydzielający się z ropy powoduje jej nagazowanie, tym samym zmniejsza się ciężar właściwy ropy, a właściwie mieszaniny ropno – gazowej, znajdującej się w rurach wydobywczych. Im bliżej powierzchni, tym mniejsze ciśnienie panuje w rurach wydobywczych, tym samym coraz więcej gazu wydziela się z ropy. Stąd ciężar właściwy nagazowanej ropy maleje ze wzrostem wysokości od dna odwiertu.
2. Gaz wydzielający się z ropy, wskutek obniżania się ciśnienia na drodze przemieszczania się ropy w rurach wydobywczych od dna odwiertu ku powierzchni, zwiększa swoją objętość (rozpręża się). Tym samym powoduje dodatkowe wypychanie ku górze takiej ilości (objętości) cząsteczek ropy, o jaką w danym momencie zwiększyła się objętość rozprężającego się gazu.

4.1.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jaki czynnik powoduje dopływ ropy naftowej ze złoża do odwiertu eksploatacyjnego?
2. Kiedy występuje eksploatacja samoczynna ropy naftowej?
3. W jakim przypadku stosuje się metody mechaniczne wydobywania ropy naftowej?
4. Od czego zależy wybór metody wydobywania ropy naftowej?
5. Jakie znane są metody wydobywania ropy naftowej?
6. Od czego zależy wartość energii potencjalnej ropy naftowej, znajdującej się na dnie odwiertu?
7. Co to jest i od czego zależy wartość ciśnienia nasycenia?
8. Kiedy gaz rozpuszczony w ropie może się z niej wydzielać?
9. Co składa się na całkowitą wartość energii ropy naftowej w warunkach panujących na dnie odwiertu?
10. Kiedy eksploatacja samoczynna odbywa się tylko na skutek ciśnienia hydrostatycznego?

11. Kiedy głównym czynnikiem energetycznym, przy eksploatacji samoczynnej, jest gaz wydzielający się z ropy?
12. Na czym polega działanie gazu wydzielającego się z ropy, podczas eksploatacji samoczynnej?

4.1.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Sporządź schemat blokowy przedstawiający podział metod wydobywania ropy naftowej za pomocą odwiertów eksploatacyjnych. Schemat może być wykonany odręcznie lub za pomocą programu komputerowego, np. edytora tekstu Word.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:
1) przypomnieć sobie pojęcie schematu blokowego i sposobu jego wykonania,
2) wypisać znane ci metody wydobywania ropy naftowej,
3) dokonać podziału metod według przyjętego kryterium,
4) sporządzić schemat blokowy,
5) zaprezentować wyniki swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:
- przybory do rysowania i pisania,
- komputer z drukarką,
- karty papieru A4,
- zeszyt.

Ćwiczenie 2

Dla odwiertu ropno-gazowego określ poszczególne przypadki występowania ropy naftowej oraz zgazowanej ropy w odwiercie, w tym w rurach wydobywczych, w zależności od wartości, ciśnienia nasycenia, ciśnienia złożowego, ciśnienia dennego dynamicznego, ciśnienia głowicowego dynamicznego. Dla określonych przypadków wykonaj schematy przedstawiające obszary odwiertu (rur) z ropą naftową bez gazu oraz z ropą naftową zgazowaną.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:
1) określić rodzaje ciśnień charakterystycznych dla wybranych punktów odwiertu,
2) ustalić zależności pomiędzy powyższymi ciśnieniami a ciśnieniem nasycenia,
3) określić przypadki, w których gaz będzie wydzielał się z ropy naftowej,
4) wykonać kilka schematów odwiertu z zapuszczonymi rurami wydobywczymi,
5) nanieść na schematy poszczególne sytuacje,
6) opisać na schematach zależności pomiędzy ciśnieniami,
7) zaprezentować wyniki swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:
- kartki papieru A4 ksero lub kratkowanego,
- przybory do rysowania,
- przybory do pisania,
- zeszyt.

4.1.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) określić ogólne warunki samoczynnego wypływu ropy naftowej z odwiertu na powierzchnię?	☐	☐
2) wymienić metody wydobywania ropy naftowej otworami wiertniczymi?	☐	☐
3) określić czynniki, które mają wpływ na wartość energii ropy naftowej na dnie odwiertu?	☐	☐
4) zdefiniować pojęcia: ciśnienie denne dynamiczne, ciśnienie głowicowe dynamiczne, ciśnienie nasycenia?	☐	☐
5) wyjaśnić, kiedy gaz ziemny może wydzielać się z ropy naftowej?	☐	☐
6) wyjaśnić, jak i dlaczego zmienia się ciężar właściwy ropy naftowej w rurach wydobywczych?	☐	☐
7) obliczyć wartość energii potencjalnej 1 tony ropy naftowej na dnie odwiertu?	☐	☐
8) wyjaśnić mechanizm wypierania ropy naftowej w rurach wydobywczych, gazem wydzielającym się z niej?	☐	☐
9) sporządzić rozkład ciężaru właściwego nagazowanej ropy w kolumnie rur wydobywczych?	☐	☐

4.2. Uzbrojenie odwiertu samoczynnego ropy naftowej

4.2.1. Materiał nauczania

Wydobywanie ropy naftowej ze złóż poprzez eksploatację samoczynną prowadzi się za pomocą odwiertów eksploatacyjnych, po udostępnieniu horyzontu produktywnego. Odwiert do eksploatacji samoczynnej ropy naftowej posiada odpowiednie uzbrojenie wgłębne oraz wyposażenie napowierzchniowe.

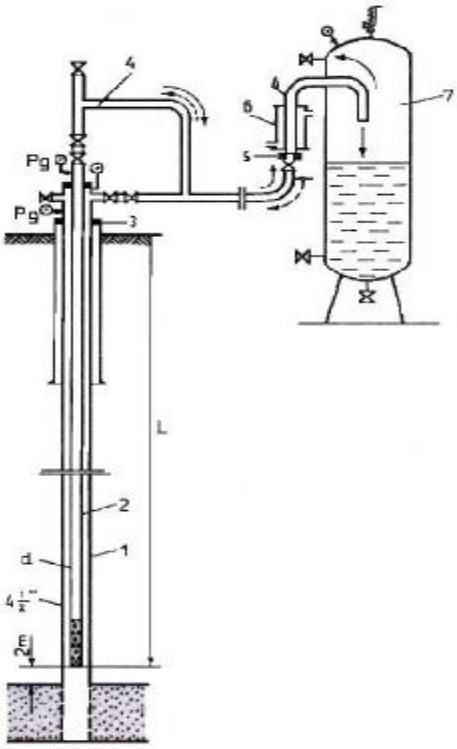
W skład uzbrojenia wgłębnego wchodzą m.in.:

1) kolumny rur okładzinowych, w tym kolumna eksploatacyjna,
2) więźba rurowa,
3) kolumna rur wydobywczych,
4) pakery eksploatacyjne,
5) zwężki wgłębne stałe lub wymienialne,
6) wgłębne zawory bezpieczeństwa,
7) łączniki posadowe i inne elementy.

Wyposażenie napowierzchniowe odwiertu eksploatacyjnego stanowią m.in.:

1) głowica eksploatacyjna,
2) zwężka dławiąca stała lub nastawialna,
3) wymiennik ciepła
4) separatory (oddzielacze),
5) odcinek redukcyjno-pomiarowy,
6) zbiorniki magazynowe (robocze) ropy i wody złożowej,
7) odgazowywacz wody złożowej i inne urządzenia.

Przykładowy schemat uzbrojenia odwiertu samoczynnego przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Schemat odwiertu samoczynnego ropy naftowej: 1 – eksploatacyjna kolumna rur okładzinowych, 2 – kolumna rur wydobywczych, 3 – więźba rurowa, 4 – głowica eksploatacyjna, 5 – zwężka dławiąca, 6 – wymiennik ciepła, 7 – separator (oddzielacz), P_g – ciśnienie głowicowe, d – średnica rur wydobywczych [4, s. 220]

Głowice eksploatacyjne

Jednym z najważniejszych elementów wyposażenia odwiertu samoczynnego ropy naftowej jest głowica eksploatacyjna (wydobywcza). Montowana jest na więźbie rurowej, która zamyka przestrzenie pierścieniowe pomiędzy poszczególnymi kolumnami rur okładzinowych. Zadaniem głowicy eksploatacyjnej jest:

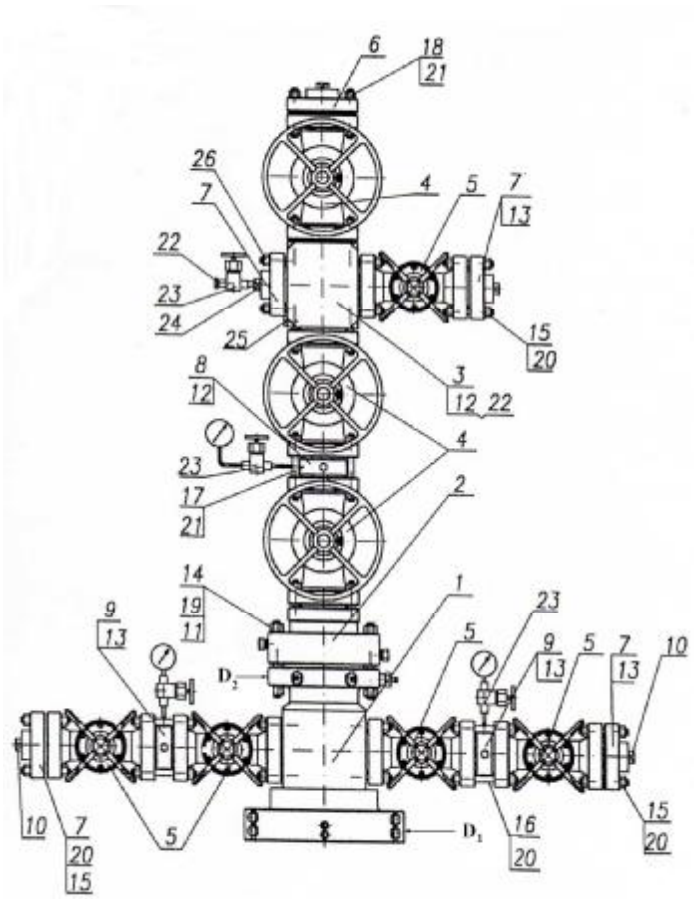
- zamknięcie przestrzeni pierścieniowej między eksploatacyjną kolumną rur okładzinowych a rurami wydobywczymi,
- podwieszenie kolumny rur wydobywczych,
- zamknięcie kolumny rur wydobywczych,
- umożliwienie kontrolowanego odpływu ropy i gazu z odwiertu do separatora.

Widok głowicy eksploatacyjnej na odwiercie ropno-gazowym przedstawia rys. 2.

Rys. 2. Głowica eksploatacyjna na odwiercie samoczynnym ropy naftowej [18]

Głowice eksploatacyjne produkowane są dla ciśnień roboczych od kilkunastu do kilkudziesięciu MPa. Według norm API standardowe ciśnienia nominalne głowic eksploatacyjnych wynoszą: 7, 14, 21, 35, 70, 105 oraz 140 MPa. Głowice eksploatacyjne mają na ogół połączenia kołnierzowe, chociaż przy głowicach przewidzianych na małe ciśnienia robocze, poniżej 14 MPa, normy zezwalają na używanie połączeń gwintowych.

Bez względu na zakres ciśnień i różnice konstrukcyjne głowice eksploatacyjne posiadają podwójne zasuwy na przewodach odpływowych. Pierwsza zasuwa, licząc w kierunku przepływu ropy, jest zasuwą awaryjną, druga roboczą. W czasie eksploatacji ropy, a także podczas innych czynności wykonywanych na odwiercie (np. pomiary ciśnienia w odwiercie) zasuwy awaryjne powinny być całkowicie otwarte. Zamykana jest jedynie na okres demontażu i wymiany zasuwy roboczej lub w przypadku awarii zasuwy roboczej. Sterowanie zsuwami awaryjnymi może odbywać się wyłącznie po uprzednim zamknięciu zasuw roboczych [11]. W trakcie normalnej pracy odwiertu sterowanie odbywa się wyłącznie za pomocą zasuwy roboczej. Schemat typowej głowicy eksploatacyjnej dla samoczynnej eksploatacji ropy naftowej lub gazu ziemnego, wraz z oznaczeniem poszczególnych elementów przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Głowica eksploatacyjna standardowa produkcji ZUN Krosno [2]

Tabela 1. Zestawienie poszczególnych elementów głowicy eksploatacyjnej z rysunku 3 [2]

Poz.	Nazwa części	Ilość sztuk	Poz.	Nazwa części	Ilość sztuk
1	Korpus 11” x 7 1/16” x 2 9/16”	1	14	Śruba dwustronna M30x3-240	12
2	Zespół pokrywy 7 1/16” x 2 9/16”	1	15	Śruba dwustronna M24x3 -160	24
3	Czwórnik	1	16	Śruba dwustronna M24x3-220	16
4	Zasuwa suwakowa 2 9/16”	3	17	Śruba dwustronna M27x3-230	8
5	Zasuwa suwakowa 2 1/16”	5	18	Śruba dwustronna M27x3-170	8
6	Kołnierz 65 – 35 G - RwS 2 3/8”	1	19	Nakrętka M30x3	24
7	Kołnierz 52 – 35 G - RwS 2 3/8”	4	20	Nakrętka M24x3	80
8	Wkładka manometr. 2 9/16” – 21	1	21	Nakrętka M27x3	32
9	Wkładka manometr. 2 1/16” – 21	2	22	Korek LP ½”	2
10	Korek RwS 2 3/8”	4	23	Zawór zaporowy ZWZ 12	4
11	Pierścień uszczelniający R45	1	24	Korek RwS 2 3/8” – LP ½”	1
12	Pierścień uszczelniający R27	6	25	Śruba odpowietrzająca	1
13	Pierścień uszczelniający R24	9	26	Śruba dwustronna M24x3 – 115	8

Tabela 2. Podstawowe parametry standardowych głowic produkcji ZUN Krosno [8]

Ciśnienie robocze MPa/psi	Wymiary kołnierzy korpusu D_1 x D_2	Masa [kg]
14 / 2000	7 1/16” x 7 1/16”	980
14 / 2000	11’ x 7 1/16”	1100
21 / 3000	7 1/16” x 7 1/16”	1520
21 / 3000	11’ x 7 1/16”	1650
35 / 5000	7 1/16” x 7 1/16”	1540
35 / 5000	11’ x 7 1/16”	1740
70 / 10000	11’ x 7 1/16”	2430

Konstrukcja głowicy eksploatacyjnej powinna:

- umożliwiać prowadzenie wszystkich operacji związanych z eksploatacją odwiertu przy zapewnieniu szczelności wszystkich jej elementów,
- umożliwiać pomiar ciśnienia w ostatniej kolumnie rur okładzinowych (eksploatacyjnej) i w kolumnie rur wydobywczych,
- zapewnić możliwość zapuszczania do odwiertu wgłębnych przyrządów pomiarowych,
- zapewnić możliwość poboru próbek płynu złożowego.

Poszczególne elementy składowe głowicy eksploatacyjnej powinny być odporne na działanie czynników złożowych, z którymi się stykają podczas jej użytkowania, w tym na działanie siarkowodoru H_2S. Siarkowodór często towarzyszy ropie naftowej a jest gazem, który wykazuje silne właściwości agresywne (korozyjne) w stosunku do elementów stalowych.

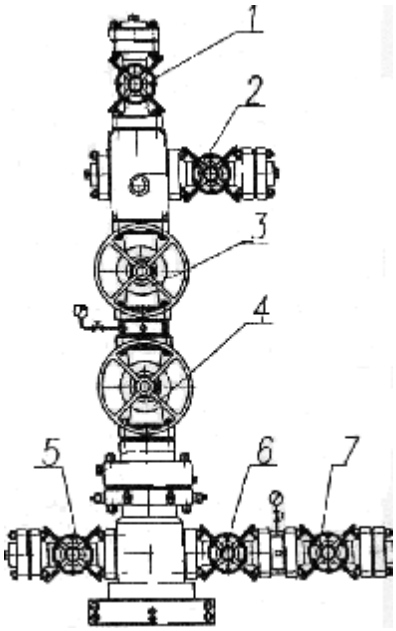
Jednym z głównych elementów składowych głowic eksploatacyjnych są zasuwy suwakowe kołnierzowe o pełnym przelocie. Wykonywane mogą być w wersji kutej lub kuto-spawanej. Sterowanie zasuwami może być ręczne lub za pomocą siłowników. Zasuwa suwakowa – kołnierzowa powinna:

- umożliwiać równomierne, bez zahamowań, zamykanie i otwieranie przy użyciu siły na kole sterowym nie większej niż 200 N,
- umożliwiać zamykanie zasuwy przy obrocie kołem sterowym w prawo,
- być przystosowana do wymiany uszczelnień dławika trzpienia pod ciśnieniem.

Koła sterowe zasuw głowic eksploatacyjnych powinny posiadać wyraźne oznakowanie kierunku „zamknięcie” i „otwarcie”. Po całkowitym zamknięciu zasuwy suwakowej na głowicy należy wykonać ¼ obrotu kołem sterowym w lewo – kierunek „otwarcie”.

Schemat głowicy na rys. 4 określa rodzaje zasuw, których przeznaczenie jest następujące:

a) zasuwa zabiegowa (1) – śluzy do zamykania wypływu z głowicy podczas prac, w czasie których używane są różnego rodzaju śluzy. Zasuwa ta pozwala na swobodne montowanie i demontowanie śluzy bez konieczności całkowitego zamknięcia wypływu z rur wydobywczych, co miałoby miejsce po zamknięciu zasuwy roboczej (3),
b) zasuwa boczna (2) – służy do zamknięcia przepływu pomiędzy głowica a kolektorem odpływowym. Pozwala to na odcięcie wypływu z głowicy bez konieczności zamykania zasuwy roboczej (3). Zasuwa boczna umożliwia również odizolowanie głowicy od ciśnienia panującego w kolektorze, co jest niezbędne przy montowaniu śluz,



Rys. 4. Rodzaje zasuw na głowicy eksploatacyjnej [2]

c) zasuwa robocza (3) – służy do zamknięcia wypływu z głowicy podczas dłuższej przerwy w eksploatacji płynów złożowych. Używana jest również do zamknięcia wypływu w czasie wymiany wyposażenia znajdującego się ponad nią lub też podczas prac ze śluzami,
d) zasuwa awaryjna (4) – służy tylko wyłącznie do zamknięcia wypływu z głowicy podczas wymiany zasuwy roboczej (3)
e) zasuwa awaryjna (5) – służy do zamykania wypływu z dolnej części głowicy podczas wymiany zaworu iglicowego, znajdującego się pomiędzy zasuwą a manometrem,
f) zasuwa awaryjna (6) – służy tylko i wyłącznie do zamykania wypływu z dolnej części głowicy podczas wymiany zasuwy roboczej (7),
g) zasuwa robocza (7) – służy do odcinania przepływu pomiędzy dolną częścią głowicy a kolektorem odpływowym. Jest ona używana podczas cyrkulacji płynów pomiędzy przestrzenią a rurami wydobywczymi lub też w czasie eksploatacji przez przestrzeń.

Oprócz głowic eksploatacyjny produkowanych przez Zakład Urządzeń Naftowych „Naftomet" w Krośnie, do eksploatacji samoczynnej ropy naftowej oraz gazu ziemnego stosowane są głowice eksploatacyjne produkowane przez firmy zagraniczne, takie jak: Cameron, Mc Evoy, Walker Steel, Malbranque.

Rury wydobywcze

Eksploatacja samoczynna ropy naftowej z odwiertu odbywa się poprzez kolumnę rur wydobywczych zapuszczonych do odwiertu i podwieszonych w głowicy odwiertu. Do podwieszenia rur stosuje się wieszaki umieszczone w korpusie 1 (rys. 3) w dolnej części głowicy eksploatacyjnej. Wieszaki typu cylindrycznego z szyjką (produkowane przez ZUN Naftomet Krosno) uszczelniane są:

– w korpusie głowicy poprzez aktywację uszczelnienia ciężarem rur wydobywczych lub trzpieniami blokującymi wieszak,
– w pokrywie głowicy uszczelnieniami typu wymuszonego plastyfikatorem, podwójnymi oringami i metodą metal – metal.

Rury wydobywcze stosowane w uzbrojeniu odwiertów ropnych wykonane mogą być według PN-H-74238:1993 lub według normy API, w kilku odmianach wytrzymałościowych.

Długość rur wydobywczych wykonuje się w dwóch zakresach:

- R1 – 6,1 m do 7,3 m,
- R2 – 8,5 m do 9,8 m.

Wymiary rur wydobywczych stosowanych do niedawna w polskim górnictwie naftowym a które znajdują się jeszcze na wyposażeniu starszych odwiertów ropy naftowej przedstawia tabela 3.

Tabela 3. Wymiary rur wydobywczych według norm ZSRR

Średnica nominalna	**Średnica zewnętrzna**	**Grubość ścianki**	**Średnica wewnętrzna**	**Średnica zewnętrzna złączki**	**Masa**	**Pojemność**
[cale]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/m]	[l/m]
1½	48,3	4,0	40,3	55,0	4,39	1,3
2	60,3	5,0	50,3	73,0	6,84	2,0
2½	73,0	5,5	62,0	89,5	9,16	3,0
3	88,9	6,5	75,9	107,0	13,22	4,5
3 ½	101,6	7,0	100,3	132,5	15,22	6,2

Wymiary i właściwości rur wydobywczych niespęcznych według API, stosowanych obecnie w Polsce przedstawia tabela 4.

Tabela.4. Wymiary i właściwości rur wydobywczych według API [10]

Średnica nominalna	**Średnica zewnętrzna**	**Grubość ścianki**	**Średnica wewnętrzna**	**Średnica zewnętrzna złączki**	**Masa**	**Pojemność**
[cale]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/m]	[l/m]
1,9	48,3	3,7	40,9	55,9	4,1	1,3
2 ⅜	60,3	4,2 4,8 6,5	51,8 50,6 47,4	73,0	6,0 6,8 8,6	2,1 2,0 1,8
2 ⅞	73,0	5,5 7,0 7,8	62,0 59,0 57,4	88,9	9,5 11,6 12,8	3,0 2,7 2,6
3 ½	88,9	5,5 6,5 7,3 9,5	77,9 76,0 74,2 69,9	108,0	11,5 13,7 15,2 18,9	4,8 4,5 4,3 3,9

Zwężki dławiące

Przy eksploatacji samoczynnej ropy naftowej, do dławienia wypływu w celu uzyskania wydobycia optymalnego, mogą być stosowane różnego rodzaju zwężki. Wyróżnia się zwężki stałe (kryzy), o stałej średnicy otworu przelotowego lub zwężki nastawialne (dysze regulowane), których wielkość otworu przelotowego może być regulowana ręcznie lub automatycznie przez operatora obsługującego odwiert eksploatacyjny. Ponadto mogą być stosowane zwężki wgłębne, montowane w dolnej części kolumny rur wydobywczych.

Średnice zwężek stałych mogą zawierać się w zakresie od 3 do 15 mm. Stosowane też mogą być zwężki według norm API, np.: 2/64”, 4/64”, 6/64”, 8/64”, 10/64”, 12/64”, 16/64”, 18/64”, 20/64”, 22/64”, 24/64”. Średnica zwężek według API odpowiada wartościom w mm: 14/64” = 5,56 mm, 22/64” = 8,73 mm.

Separatory na odwiercie samoczynnym

Strumień wypływającej z odwiertu samoczynnego ropy naftowej zawiera przede wszystkim gaz ziemny, zarówno w stanie rozpuszczonym jak i wolnym (ropa zgazowana). Ponadto w eksploatowanej ropie może być obecna woda złożowa a także cząstki stałe, jak

cząstki złoża (piasek) lub rdza. Przed skierowaniem ropy do przeróbki lub do transportu wymagane jest usunięcie z niej zanieczyszczeń. W tym celu stosowane są na odwiercie samoczynnym separatory (oddzielacze), których zadaniem jest rozdział płynów złożowych, co pozwala na usunięcie ich z wydobywanej ropy.

Na odwiertach samoczynnych ropy naftowej stosowane są przede wszystkim separatory trójfazowe, które służą do rozdziału gazu, ropy i wody oraz umożliwiają wydzielenie fazy stałej (piasek).

W procesie oddzielania wykorzystuje się takie zjawiska jak:

- rozbicie strumienia ropy w separatorze o jego wewnętrzne przegrody,
- działanie siły ciężkości,
- działanie siły odśrodkowej,
- odstawanie się ropy,
- zmianę kierunku przepływu strumienia płynów złożowych,
- działanie temperatury.

Separatory (oddzielacze) można podzielić ze względu na:

1) działanie:
   - grawitacyjne,
   - odśrodkowe,
2) funkcję:
   - dwufazowe,
   - trójfazowe,
3) konstrukcję:
   - pionowe (stojące),
   - poziome (leżące),
   - kuliste,
4) wysokość ciśnienia roboczego:
   - wysokiego ciśnienia powyżej 2,5 MPa,
   - średniego ciśnienia od 0,5 do 2,5 MPa,
   - niskiego ciśnienia od 0,1 do 0,5 MPa,
   - pracujące pod ciśnieniem atmosferycznym.
5) doprowadzenie ciepła;
   - podgrzewane,
   - niepodgrzewane.

Przy odwiercie może być zastosowany jeden separator lub kilka połączonych szeregowo, które charakteryzują się coraz mniejszym ciśnieniem roboczym. Pozwala to na efektywniejsze wydzielenie z ropy gazu ziemnego, którego rozpuszczalność w ropie zależy głównie od ciśnienia. Zastosowanie jednego separatora można uważać za separację dwustopniową, gdzie separator stanowi pierwszy stopień, natomiast zbiornik roboczy drugi stopień. Im więcej oddzielaczy stosuje się na odwiercie samoczynnym ropno-gazowym, tym mniejsze są straty gazu oraz lotnych węglowodorów ropnych.

Przy stosowaniu cztero stopniowej separacji dobór ciśnień na poszczególnych stopniach może być następujący:

I stopień	3,0 – 4,5 MPa nadciśnienia,
II stopień	0,8 – 1,6 MPa nadciśnienia,
III stopień	0,02 – 0,2 MPa nadciśnienia,
IV stopień	pod ciśnieniem atmosferycznym.

Wydzielanie się gazu z ropy naftowej uzależnione jest od ciśnienia i temperatury. Przy ciśnieniu mniejszym od ciśnienia nasycenia gaz wydziela się z ropy. Zjawisko to może zachodzić zarówno w złożu, jak i w rurach wydobywczych. Stąd na ogół do separatora

dopływa układ dwufazowy ropa – gaz. Ich wzajemny stosunek objętościowy zależy od składu chemicznego ropy naftowej i gazu oraz od temperatury i ciśnienia.

W separatorze będą więc zachodzić dwa główne procesy:

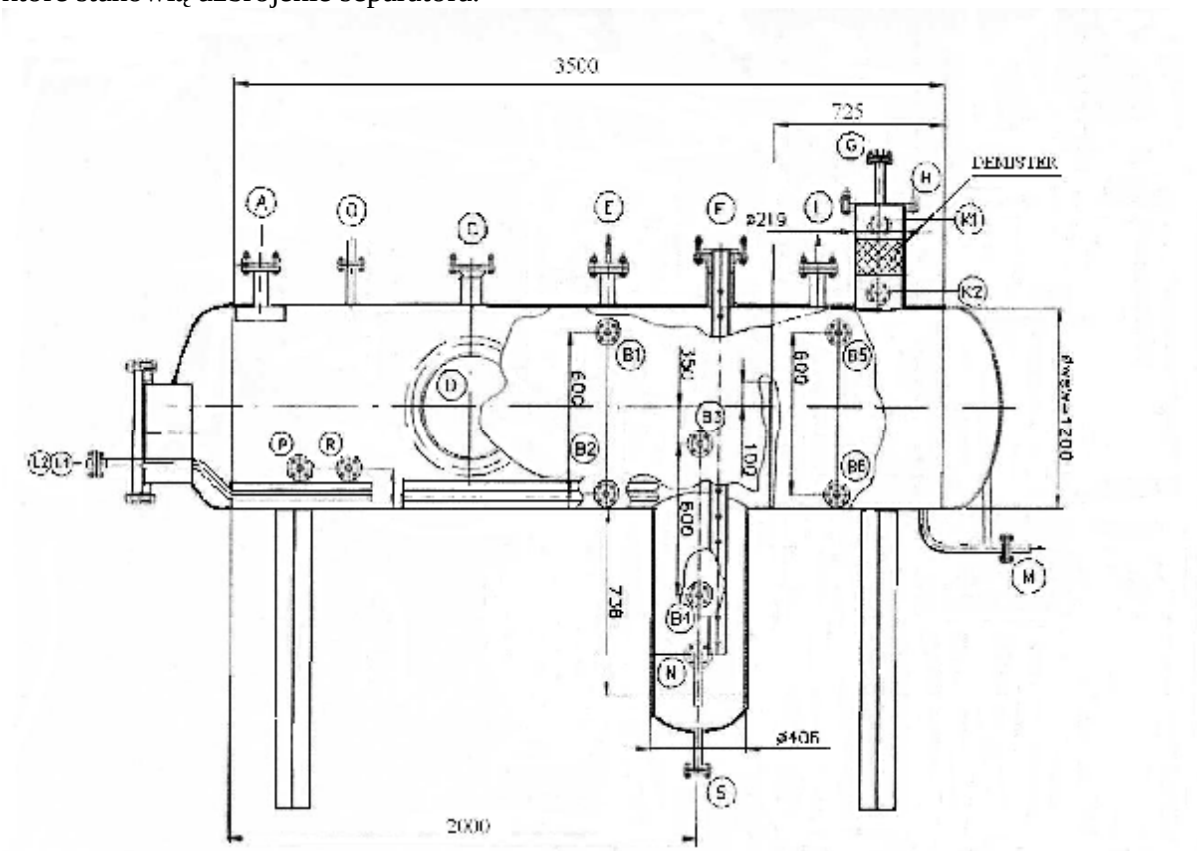
- oddzielenie gazu od ropy naftowej,
- wydzielenie się rozpuszczonego gazu w ropie w wyniku dalszego spadku ciśnienia.

W przypadku obecności w wydobywanej ropie wody złożowej w separatorze następuje rozdzielenie tych cieczy pod wpływem siły ciężkości. Woda złożowa, która ma znacznie większą gęstość od ropy gromadzi się w dolnej części oddzielacza, skąd odprowadzana jest do zbiornika wody złożowej. Z najniższej części separatora okresowo mogą być odprowadzane zanieczyszczenia mechaniczne.

W polskim górnictwie naftowym przez wiele lat stosowane były (na starszych kopalniach stosowane są w dalszym ciągu) separatory trójfazowe stojące R 10/1000 i ODS 21/100 oraz poziome ODL 7/800. Separator pionowy (stojący), podgrzewany – typ R 10/1000 posiada następujące parametry techniczne:

- ciśnienie robocze 10 at. – 1,0 MPa,
- średnica 1000 mm,
- wysokość całkowita 4165 mm,
- wysokość walczaka 3000 mm,
- natężenie przepływu 110 kg/h,
- objętość zbiornika 2,5 m^3.

Obecnie stosowane są separatory o nowych rozwiązaniach konstrukcyjnych, zapewniające większą skuteczność (sprawność) rozdziału faz mieszaniny ropy – gazu – wody złożowej, oraz wstępne oczyszczanie gazu odbieranego z separatora. Schemat separatora poziomego, z oznaczeniem króćców i podstawowych wymiarów przedstawia rys. 5. W tabeli 5 zawarto typowe parametry pracy separatora, natomiast tabela 6 zawiera wykaz króćców, które stanowią uzbrojenie separatora.



Rys. 5. Separator trójfazowy poziomy, podgrzewany – nowy typ [1]

Tabela 5. Parametry techniczne separatora z rysunku 5 [1]

Lp.	Parametr	Jednostka	Wartość
1	Ciśnienie (min/max)	[bar]	4/10
2	Temperatura	[^{o}C]	+25
3	Ciśnienie nastawy urządz. zabezp.	[bar]	16
4	Gęstość cieczy (lekka/ciężka)	[kg/m^3]	740/990
5	Lepkość cieczy (lekka/ciężka)	[cP]	0,8/0,92
6	Przepływ masowy (lekka/ciężka)	[kg/h]	296,6/93,7
7	Gęstość robocza gazu	[kg/m^3]	5,2
8	Przepływ masowy gazu	[kg/h]	43,6
9	Pojemność separatora	[m^3]	~4,6
10	Powierzchnia wymiany ciepła	[m^2]	~1,25

Tabela 6. Oznaczenie króćców dla separatora na rysunku 5 [1]

Oznaczenie	Przeznaczenie	Oznaczenie	Przeznaczenie
A	Wlot ropy surowej	L	Regulator poziomu
B1 – B6	Płynowskazy kołnierzowe	M	Spust ropy
C	Zawór bezpieczeństwa	N	Spust wody złożowej
D	Właz	O	Odpowietrzenie
E	Pomiar ciśnienia	R	Pomiar temperatury
F	Regulator poziomu	S	Spust zanieczyszczeń
G	Wylot gazu	T	Regulator temperatury
H	Króciec demistera	U1 – U2	Wlot/wylot czynnika grzejnego
K1 – K2	Pomiar różnicy ciśnienia	W	Właz wężownicy grzejnej

Pakery eksploatacyjne

Pakery są to urządzenia, które służą do zamknięcia przestrzeni między rurami okładzinowymi a przewodem wiertniczym (w procesie wiercenia otworów) lub między rurami okładzinowymi a rurami wydobywczymi podczas eksploatacji ropy naftowej lub gazu ziemnego.

Pakery stosowane przy eksploatacji samoczynnej ropy naftowej zapinane są na rurach wydobywczych nad poziomem roponośnym, w celu uniemożliwienia przepływu pionowego płynu złożowego przez przestrzeń pierścieniową pomiędzy rurami (rys. 6).

Pakery eksploatacyjne (wydobywcze) stosuje się m.in. w celu:

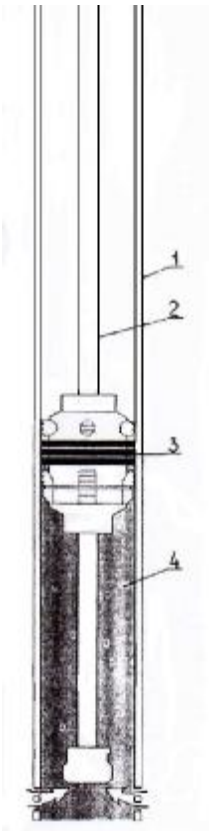
- oddzielenia ciśnienia w odwiercie od działania na rury okładzinowe,
- oddzielenia płynów odwiertowych od rur okładzinowych, zwłaszcza gdy zawierają siarkowodór,
- poprawienia warunków krążenia i skierowania przepływu płynu złożowego przez rury wydobywcze i głowicę eksploatacyjną,
- zakotwiczenia rur wydobywczych w rurach okładzinowych,
- wyeliminowania działania gazodźwigu na złoże.

Pakery mogą być ogólnie sklasyfikowane jako:

- wyciągane z odwiertu po ich wykorzystaniu i odpięciu w rurach okładzinowych,
- stałe, nie dające się odpiąć i wyciągnąć z odwiertu,
- częściowo stałe, które po ich wykorzystaniu mogą być odpięte i wyciągnięte na powierzchnię.

Ze względu na metodę kotwiczenia pakery dzielą się na zapinane w rurach okładzinowych przy użyciu liny, kotwiczone mechanicznie lub zapinane hydraulicznie.

Podstawowymi częściami składowymi pakerów są szczęki kotwiczne, przesuwające się po stożkowej powierzchni kadłuba pakera oraz elastyczny element uszczelniający. Rys. 7 przedstawia paker eksploatacyjny obciążeniowy modelu „E”, zapinany w rurach okładzinowych przez wywarcie nacisku osiowego kolumna rur wydobywczych.



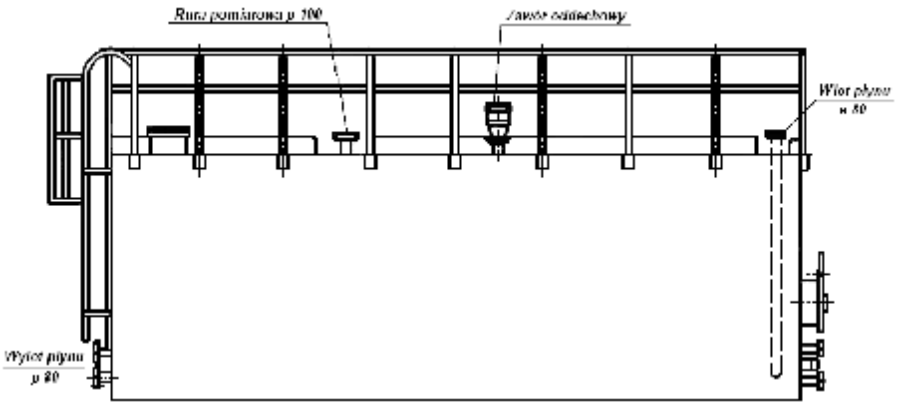
Rys. 6. Schemat odwiertu ropno-gazowego z użyciem pakera eksploatacyjnego: 1 – rury okładzinowe, 2 – rury wydobywcze, 3 – element uszczelniający pakera, 4 – ropa naftowa [13, s. 132]

Rys. 7. Paker eksploatacyjny: 1 – uszczelniacz pakera, 2 – szczeki kotwiczne [13, s. 134]

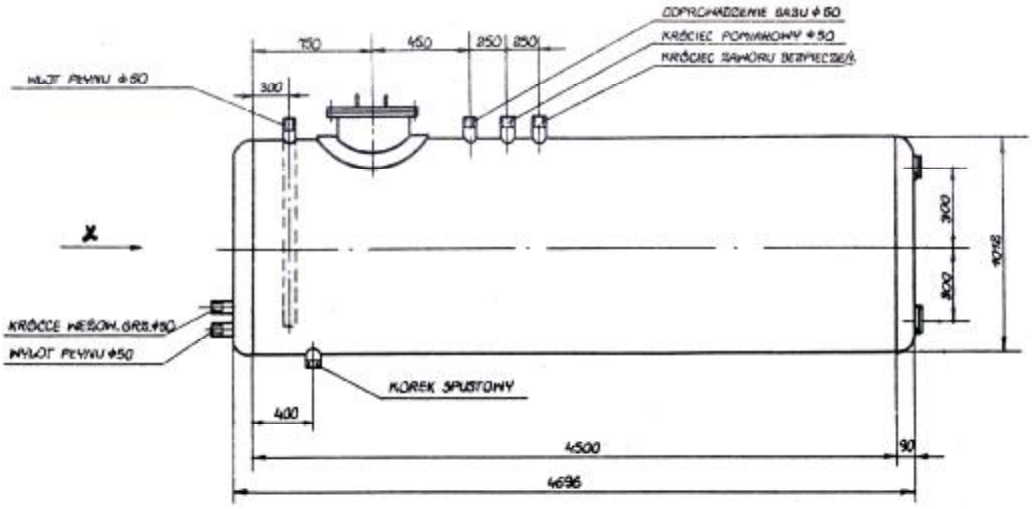
Pakery wydobywcze montuje się przede wszystkim w odwiertach, w których występuje I lub II kategoria zagrożenia siarkowodorem H_2S.

Zbiorniki produkcyjne (magazynowe)

Zbiorniki produkcyjne przeznaczone są do magazynowania ropy naftowej lub wody złożowej przy odwiercie eksploatacyjnym lub grupie odwiertów. Zwykle mają postać prostopadłościennej skrzyni (rys. 8) lub leżących walczaków (rys. 9) o pojemności od kilkunastu do ok. 50 m^3.



Rys. 8. Prostopadłościenny zbiornik ropy naftowej



Rys. 9. Zbiornik walczakowy leżący

Zbiorniki dla ropy posiadają szczelne zamknięcia w celu zmniejszenia strat spowodowanych odgazowaniem czy parowaniem ropy naftowej, zwłaszcza w okresie letnim. Powinny posiadać wężownicę grzewczą w celu podgrzewania ropy. Zbiornik zamknięty na węglowodory ciekłe (ropę) powinien być wyposażony w:

– zawór ciśnieniowo-depresyjny,
– dwa szczelnie zamknięte włazy,
– urządzenie do pomiaru poziomu cieczy i ciśnień,
– urządzenie do poboru próbek ropy.

Zbiorniki zawierające węglowodory ciekłe otacza się wałem ziemnym o wysokości, co najmniej 1 m i szerokości korony oraz co najmniej 0,5 m lub murem ochronnym. Wymagana pojemność obwałowania zbiorników ropy naftowej wynosi dla:

1) jednego zbiornika – 100% jego pojemności,
2) dwóch zbiorników – 75% ich łącznej pojemności,
3) trzech i więcej zbiorników – 50% ich łącznej pojemności.

Zbiorników ropy naftowej nie wolno ustawiać na terenie zalewowym rzek i potoków. Niedopuszczalne jest ustawianie zbiorników z ropą naftową zawierającą siarkowodór w zagłębieniach terenu [11]. Siarkowodór, który jest gazem lżejszym od powietrza, w przypadku ulatniania się ze zbiornika „ściele się” przy powierzchni terenu, co stwarza duże zagrożenie dla człowieka przebywającego w pobliżu zbiornika.

Dopuszczalna wysokość napełnienia zbiorników ropy naftowej nie powinna przekraczać 95% całkowitej pojemności zbiornika. Ropa naftowa podczas nagrzewania się w zbiorniku, np. latem zwiększa swoją objętość. Stąd napełnienie zbiornika w 100% powodowałoby powstawanie dużych naprężeń rozciągających a w konsekwencji uszkodzenie (pęknięcia) zbiornika lub uszkodzenia elementów jego wyposażenia.

4.2.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Co wchodzi w skład uzbrojenia wgłębnego odwiertu samoczynnego ropy naftowej?
2. Co wchodzi w skład wyposażenia napowierzchniwego odwiertu samoczynnego ropy?
3. Jakie zadanie spełnia głowica eksploatacyjna odwiertu samoczynnego?
4. Jaką funkcje spełniają zasuwy montowane na głowicy eksploatacyjnej?
5. Jakie nominalne wartości ciśnień powinny posiadać głowice eksploatacyjne?
6. W jaki sposób odbywa się sterowanie zasuwami na głowicy?

7. W jaki sposób rury wydobywcze zamocowane są w głowicy odwiertu?
8. Jakie średnice rur wydobywczych określa norma API?
9. Od czego zależy średnica wewnętrzna rur wydobywczych?
10. W jakim celu stosuje się separator na odwiercie samoczynnym ropy?
11. Jakie zjawiska fizyczne wykorzystuje się w pracy separatorów?
12. Jakie są kryteria podziału separatorów?
13. Jakie są znane typy (rodzaje) separatorów?
14. Czym różni się separator dwufazowy od trójfazowego?
15. Na czym polega separacja wielostopniowa?

4.2.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Na odwiercie samoczynnym ropy naftowej planowane jest wykonanie pomiarów wgłębnych ciśnienia i temperatury z wykorzystaniem techniki linowej. Korzystając z oznaczeń elementów głowicy (zasuw), jak na rys. 3. Poradnika dla ucznia, określ kolejność czynności, jakie należy wykonać przy zapuszczaniu a następnie przy wyciąganiu przyrządów pomiarowych.

W wykazie czynności uwzględnij zamontowanie i demontaż śluzy pomiarowej. Wykaz sporządź w postaci zestawienia tabelarycznego.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:
1) określić rodzaje czynność, jakie będą wymagane w całej operacji związanej z wykonaniem pomiarów,
2) wypisać te elementy głowicy, które będą użyte w trakcie wykonywania pomiarów,
3) sporządzić tabelę, do której wpiszesz kolejno czynności i numery elementów głowicy,
4) ustalić kolejność wykonywania poszczególnych czynności,
5) wypełnić przygotowaną tabelę, oddzielnie dla zapuszczania i wyciągania przyrządów,
6) dokonać prezentacji wyników pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:
- przybory rysunkowe: ołówek, gumka,
- schemat głowicy eksploatacyjnej,
- tabele oznaczeń elementów głowicy,
- zeszyt.

Ćwiczenie 2

Wykonaj schemat blokowy przedstawiający klasyfikację separatorów z uwzględnieniem poznanych kryteriów podziału. Schemat wykonaj odręcznie na karcie papieru, a następnie z wykorzystaniem techniki komputerowej.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:
1) wypisać poznane kryteria podziału separatorów,
2) wypisać znane typy separatorów,
3) przyporządkować poszczególne typy separatorów do ustalonych kryteriów podziału,
4) wykonać odręcznie schemat blokowy,

5) wykonać schemat z wykorzystaniem komputera,
6) zaprezentować wyniki swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:
- Poradnik dla ucznia,
- przybory rysunkowe,
- kartki papieru,
- komputer,
- zeszyt.

4.2.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) wymienić elementy uzbrojenia wgłębnego odwiertu samoczynnego ropy?	☐	☐
2) wymienić urządzenia wyposażenia napowierzchniowego odwiertu samoczynnego?	☐	☐
3) określić zadania poszczególnych urządzeń napowierzchniowych?	☐	☐
4) omówić budowę głowicy eksploatacyjnej odwiertu samoczynnego?	☐	☐
5) określić przeznaczenie poszczególnych zasuw głowicy eksploatacyjnej?	☐	☐
6) podać wartości ciśnień nominalnych dla głowic eksploatacyjnych?	☐	☐
7) podać wartości średnic nominalnych rur wydobywczych?	☐	☐
8) scharakteryzować zasadę działania separatora grawitacyjnego?	☐	☐
9) przedstawić klasyfikację separatorów stosowanych na odwiertach ropno-gazowych?	☐	☐
10) określić na schemacie separatora poziomego przeznaczenie poszczególnych króćców?	☐	☐
11) określić funkcję pakerów eksploatacyjnych?	☐	☐
12) wyjaśnić sposób zapuszczania i zapinania pakerów eksploatacyjnych?	☐	☐
13) wymienić rodzaje zbiorników i elementy ich uzbrojenia?	☐	☐
14) określić zasady sytuowania zbiorników przy odwiercie eksploatacyjnym?	☐	☐

4.3. Parametry wydajności odwiertu samoczynnego

4.3.1. Materiał nauczania

Pod pojęciem wydajność odwiertu rozumiemy ilość ropy naftowej i gazu ziemnego wydobytych w jednostce czasu podczas eksploatacji złoża [9]. Ilość ropy naftowej możemy podawać w tonach lub m^3, natomiast ilość gazu ziemnego w Nm^3 (normalnych metrach sześciennych) tj. w warunkach normalnych, zredukowanych do ciśnienia 1013,25 hPa i temperatury 273 K (0^oC). Dla odwiertu możemy określić jego wydajność potencjalną, jako teoretyczną ilość ropy naftowej dopływająca do odwiertu w jednostce czasu przy przeciwciśnieniu na złoże równym ciśnieniu atmosferycznemu.

Ilość wydobywanej ropy naftowej z odwiertu przy eksploatacji samoczynnej określa się jako wydobycie:

1) potencjalne,
2) optymalne.

Wydobycie potencjalne ropy naftowej z odwiertu jest to maksymalna ilość ropy, jaką można wydobyć w jednostce czasu z odwiertu, w trakcie wolnego, samoczynnego wypływu. Wolny, samoczynny wypływ ropy z odwiertu może mieć miejsce w sytuacji braku dławienia wypływu na głowicy odwiertu eksploatacyjnego. W tym przypadku możemy mieć do czynienia z powstawaniem w złożu stożków wodnych i gazowych, wynoszeniem z ropą znacznych ilości materiału skalnego (piasku) ze strefy przyodwiertowej złoża ropnego. Eksploatacja ropy w tych warunkach odbywa się z dużym lub bardzo dużym wykładnikiem gazowym *WG*. Prowadzi to do stosunkowo szybkiego odgazowania złoża a tym samym pozbawienia go ważnego czynnika energetycznego, jakim jest energia gazu rozpuszczonego w ropie, który wydzielając się z ropy w odwiercie, powoduje nagazowanie słupa ropy w rurach wydobywczych.

Aby uniknąć tych zagrożeń eksploatacja samoczynna ropy naftowej powinna być prowadzona w warunkach wydobycia optymalnego. Jest to wydobycie zapewniające maksymalne sczerpanie zasobów złoża przy minimalnych kosztach lub maksymalnym wykorzystaniu energii złożowej. Zapewnia to dłuższy okres prowadzenia eksploatacji samoczynnej ropy naftowej danym odwiertem.

W odwiertach samoczynnych ropy naftowej podstawowym wskaźnikiem, określającym wydobycie optymalne, jest wielkość wykładnika gazowego *WG*.

Wykładnik gazowy określa liczbę metrów sześciennych wydobywanego gazu ziemnego przypadającą na jednostkę ilości ropy naftowej, wydobytej w tym samym czasie z odwiertu eksploatacyjnego. Wielkość wykładnika gazowego określamy wzorem:

$$WG = \frac{G}{Q} \quad [Nm^3/m^3] \text{ lub } [Nm^3/t]$$

gdzie:

G – ilość gazu ziemnego wydobytego razem z ropą [Nm^3],
Q – ilość wydobytej ropy naftowej [m^3] lub [t].

Wydobycie ropy naftowej i gazu ziemnego z samoczynnego odwiertu ropno-gazowego reguluje się poprzez:

- stosowanie właściwie dobranych pod względem średnicy zwężek dławiących,
- stosowanie rur wydobywczych o odpowiedniej średnicy.

Zwężki dławiące montuje się na głowicy odwiertu lub na odcinku odpływowym nagazowanej ropy z odwiertu. Zwężki dławiące mogą być również instalowane w odwiercie, w dolnym końcu rur wydobywczych.

Określenie głównych parametrów instalacji wydobywczej samoczynnego odwiertu ropno-gazowego polega na obliczeniu lub doborze:
1) długości kolumny rur wydobywczych,
2) średnicy rur wydobywczych,
3) średnicy prześwitu zwężki dławiącej.

Długość kolumny rur wydobywczych L [m] można obliczyć ze wzoru [4]:

$$L = \frac{h}{2} + \sqrt{\left(\frac{h}{2}\right) + \frac{799121 \cdot WG \cdot h \cdot d^{0,5}}{g_r} \log \frac{P_n}{P_{gd}}}$$

gdzie:

WG – wykładnik gazowy niezbędny do istnienia samoczynnego wypływu [Nm^3/m^3],
d – średnica rur wydobywczych [m],
P_n – ciśnienie nasycenia [MPa],
P_{gd} – ciśnienie głowicowe dynamiczne [MPa],
γ_r – ciężar właściwy ropy naftowej [N/m^3],

$$h = \frac{P_n - P_{gd}}{g_{śr}} [m]$$

gdzie:

$\gamma_{śr}$ – średni ciężar właściwy ropy w rurach wydobywczych [N/m^3].

Jeżeli dla danego odwiertu $P_{dd} > P_n$, to tak obliczoną długość kolumny rur wydobywczych wskazane jest zwiększyć o 30 do 40 m. Jeżeli natomiast $P_{dd} < P_n$ kolumnę rur wydobywczych należy zapuścić do stropu złoża (miejsca górnej części otworów perforacyjnych wykonanych w kolumnie rur okładzinowych).

Średnicę rur wydobywczych, przy założeniu określonej wydajności Q, można określić ze wzoru:

$$d = 0,2628 \sqrt{\frac{L \cdot g_r}{P_1 - P_{gd}}} \cdot \sqrt[3]{\frac{Q \cdot L}{L - \frac{(P_1 - P_{gd}}{g_r}}}$$

gdzie:

d – średnica rur wydobywczych [m],
Q – planowana wydajność odwiertu [m^3/s],
P_1 – ciśnienie u spodu rur wydobywczych [Pa],
pozostałe oznaczenia jak powyżej.

W przybliżeniu można przyjąć, że wartość ciśnienia P_1 jest równa ciśnieniu dennemu dynamicznemu P_{dd}. Ciśnienie głowicowe dynamiczne P_{gd} w tym przypadku należy przyjmować jako ciśnienie panujące w rurach wydobywczych na głowicy odwiertu.

W praktyce średnice rur wydobywczych stosowanych przy eksploatacji samoczynnej ropy wynoszą najczęściej: 2”, 2 ½” , 2 ⅜” , 2 ⅞”.

Zwężki dławiące

Eksploatacja samoczynna ropy naftowej, z zachowaniem optymalnych warunków wydobycia dla danego odwiertu, wymaga zastosowania zwężki dławiącej samoczynny wypływ nagazowanej ropy. Zwężki dławiące samoczynny wypływ z odwiertu mogą również nosić nazwę zwężki produkcyjne.

Średnicę zwężki dławiącej zapewniającej optymalne wydobycie można określi ze wzoru lub na podstawie próbnego odbioru płyny, przy zmiennych warunkach wydobycia.

Średnicę prześwitu zwężki dławiącej, niezbędnej dla utrzymania odpowiedniego przeciwciśnienia na złoże można obliczyć na podstawie uproszczonego wzoru [7]:

$$d_p = 2{,}51 \cdot j \cdot \sqrt{\frac{G \cdot g_g}{P_{gd}}}$$

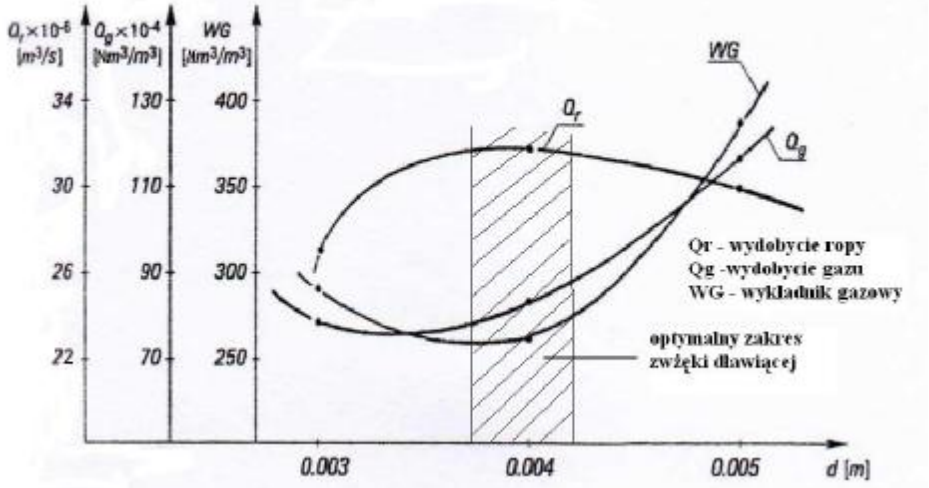
gdzie:

d_p – średnica prześwitu zwężki [m],
φ – współczynnik zależny od wartości *WG* (można przyjąć φ = 1,1),
G – wydobycie gazu z danego odwiertu [Nm^3/s],
γ_g – ciężar właściwy gazu [N/m^3],
P_{gd} – ciśnienie głowicowe dynamiczne [Pa].

W praktyce optymalną średnicę zwężki dławiącej ustala się na podstawie pomiarów parametrów hydrodynamicznych metodą próbnego odbioru płynu. Pomiar polega na kilkakrotnej zmianie warunków eksploatacji, poprzez zmianę średnicy zwężki dławiącej. Dla zwężek o różnych średnicach wykonuje się pomiar wielkości wydobycia ropy naftowej z równoczesnym pomiarem ilości wydobywanego gazu. Na podstawie tych danych określa się wartość wykładnika gazowego dla poszczególnych zwężek dławiących.

Uwzględniając wartości wydobycia ropy i gazu oraz wartość *WG* można sporządzić wykres (rys. 10), na podstawie którego określa się optymalną średnicę zwężki dławiącej.

Optymalne warunki samoczynnej eksploatacji są wtedy, gdy wydobywanym płynie nie ma wody ani części stałych (piasku), a wydobycie ropy jest duże przy stosunkowo najmniejszym wykładniku gazowym. Prowadzenie eksploatacji przy zachowaniu stosunkowo najmniejszego wykładnika gazowego zapewnia racjonalne wykorzystanie energii złożowej, jaką jest w tym przypadku energia rozprężającego się gazu, który wydziela się z ropy naftowej.



Rys. 10. Wyznaczenie optymalnej średnicy zwężki dławiącej

Przy eksploatacji samoczynnej ropy naftowej mogą być stosowane zwężki stałe (kryzy), o stałej średnicy otworu przelotowego lub zwężki nastawialne (dysze regulowane), których wielkość otworu przelotowego może być regulowana ręcznie lub automatycznie przez operatora obsługującego odwiert eksploatacyjny.

Średnice zwężek stałych mogą zawierać się w zakresie od 3 do 15 mm. Stosowane też mogą być zwężki wg. norm API, np.: 14/64” (5,56 mm) czy 22/64” (8,73 mm).

Zaburzenia samoczynnego wypływu

Niezaburzony wypływ ropy naftowej z odwiertu samoczynnego charakteryzuje się stałym wydobyciem ropy i gazu oraz stałym ciśnieniem w rurach wydobywczych oraz w przestrzeni pierścieniowej, w stosunkowo krótkim okresie czasu eksploatacji złoża.

Spadek wydobycia ropy może być spowodowany przyczynami naturalnymi, do których możemy zaliczyć

1) spadek ciśnienia złożowego,
2) zawodnienie strefy przyodwiertowej,
3) spadek ciśnienia dennego wskutek zmian w strefie przyodwiertowej w wyniku:
   - zaparafinowania porów skały roponośnej,
   - osadzania się w porach cząstek stałych złoża,
   - zwiększenia się tzw. skin efektu.

Zaburzenia samoczynnego wypływu mogą być również wywołane wskutek innych przyczyn. Jeżeli nastąpił stosunkowo szybki wzrost ciśnienia w rurach wydobywczych na głowicy, może to oznaczać zatkanie osadami parafiny lub piaskiem przewodu odpływowego ropy z głowicy lub zatkanie się zwężki dławiącej. Zmniejszenie się ciśnienia w rurach wydobywczych i spadek wielkości wydobycia może świadczyć o zatkaniu się piaskiem lub osadami parafiny dolnej części rur wydobywczych.

Przy eksploatacji samoczynnej ropy naftowej jednym z poważniejszych utrudnień jest tworzenie się osadów parafiny w rurach wydobywczych oraz w rurociągu łączącym odwiert z separatorem zwłaszcza, gdy eksploatowana jest ropa wysokoparafinowa. Czynnikiem ułatwiającym wytrącanie się parafiny jest spadek temperatury strumienia zgazowanej ropy w wyniku rozprężania się gazu (efekt Joule'a – Thomsona). Dla przeciwdziałania tworzeniu się osadów parafiny za zwężką dławiącą wskazane jest zainstalowanie na odwiercie wymiennika ciepła (podgrzewacza), pomiędzy głowicą eksploatacyjną a zwężką lub tuż za zwężką dławiącą a przed separatorem.

Zmniejszenie się ciśnienia w przestrzeni pierścieniowej odwiertu może świadczyć o gromadzeniu się na dnie odwiertu zasypu lub wody złożowej. Ciśnienie w przestrzeni pierścieniowej jest zwykle większe niż ciśnienie w rurach wydobywczych.

4.3.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Co rozumiemy pod pojęciem wydajność odwiertu?
2. Czym charakteryzuje się wydobycie potencjalne samoczynnego odwiertu ropno-gazowego?
3. Co jest podstawowym miernikiem wydobycia optymalnego odwiertu ropno-gazowego?
4. Jak definiuje się wykładnik gazowy?
5. W jaki sposób można regulować wydobycie z odwiertu samoczynnego?
6. Jaką rolę pełnią zwężki na odwiercie samoczynnym?
7. Jakie wyróżnia się główne parametry instalacji wydobywczej odwiertu samoczynnego?
8. Do jakiej głębokości zapuszcza się kolumnę rur wydobywczych, gdy $P_{dd} < P_n$?
9. Jakie w praktyce są stosowane średnice rur wydobywczych?

10. W jaki sposób ustala się optymalną średnicę zwężki dławiącej?
11. Jaką wartość *WG* przyjmuje się przy doborze zwężki dławiącej?
12. W jakich miejscach instaluje się zwężkę dławiącą na odwiercie samoczynnym ropy naftowej?
13. Ile może wynosić średnica zwężki dławiącej?
14. Co zaliczamy do naturalnych przyczyn spadku wydobycia samoczynnego?
15. Jakie mogą być przyczyny zaburzenia samoczynnego wydobycia ropy naftowej?

4.3.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

W odwiercie samoczynnym ropy naftowej przeprowadzono pomiar parametrów hydrodynamicznych metodą próbnego odbioru płynu, zmieniając czterokrotnie średnicę zwężki dławiącej, zamontowanej na głowicy odwiertu. Dla każdej zwężki dokonano pomiaru wielkości wydobycia ropy naftowej i ilości towarzyszącego ropie gazu ziemnego. Wyniki pomiarów przedstawia poniższa tabela.

Lp.	**Średnica zwężki [mm]**	**Wydobycie ropy [dm^3/s]**	**Wydobycie gazu [Nm^3/min]**	**WG**
	4	$27 \cdot 10^{-2}$	0,81	
	5	$30 \cdot 10^{-2}$	0,72	
	6	$32 \cdot 10^{-2}$	0,92	
	7	$30 \cdot 10^{-2}$	1,17	

Na podstawie wyników pomiarów określ średnicę zwężki dławiącej, jaką powinno się zainstalować na tym odwiercie, aby uzyskać wydobycie optymalne ropy naftowej.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:
1) sporządzić w zeszycie tabelkę, do której wpiszesz wyniki pomiarów,
2) przeliczyć wartości wydobycia z zachowaniem jednostek SI,
3) obliczyć wartość wykładnika gazowego,
4) sporządzić układ współrzędnych,
5) wykonać wykresy zależności wydobycia i *WG* od średnicy zwężki,
6) określić z wykresu optymalną średnicę zwężki,
7) zaprezentować wyniki swojej pracy,
8) uzasadnić przyjęte rozwiązanie.

Wyposażenie stanowiska pracy:
- przybory rysunkowe: linijka, ołówek, gumka,
- kartki papieru milimetrowego,
- kartki papieru A4 (ksero),
- kalkulator,
- zeszyt.

Ćwiczenie 2

Oblicz średnicę rur wydobywczych dla odwiertu samoczynnego, przyjmując następujące dane wyjściowe:

- wydajność odwiertu $115{,}8 \cdot 10^{-3}$ m^3/min,
- długość rur wydobywczych 1200 m,
- ciśnienie u spodu rur wydobywczych 3100 kPa,
- ciśnienie głowicowe dynamiczne 0,15 MPa,
- gęstość ropy naftowej 880 kg/m^3.

Po obliczeniu wartości średnicy rur wyrażonej w metrach, dobierz najbliższą wartość średnicy według norm API.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) wypisać z zeszytu (Poradnika) wzór na obliczenie średnicy rur,
2) przeliczyć podane wartości z uwzględnieniem odpowiednich jednostek,
3) obliczyć wartość średnicy rur,
4) dobrać rury zgodnie z normą API,
5) zaprezentować wyniki swojej pracy,
6) uzasadnić przyjęte rozwiązanie.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- Poradnik dla ucznia,
- zestawienie danych technicznych rur wydobywczych,
- kalkulator,
- zeszyt.

4.3.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) zdefiniować pojęcia; wydobycie potencjalne i optymalne odwiertu samoczynnego ropy naftowej?	□	□
2) zdefiniować pojęcie wykładnika gazowego?	□	□
3) określić sposoby regulacji wydobycia ropy z odwiertu samoczynnego?	□	□
4) obliczyć wartość wykładnika gazowego?	□	□
5) określić zasady ustalania głębokości zapuszczenia rur wydobywczych?	□	□
6) wyjaśnić rolę zwężek dławiących stosowanych na odwiertach samoczynnych ropy naftowej?	□	□
7) wymienić wielkości średnic rur wydobywczych przy eksploatacji samoczynnej?	□	□
8) określić zasady doboru średnic rur wydobywczych i zwężki dławiącej?	□	□
9) określić miejsca, w których mogą być instalowane zwężki dławiące na odwiercie samoczynnym?	□	□
10) wyznaczyć optymalną średnicę zwężki dławiącej?	□	□
11) wymienić rodzaje zaburzeń samoczynnego wypływu ropy z odwiertu oraz podać ich przyczyny?	□	□

4.4. Rodzaje gazodźwigów

4.4.1. Materiał nauczania

Po ustaniu eksploatacji samoczynnej ropy naftowej z odwiertu jej dalsze wydobywanie może być prowadzone jedną z metod mechanicznych, do których zaliczamy eksploatację za pomocą sprężonego gazu. Polega ona na wydobywaniu płynu złożowego (ropy naftowej, solanki, wód mineralnych) przez wynoszenie ich na powierzchnię sprężonym gazem doprowadzonym z powierzchni do urządzenie wydobywczego. Ten sposób wydobywania ropy naftowej powszechnie nazywany jest gazodźwigiem. W przypadku stosowania powietrza zamiast gazu ziemnego, np. przy wydobywaniu wód podziemnych, ten sposób eksploatacji nazywamy gazodźwigiem powietrznym.

W praktyce naftowej znanych jest kilka typów gazodźwigów. Podstawowa odmiana gazodźwigu, jakim jest gazodźwig sprężarkowy (tłoczenie gazu do odwiertu przy pomocy sprężarki), charakteryzuje się ciągłym zatłaczaniem gazu do odwiertu, a także ciągłym wypływem na powierzchnię nagazowanej ropy naftowej.

Ze względu na konstrukcję, którą określa liczba kolumn rur instalacji wydobywczej zapuszczonych do odwiertu eksploatacyjnego, gazodźwigi można podzielić na:

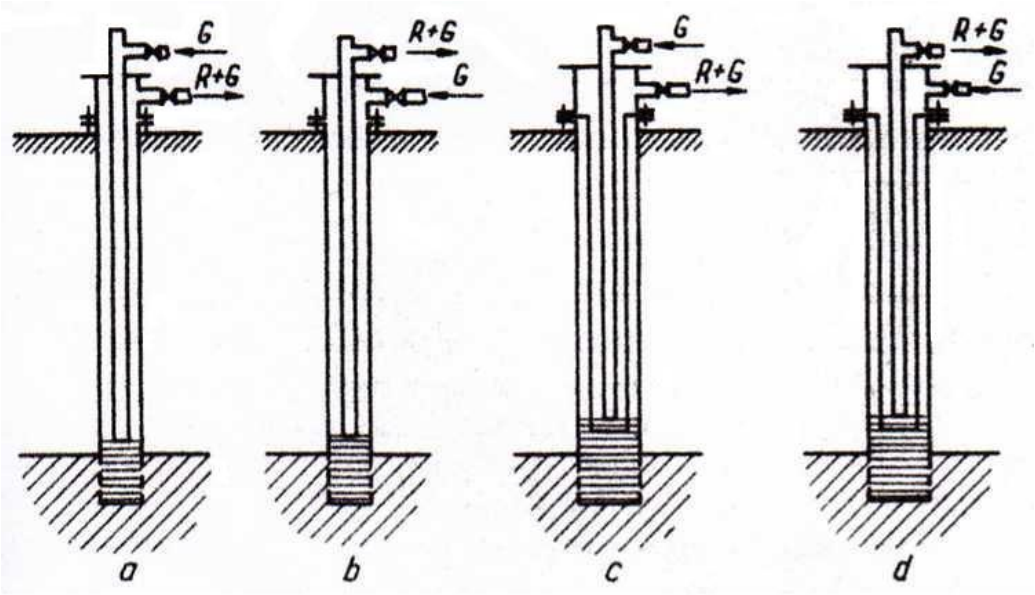
a) jednokolumnowe,
b) dwukolumnowe:
   – współśrodkowe kolumny rur instalacji gazodźwigowej,
   – równoległe kolumny rur instalacji gazodźwigowej.

Ze względu na sposób zatłaczania gazu do odwiertu gazodźwigi można podzielić na;

– centralne,
– pierścieniowe.

Ponadto do eksploatacji ropy naftowej mogą być również stosowane:

– gazodźwig sprężarkowy z komorą wymiany nazywany pompą wyporową,
– gazodźwig nurnikowy.



Rys. 11. Typy konstrukcyjne gazodźwigów sprężarkowych a – jednokolumnowy centralny, b – jednokolumnowy pierścieniowy, c – dwukolumnowy centralny, d – dwukolumnowy pierścieniowy [4, s. 202]

W gazodźwigu jednokolumnowym kolumna rur wydobywczych zapuszczona jest bezpośrednio do eksploatacyjnej kolumny rur okładzinowych i sięga poziomu ropy naftowej. Przy systemie centralnym tą kolumną tłoczony jest gaz z powierzchni, natomiast wypływ nagazowanej ropy odbywa się przestrzenia pierścieniową, pomiędzy kolumna okładzinową a rurami wydobywczymi. W systemie pierścieniowym gaz tłoczony jest do odwiertu przestrzenią pierścieniową, a wypływ nagazowanej ropy odbywa się kolumna rur wydobywczych.

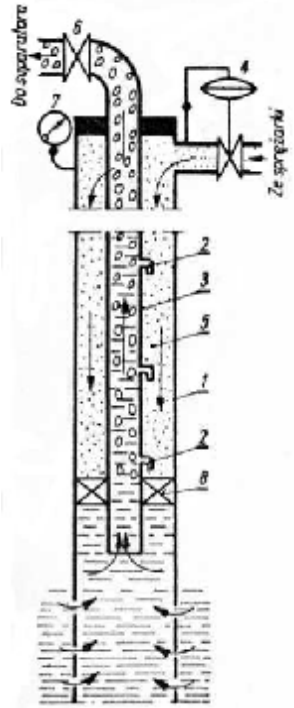
W gazodźwigu jednokolumnowym dynamiczny poziom ropy naftowej znajduje się na głębokości dolnego końca (buta) rur wydobywczych.

Gazodźwig dwukolumnowy posiada dwie, współśrodkowe kolumny rur wydobywczych, zapuszczone do eksploatacyjnej kolumny rur okładzinowych. Zewnętrzna kolumna rur zapuszczona może być na głębokość od 20 do 30 m ponad strop złoża lub górny rząd otworów perforacyjnych wykonanych w rurach okładzinowych. Przy systemie centralnym gaz tłoczony jest wewnętrzną kolumną rur wydobywczych, natomiast nagazowana ropa wypływa przestrzenia pierścieniową między rurami wydobywczymi. W gazodźwigu pierścieniowym gaz tłoczony jest przestrzenią pierścieniową między rurami wydobywczymi, zaś ropa wypływa wewnętrzną kolumną rur.

Przy gazodżwigu dwukolumnowym ma miejsce rzeczywiste zanurzenie rur wydobywczych pod dynamiczny poziom ropy w odwiercie (rys. 11. c, d).

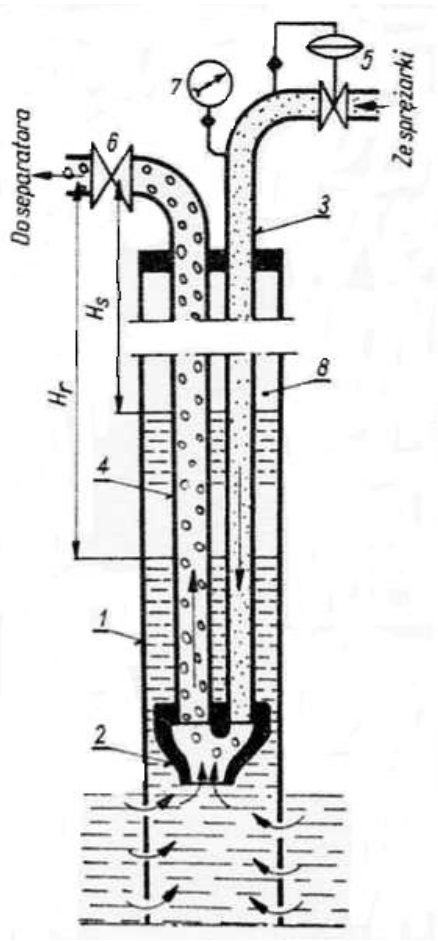
Gazodźwig centralny nie powinien być stosowany do eksploatacji ropy naftowej zanieczyszczonej piaskiem, ze względu na stosunkowo szybkie wycieranie złączek połączeniowych centralnych rur wydobywczych (nagazowana ropa z piaskiem przepływa przestrzenią pierścieniową).

W przypadku stosowania gazodźwigu pierścieniowego, zwłaszcza dla głębszych odwiertów, zachodzi konieczność wyposażenia wewnętrznej kolumny rur wydobywczych w zawory rozruchowe (rys. 12). Umożliwiają one obniżenie ciśnienia rozruchowego poprzez nagazowanie słupa ropy w rurze wydobywczej (obniżenie ciężaru właściwego ropy), tym samym ułatwia to rozpoczęcie pracy gazodźwigu.



Rys. 12. Gazodźwig jednokolumnowy pierścieniowy z zaworami rozruchowymi 1 – rury okładzinowe, 2 – zawory rozruchowe, 3 – rury wydobywcze, 4 – regulator ciśnienia, 5 – przestrzeń międzyrurowa, 6 – zasuwa, 7 – manometr, 8 – uszczelniacz (paker) [15, s. 289]

Gazodźwig dwukolumnowy z rurami zapuszczonymi do odwiertu równolegle (system Pohle) przedstawia rysunek 13.



Rys. 13. Gazodźwig dwukolumnowy (system Pohle): 1 – rury okładzinowe, 2 – stopa (but), 3 – kolumna rur zasilających, 4 – kolumna rur wydobywczych, 5 – regulator ciśnienia, 6 – zasuwa, 7 – manometr, 8 – przestrzeń międzyrurowa. [15, s. 287]

Gazodźwig sprężarkowy z komorą wymiany (pompa wyporowa)

Pompa wyporowa (rys. 14) jest urządzeniem wydobywczym, w którym pracę wydźwignięcia ropy na powierzchnie wykonuje energia rozprężającego się gazu. Urządzenie składa się z dwukolumnowego współśrodkowego zestawu rur wydobywczych. W dolnej części zewnętrznej kolumny wydobywczej znajduje się specjalna komora wymiany z zaworem zwrotnym, który uniemożliwia bezpośrednie oddziaływanie medium roboczego (gazu) na złoże ropy naftowej. Na głowicy odwiertu znajduje się zawór regulacyjny, który steruje tłoczeniem gazu do przestrzeni pierścieniowej rur wydobywczych, a tym samym do komory wymiany. Długość komory wymiany L_2 nie powinna być większa od wysokości statycznego słupa ropy w odwiercie h_o.

Pompa wyporowa pracuje w sposób cykliczny, przy czym pełny cykl pracy składa się z trzech okresów:

- okres napełniania komory,
- okres wytłaczania ropy z komory,
- okres wyrównywania ciśnień.

W okresie napełniania komory (rys. 14) zamknięty jest zawór regulacyjny „Z" i przerwany jest dopływ gazu do przestrzeni pierścieniowej kolumny rur wydobywczych. Wewnątrz rur wydobywczych panuje wówczas ciśnienie równe głowicowemu P_{gd}. Pod

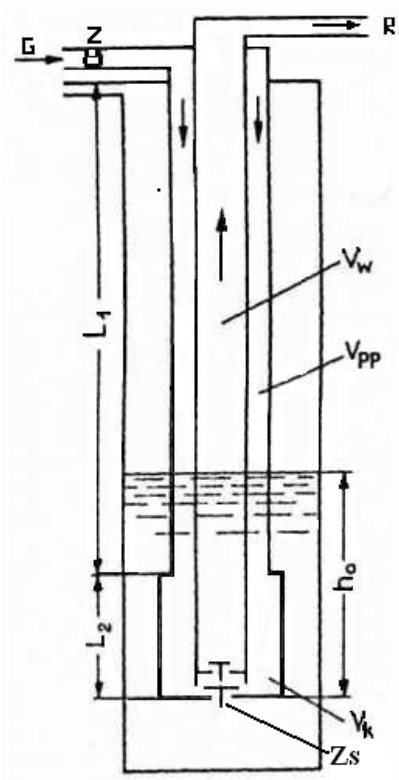
wpływem różnicy ciśnień między komorą a odwiertem (P_{dd}) otwiera się zawór stopowy „Zs”, a ropa dopływa do komory do momentu, aż osiągnie wysokość h_o.

Po zakończeniu okresu napełniania komory zawór regulacyjny „Z” otwiera dopływ sprężonego gazu do instalacji, którego ciśnienie w rurach P_G jest większe od P_{dd}. Powoduje to zamknięcie zaworu stopowego i przerwę w dopływie ropy do komory. Tłoczony do instalacji gaz powoduje wytłaczanie ropy z komory do wewnętrznej kolumny rur wydobywczych, gdzie tworzy ona słup o określonej wysokości nazywany „korkiem ropnym”. Następuje ponowne zamknięcie zaworu „Z” i przerwanie tłoczenia gazu do pompy wyporowej (kończy się drugi okres).

Ropa dopływająca ze złoża do odwiertu gromadzi się w tym czasie w przestrzeni między rurami okładzinowymi, a zewnętrzną kolumną rur wydobywczych (komorą).

Na początku trzeciego okresu (wyrównywania ciśnień) w przestrzeni pierścieniowej między kolumnami rur wydobywczych i w komorze pompy panuje ciśnienie gazu P_G, natomiast w rurach wydobywczych nad korkiem ropnym ciśnienie P_{gd}, w przybliżeniu równe ciśnieniu atmosferycznemu. Ta duża różnica ciśnień, co najmniej kilka MPa, powoduje ruch słupa ropy ku górze z dużą prędkością. Różnica ciśnień powinna być taka, aby prędkość ropy w rurach wydobywczych wynosiła od 10 do 20 m/s. Powoduje to wprawdzie znaczne opory przepływu (tarcia), ale zapobiega „prześlizgiwaniu się” gazu w wytłaczanym słupie ropy.

Zaletą stosowania pompy wyporowej jest brak oddziaływania czynnika roboczego (gazu) na złoże ropy oraz mniejsze, niż w przypadku typowego gazodźwigu sprężarkowego, jednostkowe zużycie gazu. Wydajność pompy wyporowej jest natomiast mniejsza od wydajności gazodźwigu sprężarkowego.



Rys. 14. Schemat pompy wyporowej G – gaz ziemny, R – ropa naftowa, Z – zawór regulacyjny, Zs – zawór stopowy, L_1 – długość zewnętrznej kolumny rur wydobywczych, L_2 – długość komory wymiany, V_w – objętość wewnętrznej kolumny rur wydobywczych, V_{pp} – objętość przestrzeni pierścieniowej, V_k – objętość komory wymiany, h_0 – poziom statyczny słupa ropy. [13, s. 161]

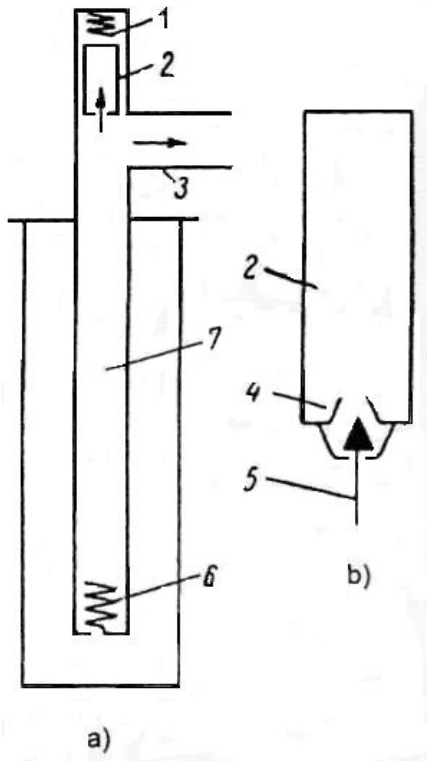
Gazodźwig nurnikowy

Jest to typ gazodźwigu ze swobodnym tłokiem (nurnikiem) umieszczonym w kolumnie rur wydobywczych, którego zadaniem jest oddzielenie gazu od wydobywanej ropy naftowej (rys. 15). Nurnik w dolnej części posiada zawór 5. Pod wpływem własnego ciężaru zawór 5 przesuwa się w dół od położenia w gnieździe 4 i wówczas nurnik opada w dół w rurach wydobywczych.

Podczas opadania nurnika gaz i ropa przepływają przez kanał gniazda zaworu. W chwili, gdy nurnik osiągnie spód kolumny rur wydobywczych, gdzie zamontowany jest amortyzator 6, trzon zaworu nurnika podnosi się i zamyka kanał przelotowy w gnieździe zaworu. Pod wpływem działania naporu sprężonego gazu i ropy w rurach, nurnik przemieszcza się w kolumnie rur wydobywczych ku górze i podnosi równocześnie słup ropy, która znajduje się nad nurnikiem.

Gdy nurnik przemieści się powyżej rurociągu odpływowego ropy 3, gaz i ropa spod nurnika przepływają do rurociągu odpływowego. Tym samym zmniejsza się ciśnienie pod nurnikiem a po uderzeniu nurnika o górny amortyzator 1, nurnik ponownie opada w dół. W ten sposób nurnik spełnia rolę tłoka, przeciwdziałając poślizgowi gazu w wydobywanej ropie naftowej.

Dla rur wydobywczych o średnicy 63 mm masa nurnika wynosi około 6 kg. Prześwit między nurnikiem a wewnętrzną średnicą rur wydobywczych wynosi od 1,5 do 2,0 mm. Zastosowanie nurnika wpływa na zmniejszenie jednostkowego zużycia gazu a także umożliwia wywieranie mniejszego przeciwciśnienia na złoże, niż przy zastosowaniu gazodźwigu sprężarkowego.



Rys. 15. Schemat gazodźwigu nurnikowego: a) rozmieszczenie nurnika i amortyzatorów w kolumnie rur wydobywczych: 1 – amortyzator górny, 2 – nurnik, 3 – rurociąg wypływowy dla gazu i ropy, 6 – amortyzator dolny, 7 – rury wydobywcze wypełnione ropą naftową i gazem, b) konstrukcja nurnika: 2 – nurnik, 4 – gniazdo zaworu nurnika, 5 – zawór zwrotny nurnika [13, s. 163]

4.4.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Co rozumie się pod pojęciem gazodźwig?
2. Jaki jest podział gazodźwigów sprężarkowych?
3. Co jest czynnikiem roboczym przy wydobywaniu ropy naftowej za pomocą gazodźwigu?
4. Co nazywamy pompa wyporową?
5. Kiedy gazodźwig nazywamy jedno lub dwukolumnowym?
6. Czym różni się gazodźwig centralny od pierścieniowego?
7. Dlaczego gazodźwig centralny nie powinien być stosowany do wydobywania ropy zapiaszczonej?
8. Jak jest konstrukcja gazodźwigu systemu Pohle?
9. Czym charakteryzuje się budowa pompy wyporowej?
10. Z jakich okresów składa się cykl pracy pompy wyporowej?
11. Dlaczego wypływ ropy, przy zastosowaniu pompy wyporowej, powinien odbywać się z dużą prędkością?
12. Z jakich elementów składa się instalacja gazodźwigu nurnikowego?
13. Jaką rolę w gazodźwigu spełnia nurnik?
14. Przy którym gazodźwigu należy stosować zawory rozruchowe?

4.4.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Przedstaw klasyfikację gazodźwigów w postaci schematu blokowego. Dla gazodźwigu sprężarkowego wykonaj schematy przedstawiające konstrukcję poszczególnych typów gazodźwigu.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) wypisać poszczególne typy gazodźwigów,
2) sporządzić schemat blokowy z uwzględnieniem przyjętego kryterium podziału,
3) przedstawić poszczególne typy gazodźwigu sprężarkowego w postaci schematu,
4) oznaczyć na poszczególnych schematach kierunki przepływu płynów,
5) zaprezentować wyniki swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- przybory do rysowania,
- papier ksero A4,
- zeszyt.

Ćwiczenie 2

Dla pompy wyporowej wykonaj schematy przedstawiające rozkład gazu i ropy naftowej w instalacji gazodźwigowej, w trakcie poszczególnych okresów, składających się na pełny cykl pracy pompy. Na poszczególnych schematach oznacz rodzaje ciśnień występujących w charakterystycznych punktach instalacji, podając zależności między nimi, np. $P_{dd} > P_k$ (ciśnienie denne dynamiczne większe od ciśnienia w komorze pompy). Schematy dla poszczególnych okresów pracy pompy przedstaw na oddzielnych kartkach.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:
1) wypisać poszczególne okresy pracy pompy wyporowej,
2) przypisać dla ustalonych okresów ich cechy charakterystyczne,
3) wykonać wymaganą liczbę schematów budowy pompy,
4) nanieść na schematach właściwy rozkład mediów,
5) oznaczyć na schematach rodzaje ciśnień,
6) wyznaczyć zależności pomiędzy poszczególnymi ciśnieniami,
7) zaprezentować wyniki obliczeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:
- przybory do rysowania,
- kartki papieru A4,
- kserokopiarka,
- kredki,
- zeszyt.

4.4.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) scharakteryzować zasadę wydobywania ropy naftowej za pomocą sprężonego gazu?	☐	☐
2) przedstawić klasyfikację gazodźwigów?	☐	☐
3) sporządzić schematy poszczególnych typów gazodźwigu sprężarkowego?	☐	☐
4) scharakteryzować pracę gazodźwigu sprężarkowego?	☐	☐
5) wykazać różnicę między gazodźwigiem centralnym a pierścieniowym?	☐	☐
6) sporządzić schemat budowy pompy wyporowej?	☐	☐
7) scharakteryzować zasadę działania pompy wyporowej?	☐	☐
8) określić, w którym gazodźwigu wymagane jest zastosowanie zaworów rozruchowych?	☐	☐
9) scharakteryzować działanie gazodżwigu nurnikowego?	☐	☐
10) podać zalety i wady pompy wyporowej i gazodźwigu nurnikowego?	☐	☐

4.5. Charakterystyka pracy i obliczanie gazodźwigu sprężarkowego

4.5.1. Materiał nauczania

Istota pracy gozodźwigu sprężarkowego polega na wtłaczaniu przy użyciu sprężarek do odwiertu gazu ziemnego w celu nagazowania słupa wydobywanej ropy naftowej. Tłoczenie gazu odbywa się pod odpowiednio wysokim ciśnieniem oraz z odpowiednią wydajnością. Gaz ziemny może być również dostarczany z innego odwiertu gazowego pod warunkiem zapewnienia odpowiedniego ciśnienia i wydajności. Jako czynnik roboczy, zamiast gazu ziemnego, może być stosowany azot.

Rysunek 16 przedstawia schemat i zasadę działania gazodźwigu centralnego dwukolumnowego. Pod wpływem ciśnienia złożowego ropa naftowa napływa do odwiertu wypełniając przestrzeń pierścieniową 5 i 8 na wysokość *Hr*. Z powierzchni za pomocą sprężarki tłoczony zostaje gaz ziemny do rur wydobywczych 3. Powoduje to wytłoczenie ropy w przestrzeni pierścieniowej 8 na wysokość *H1* oraz w przestrzeni pierścieniowej 5 na wysokość *H2* od buta kolumny rur wydobywczych 3. Tym samym ciśnienie gazu na wysokości buta rur 3 musi równoważyć ciśnienie słupa ropy w przestrzeni 5, zgodnie ze wzorem:

$$P_g = H_2 \cdot g_r \text{ [Pa]}$$

gdzie:

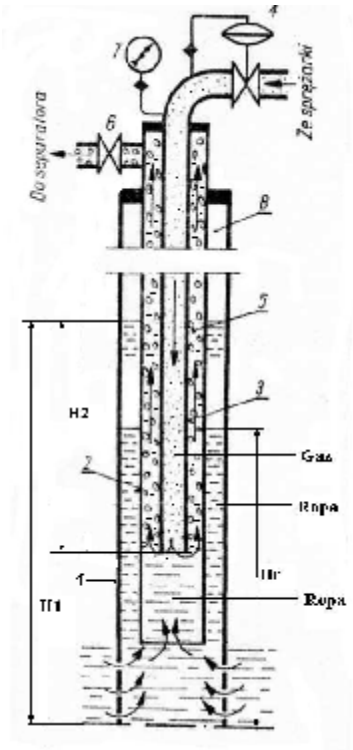
H_2 – wysokość słupa ropy w przestrzeni pierścieniowej 5 [m],

γ_r – ciężar właściwy ropy naftowej [N/m^3].

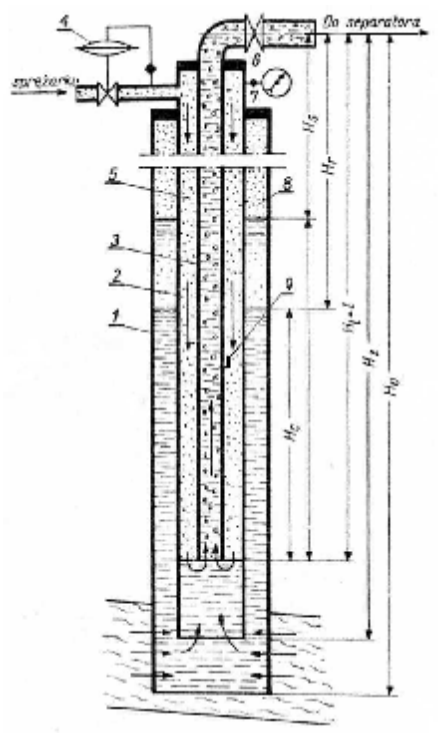
Wysokość, na jaką ropa naftowa zostanie wytłoczona w przestrzeni pierścieniowej H_2 zależna jest od wysokości *Hr* a także od stosunku średnic obydwu rur wydobywczych instalacji gazodźwigowej (wielkości powierzchni przestrzeni pierścieniowej 5) oraz średnicy eksploatacyjnej kolumny rur okładzinowych. Ponieważ powierzchnia przekroju poprzecznego przestrzeni pierścieniowej 5 pomiędzy rurami wydobywczymi jest znacznie większa od powierzchni przekroju rur wewnętrznych 3 to wysokość, na jaką na etapie rozruchu gazodźwigu musi wznieść się ropa w przestrzeni 5 nie jest zbyt duża. Stąd dla gazodźwigu centralnego ciśnienie rozruchowe gazu P_{RO} mierzone na głowicy odwiertu 7 nie musi być zbytnio wysokie.

Kiedy podczas wtłaczania gaz osiągnie but rur 3 przedostaje się do przestrzeni pierścieniowej 5, powodując nagazowanie słupa ropy. Tym samym zmniejsza się ciężar właściwy ropy, który systematycznie maleje, gdy nagazowana ropa przemieszcza się ku głowicy odwiertu. Ciśnienie nagazowanej ropy w przestrzeni pierścieniowej systematycznie spada, osiągając najmniejszą wartość na głowicy odwiertu. Powoduje to rozprężanie się pęcherzyków gazu w strumieniu zgazowanej ropy. Wypływ zgazowanej ropy w tym przypadku jest podobny do wypływu samoczynnego z odwiertu ropno-gazowego.

Rysunek 17 przedstawia schemat i zasadę działania gazodźwigu pierścieniowego dwukolumnowego. Pod wpływem ciśnienia złożowego ropa naftowa w chwili rozruchu gazodźwigu osiąga w wysokość H_c nad butem rur wydobywczych. Gaz z powierzchni tłoczony jest do odwiertu przestrzenią pierścieniową 5. Powoduje to podnoszenie się słupa ropy w kolumnie rur wydobywczych 3 oraz w przestrzeni 8.



Rys. 16. Gazodźwig centralny dwukolumnowy: 1 – rury okładzinowe, 2 – rury wydobywcze zewnętrzne, 3 – rury wydobywcze wewnętrzne, 4 – regulator ciśnienia, 5, 8 – przestrzenie pierścieniowe, 6 – zawór, 7 – manometr [15, s. 287]



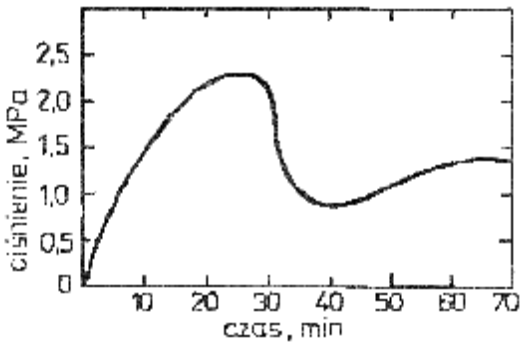
Rys. 17. Gazodźwig pierścieniowy dwukolumnowy: 1 – rury okładzinowe, 2, – rury wydobywcze zewnętrzne, 3 – rury wydobywcze wewnętrzne, 4 – regulator ciśnienia, 5, 8 – przestrzenie pierścieniowe, 6 – zawór, 7 – manometr, 9 – zawór rozruchowy [13, s. 284]

Wysokość, na jaką ropa naftowa zostanie wytłoczona z przestrzeni pierścieniowej 5 do kolumny rur wewnętrznych 3 zależna jest od wysokości *Hc*, ale przede wszystkim od stosunku średnic obydwu rur wydobywczych instalacji gazodźwigowej a tym samym od wielkości powierzchni przestrzeni pierścieniowej 5. Ponieważ powierzchnia przekroju poprzecznego przestrzeni pierścieniowej 5 pomiędzy rurami wydobywczymi jest znacznie większa od powierzchni przekroju rur wewnętrznych 3 to wysokość, na jaką na etapie rozruchu gazodźwigu musi wznieść się ropa w rurach wydobywczych 3, może być bardzo duża. Stąd dla gazodźwigu pierścieniowego (jedno i dwukolumnowego) ciśnienie rozruchowe gazu P_{RO} mierzone na głowicy odwiertu 7 jest bardzo wysokie. Możemy go określić ze wzoru:

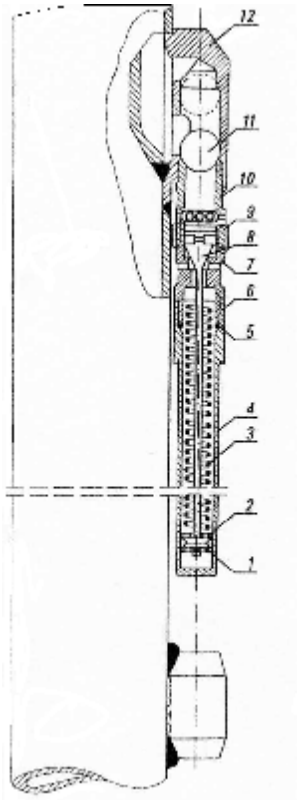
$$P_{RO} = H_{RO} \cdot g_r$$

Dopiero, gdy zatłaczany gaz osiągnie but rur wydobywczych 3 następuje nagazowanie słupa ropy a poprzez to zmniejszenie jej ciężaru właściwego. Tym samym zmniejsza się ciśnienie gazu tłoczonego do odwiertu, które w trakcie pracy gazodźwigu jest znacznie mniejsze od ciśnienia w chwili rozruchu (rys. 18).

Aby obniżyć wartość ciśnienia gazu w czasie rozruchu gazodźwigu pierścieniowego stosuje się jeden lub kilka zaworów rozruchowych, które montowane są na zewnętrznej ściance kolumny rur wydobywczych. Zastosowanie zaworów rozruchowych (rys. 19) powoduje wcześniejsze nagazowanie części słupa ropy w rurach wydobywczych a tym samym zmniejszenie ciężaru właściwego ropy w kolumnie rur wydobywczych, zanim tłoczony do odwiertu gaz osiągnie dolny koniec rur wydobywczych.



Rys. 18. Zmiany ciśnienia czynnika roboczego w czasie rozruchu gazodźwigu pierścieniowego [4, s. 209]



Rys. 19. Zawór rozruchowy typ U-1-M: 1 – nakrętka, 2 – podkładka, 3 – sprężyna, 4 – obudowa sprężyny, 5 – korpus gwintowany, 6 – połączenie gwintowe, 7 – gniazdo, 8 – zawór stożkowy, 9 – pierścień, 10 – tuleja, 11 – kulowy zawór zwrotny, 12 – korpus zaworu [7, s. 100]

Stosowanie ciśnienia rozruchowego P_{RO} znacznie przewyższającego ciśnienie robocze jest nieekonomiczne, gdyż wymaga stosowania sprężarek (kompresorów) o wysokim, niewykorzystywanym w czasie pracy gazodźwigu, stopniu sprężania.

Struktura strumienia zgazowanej ropy w pionowej rurze wydobywczej zależna jest od wzajemnego stosunku objętościowego wydatku przepływu ropy i gazu. Ponieważ wzdłuż długości rury wydobywczej (od buta do głowicy) ciśnienie zmniejsza się, zmienia się także objętościowy wydatek przepływu gazu a tym samym struktura strumienia mieszaniny ropy i gazu.

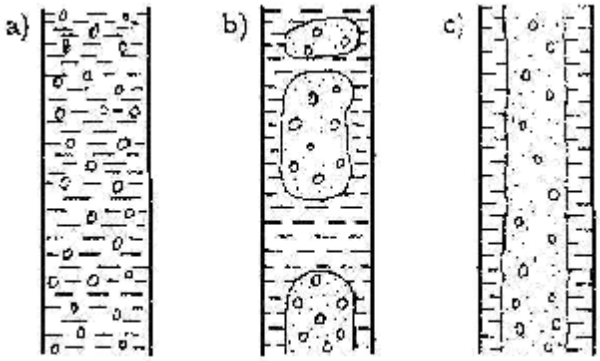
Przy niewielkich objętościowych wydatkach przepływu gazu jego małe pęcherzyki rozproszone są równomiernie w ropie. Prędkość ich ruchu względem ropy jest mała. Małe są

również straty energii w wyniku tzw. prześlizgiwania się gazu. Ten rodzaj struktury nazywamy pianową lub emulsyjną (rys. 20a).

W miarę dalszego spadku ciśnienia następuje wzrost objętościowego wydatku przepływu gazu. Drobne pęcherzyki gazu rozproszone dotychczas równomiernie w ropie łączą się w duże, zajmujące znaczną część przekroju poprzecznego rur wydobywczych. Powoduje to zmniejszanie się współczynnika sprawności energetycznej procesu wydobywania ropy gazodźwigiem, wskutek wzrostu tzw. strat prześlizgiwania się gazu w strumieniu ropy. Ten rodzaj struktury zgazowanej ropy nazywamy pęcherzykową (rys. 20b).

Dalszy wzrost objętościowego wydatku przepływu (przy dalszym spadku ciśnienia) może powodować powstanie w poruszającej się mieszaninie ropy i gazu tzw. struktury mgły (rys. 20c). W tym przypadku w środkowej części przekroju poprzecznego rury wydobywczej gaz stanowi fazę ciągłą, unosząc jedynie rozproszone w sobie drobne kropelki ropy. W warstwie przyściennej rury płynie natomiast silnie spieniona ropa, ale z prędkością znacznie mniejszą od prędkości gazu w części środkowej rury. Współczynnik sprawności energetycznej procesu przy tej strukturze jest bardzo niski.

Przy dużej długości rur wydobywczych (duża głębokość odwiertu) i dużej różnicy ciśnień między butem rur a głowicą odwiertu, istnieje duże prawdopodobieństwo występowania dwóch a nawet trzech struktur zgazowanej ropy w różnych odcinkach rur wydobywczych.



a) emulsyjna (pianowa), b) pęcherzykowa, c) struktura mgły

Rys. 20. Rodzaje struktur mieszaniny ropy i gazu [5, s. 77]

Obliczanie parametrów pracy gazodźwigu

Celem obliczeń jest taki dobór głównych wymiarów gazodźwigu i parametrów jego pracy, aby zapewnić uzyskanie potrzebnej wydajności przy możliwie najmniejszym jednostkowym zużyciu energii. Oblicza się więc:

1) długość kolumny rur wydobywczych „*L*”,
2) średnicę rur wydobywczych „*d*”,
3) ciśnienie medium roboczego u dolnego końca rur wydobywczych „P_1”,
4) jednostkowe zużycie gazu „*R*”.

W celu obliczenia powyższych parametrów konieczna jest znajomość:

- głębokości odwiertu,
- średnicy eksploatacyjnej kolumny rur okładzinowych,
- przewidywanego wydobycia ropy i gazu.

Obliczanie parametrów pracy gazodźwigu przy założeniu wydobycia potencjalnego ropy

Cechą charakterystyczną tego sposobu eksploatacji jest konieczność utrzymania jak najmniejszego ciśnienia dennego dynamicznego. Dlatego też kolumna rur wydobywczych powinna być zapuszczona na maksymalną głębokość, której długość *L* [m] można określić ze wzoru:

$$L = H - a$$

gdzie:

H – głębokość odwiertu [m],

a – współczynnik wynoszący 20 – 30.

W tych warunkach ciśnienie denne dynamiczne jest w przybliżeniu równe ciśnieniu tłoczonego gazu u dolnego końca rur wydobywczych P_1. Stąd równanie wydajności odwiertu przyjmuje postać:

$$Q = K_w \cdot \frac{(P_{zł} - P_1)^n}{g_r}$$

gdzie:

Q – wydajność odwiertu [m^3/s],

K_w – wskaźnik wydajności odwiertu [N/(s · Pa)],

$P_{zł}$ – ciśnienie złożowe [Pa],

P_1 – ciśnienie u dolnego końca rur wydobywczych [Pa],

γ_r – ciężar właściwy ropy naftowej [N/m^3],

n – wykładnik potęgowy.

Średnicę rur wydobywczych, którymi wypływa zgazowana ropa naftowa można obliczyć ze wzoru [7]:

$$d = 5{,}648\sqrt{\frac{1}{V}} \cdot \sqrt[3]{\frac{Q}{(1-V)\cdot g_r}}$$

gdzie:

d – średnica rur wydobywczych [m],

Q – wydajność odwiertu (ropy) [m^3/s],

γ_r – ciężar właściwy ropy naftowej [N/m^3]

oraz:

$$V = \frac{P_1 - P_2}{g_r \cdot L}$$

gdzie:

P_2 – ciśnienie u górnego końca rur wydobywczych [Pa].

Ciśnienie $P_2 \approx P_{gd}$ i do obliczeń może być przyjmowana jego wartość równa 0,2 MPa.

Biorąc pod uwagę konieczność pokonania oporów tłoczenia gazu do odwiertu ciśnienie tłoczenie gazu na głowicy P_t powinno być większe o około 0,4 MPa od ciśnienia w dolnej części kolumny rur wydobywczych:

$$P_t = P_1 + 0{,}4 \text{ MPa}$$

Ostateczną średnicę rur wydobywczych, po obliczeniu powyższym wzorem, należy dobrać zgodnie z normą. Dla rur API mogą to być średnice 2 ⅜”, czy 2 ⅞”. Dla gazodźwigu jednokolumnowego średnica rur wydobywczych uzależniona jest również od średnicy eksploatacyjnej kolumny rur okładzinowych.

Teoretyczne jednostkowe zużycie gazu, wyrażające ilość zatłaczanego gazu w stosunku do 1 m^3 wydobywanej ropy, można obliczyć ze wzoru:

$$R_t = \frac{12514 \cdot 10^{-10} \cdot g_r \cdot L \cdot (1-V)}{d^{0,5} \cdot V \cdot \log \frac{P_1}{P_2}}$$

gdzie:

R_t – teoretyczne jednostkowe zużycie gazu [Nm^3/m^3],

d – średnica rur wydobywczych (dla gazodźwigu pierścieniowego) [m].

Pozostałe oznaczenia jak powyżej. Dla gazodźwigu centralnego jako średnicę rur wydobywczych należy przyjąć tzw. średnicę zastępczą, którą określamy ze wzoru:

$$d_z = \frac{D-d}{2} \; [m]$$

gdzie:

D – średnica rur zewnętrznych (dla gazodźwigu jednokolumnowego średnica rur okładzinowych) [m],

d – średnica rur wewnętrznych [m].

Przy eksploatacji ropy naftowej gazodźwigiem, dla określenia rzeczywistego zużycia gazu, należy uwzględnić ilość gazu, która w sposób naturalny wydziela się z ropy, powodując jej nagazowanie. W tym przypadku rzeczywiste jednostkowe zużycie gazu wynosi:

$$R_{rz} = R_t - WG \; [Nm^3/m^3]$$

gdzie:

WG – wykładnik gazowy eksploatowanej ropy [Nm^3/m^3].

Ilość gazu, jaką należy zatłoczyć do odwiertu w ciągu doby można określić ze wzoru:

$$V_d = 86400 \cdot R_{rz} \cdot Q \quad [Nm^3/d]$$

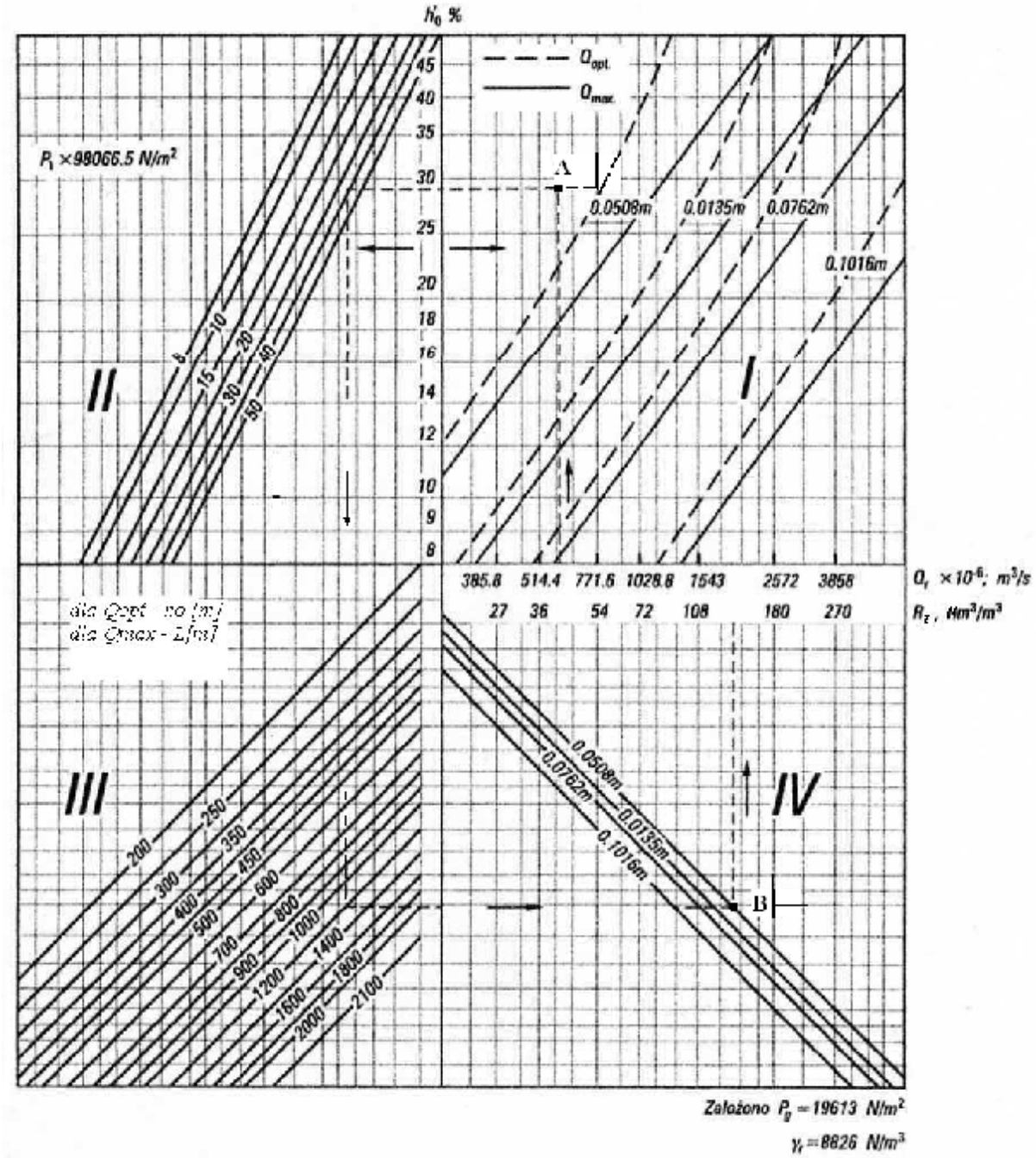
gdzie:

Q – wydobycie ropy z odwiertu [m^3/s].

Obliczanie gazodźwigu przy założeniu wydobycia optymalnego

Dla obliczenia głównych wymiarów i parametrów pracy gazodźwigu pracującego w warunkach wydobycia optymalnego można posłużyć się opracowanym przez A.P. Kryłowa nomogramem (rys. 21).

Średnice rur wydobywczych podane w I ćwiartce nomogramu dotyczą gazodźwigu pierścieniowego. Dla gazodźwigu centralnego będą to średnice zastępcze, które należy przeliczyć na średnice rzeczywiste.



Rys. 21. Nomogram dla obliczenia parametrów gazodźwigu [7, s. 94]

Aby skorzystać z nomogramu należy obliczyć:

1) długość rur wydobywczych ze wzoru:

$$L = H - \frac{(P_{dd} - P_1)}{g_r} \quad [\mathrm{m}]$$

2) głębokość dynamicznego poziomu ropy (fikcyjna dla gazodźwigu jednokolumnowego) ze wzoru:

$$h_o = L - \frac{P_1 - P_2}{g_r} \quad [\mathrm{m}]$$

3) względne zanurzenie rur wydobywczych pod poziom dynamiczny ropy ze wzoru:

$$h'_o = \frac{L - h_o}{L} \cdot 100\%$$

Wyznaczanie pozostałych parametrów gazodźwigu odbywa się w następującej kolejności (nomogram na rys. 21 zawiera przykładowe wartości wyznaczonych parametrów i kolejności postępowania):

a) w pierwszej ćwiartce nomogramu na osi odciętych (poziomej) odczytuje się wartość wydobycia ropy Q_r (612,7 · 10^{-6} m^3/s), natomiast na osi rzędnych (pionowej) obliczoną wartość h'_o (29,2%). Z wyznaczonych punktów wykreślamy proste, które przecinają się w punkcie A. Punkt ten odnosimy na najbliższą krzywą – linię przerywaną, która odpowiada określonej średnicy rur wydobywczych (0,0508 m).
b) kolejne kroki służą do określenia wartości jednostkowego zużycia gazu R_t. W II ćwiartce na osi rzędnych odczytujemy ponownie wartość h'_o (29,2%), a następnie punkt ten rzutujemy na prostą odpowiadającą określonej wartości ciśnienia P_1 (3,4 MPa). W przypadku, gdy wartość ciśnienia P_1 jest inna niż wartości podane na wykresie należy przeprowadzić interpolację,
c) z tego punktu wykreślamy prostą pionową do przecięcia się z linią odpowiadającą wartości h_o (1260 m) w III ćwiartce nomogramu,
d) następnie punkt ten rzutujemy (linią poziomą) na wybraną prostą w IV ćwiartce nomogramu, która odpowiada wyznaczonej wcześniej średnicy (0,0508 m) – punkt B,
e) rzutujemy punkt B na górną oś odciętych dla IV ćwiartki, odczytując wartość R_t – jednostkowego zużycia gazu (ok. 133 Nm^3/m^3).
f) ciśnienie tłoczenia gazu na głowicy P_t, rzeczywiste jednostkowe zużycie gazu R_{rz} oraz dobowe zużycie gazu Vd obliczamy ze wzorów, jak dla wydobycia potencjalnego.

Nomogram Kryłowa może być również stosowany do obliczenia średnicy rur wydobywczych oraz jednostkowego zużycia gazu dla gazodźwigu pracującego w warunkach potencjalnego wydobycia. W tym przypadku w I ćwiartce nomogramu uwzględniamy proste wykreślone linią ciągłą, natomiast wartości podane w III ćwiartce odnoszą się wtedy do długości rur wydobywczych L [m].

Obliczanie parametrów rozruchu gazodźwigu

Obliczenia obejmują wyznaczenie:

1) ciśnienia rozruchowego gazodźwigu P_{RO},
2) głębokości zamontowania pierwszego zaworu rozruchowego L_R,
3) głębokości zamontowania ewentualnych kolejnych zaworów rozruchowych.

Ciśnienie rozruchowe P_{RO} [Pa] gazodźwigu dwukolumnowego pierścieniowego można obliczyć ze wzoru:

$$P_{RO} = \frac{h' \cdot g_r \cdot D^2}{d_1^{\,2} + D^2 - d_2^{\,2}}$$

gdzie:

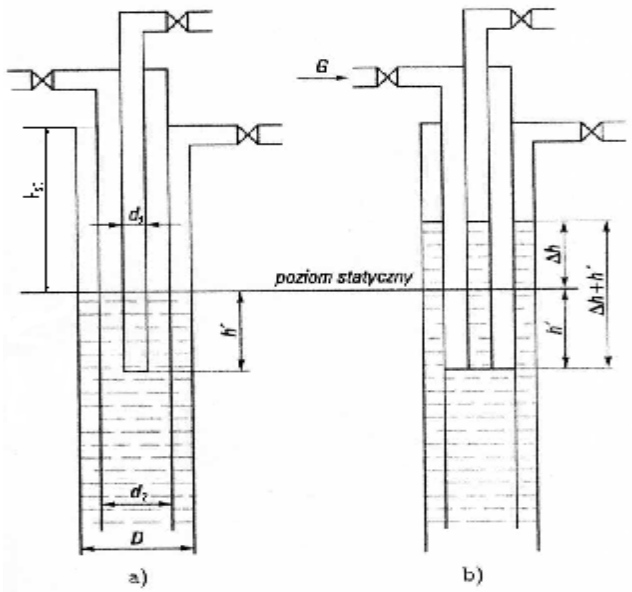
h' – głębokość zanurzenia wewnętrznej rury wydobywczej pod poziom statyczny ropy (rys. 22) [m],
D – średnica rur okładzinowych [m],
d_1 – średnica wewnętrznej rury wydobywczej [m],,
d_2 – średnica zewnętrznej rury wydobywczej [m],
γ_r – ciężar właściwy ropy naftowej [N/m^3].

Ciśnienie rozruchowe dla gazodźwigu jednokolumnowego pierścieniowego można obliczyć ze wzoru:

$$P_{RO} = h' \cdot g_r \cdot \frac{D^2}{d_1^{\,2}}$$

Ciśnienie rozruchowe dla gazodźwigu jednokolumnowego centralnego można obliczyć ze wzoru:

$$P_{RO} = h' \cdot g_r \cdot \frac{D^2}{D^2 - d_1^{\,2}}$$



Rys. 22. Schemat rozruchu gazodźwigu: a) warunki statyczne, b) warunki dynamiczne [7, s. 98]

Zawory rozruchowe wymagane są w przypadku zastosowania gazodźwigu pierścieniowego. Odległość pierwszego zaworu rozruchowego L_1 [m] od głowicy odwiertu można obliczyć ze wzoru:

$$L_1 = h_{st} + \frac{P_{RO} \cdot d_1}{g_r \cdot D^2} - 20$$

gdzie:

h_{st} – głębokość poziomu statycznego ropy w odwiercie [m],
pozostałe oznaczenia jak powyżej.

Głębokość zamontowania drugiego zaworu rozruchowego można obliczyć ze wzoru:

$$L_2 = L_1 + \Delta h_1 - 10$$

przy czym

$$\Delta h_1 = \frac{\Delta P_1}{g_r}$$

gdzie:

Δh_1 – różnica ciśnień, przy której zamknie się pierwszy zawór rozruchowy, a która wynosi $\Delta h_1 = P_{RO} - P_1$

4.5.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Na czym polega zasada działania gazodźwigu centralnego dwukolumnowego?
2. Od czego zależy wartość ciśnienia rozruchowego przy gazodźwigu centralnym?
3. Dlaczego przy gazodźwigu pierścieniowym wysokie jest ciśnienie rozruchowe?
4. Który typ gazodźwigu i dlaczego charakteryzuje się wysokim ciśnieniem rozruchowym?
5. Jaką funkcję spełniają zawory rozruchowe?
6. W którym typie gazodźwigu należy stosować zawory rozruchowe?
7. Jaki rodzaj struktury mieszaniny gazu i ropy może wystąpić w trakcie pracy gazodźwigu?
8. Na czym polega zjawisko prześlizgiwania się gazu w strumieniu ropy naftowej?
9. Jaką długość powinna posiadać kolumna rur wydobywczych?
10. Od czego zależy wartość średnicy rur wydobywczych?
11. Od czego zależy wartość teoretycznego jednostkowego zużycia gazu?
12. Jaki wpływ na wartość jednostkowego zużycia gazu ma wykładnik gazowy wydobywanej ropy?
13. Dla jakiego typu gazodźwigu oblicza się średnicę zastępczą rur?
14. Do czego służy nomogram Kryłowa?
15. Jakie parametry charakteryzują rozruch gazodźwigu?
16. Od czego zależy głębokość zamontowania zaworów rozruchowych?

4.5.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Oblicz parametry gazodźwigu pierścieniowego jednokolumnowego, pracującego w warunkach wydobycia potencjalnego, dla następujących danych:

- głębokość odwiertu H =900 m,
- ciśnienie złożowe $P_{zł}$ = 3,0 MPa,
- ciśnienie denne dynamiczne $P_{dd} = P_1$ = 980 kPa,
- ciśnienie głowicowe dynamiczne $P_{gd} = P_2$ = 200000 Pa,
- wskaźnik wydajności odwiertu $K_w = 3{,}5 \cdot 10^{-6}$ N/(s · Pa),
- średni gęstość wydobywanej ropy wynosi 833 kg/m^3,
- wykładnik gazowy dla wydobywanej ropy wynosi 90 Nm^3/m^3.

Dla określenia równania wydajności odwiertu przyjmij wykładnik potęgowy n = 1,0. Wartość zużycia gazu podaj również w Nm^3/h oraz w Nm^3/min.

Wykonaj schemat gazodźwigu, na którym oznacz poziomy ropy w warunkach statycznych oraz dynamicznych (w momencie rozruch).

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) wykonać schemat gazodźwigu,
2) oznaczyć na schemacie wymagane poziomy ropy,
3) przygotować plan wykonywania obliczeń,
4) wypisać dane i przeliczyć jednostki,
5) obliczyć ciężar właściwy ropy,
6) dobrać, po wykonaniu obliczenia, znormalizowaną średnicę rur wydobywczych,
7) obliczyć zużycie gazu z uwzględnienie *WG*,
8) przeliczyć wartość zużycia gazu z uwzględnieniem podanych w zadaniu jednostek,
9) zaprezentować wynik swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:
- przybory do rysowania,
- kartki papieru A4, ksero lub kratkowane,
- Poradnik dla ucznia,
- kalkulator,
- zeszyt.

Ćwiczenie 2

Wykonaj schemat gazodźwigu pierścieniowego jednokolumnowego.

Oblicz głębokość zamontowania zaworów rozruchowych dla tego gazodźwigu, przyjmując następujące dane:
- długość rur wydobywczych wynosi 1300 m,
- rury są zanurzone pod poziom statyczny na głębokość 620 m,
- średnica eksploatacyjnej kolumny rur okładzinowych wynosi 6 ⅝",
- średnica rur wydobywczych wynosi 2 ⅞",
- eksploatowana ropa posiada gęstość równą 846 kg/m^3,
- ciśnienie na wysokości buta rur wydobywczych P_1 = 3,4 MPa.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:
1) wykonać schemat gazodźwigu,
2) oznaczyć na schemacie wymagane poziomy ropy,
3) przygotować plan wykonywania obliczeń,
4) wypisać dane i przeliczyć jednostki,
5) obliczyć ciężar właściwy ropy,
6) wykonać pozostałe obliczenia,
7) zaprezentować efekty swojej pracy,
8) dokonać samooceny pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:
- Poradnik dla ucznia,
- tabele danych rur okładzinowych i wydobywczych,
- kartki papieru A4, ksero lub kratkowane,
- przybory do rysowania,
- kalkulator,
- zeszyt.

4.5.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) scharakteryzować działanie gazodźwigu pierścieniowego?	☐	☐
2) scharakteryzować działanie gazodźwigu centralnego?	☐	☐
3) wyjaśnić sposoby rozruchu gazodźwigów?	☐	☐
4) określić przeznaczenie i zastosowanie zaworów rozruchowych?	☐	☐
5) wskazać typy gazodźwigów, które wymagają zastosowania zaworów rozruchowych?	☐	☐
6) określić zasady ustalania długości kolumny rur wydobywczych?	☐	☐

7) obliczyć wymaganą średnicę kolumny rur wydobywczych? ☐ ☐
8) obliczyć jednostkowe zużycie gazu dla pracy gazodźwigu? ☐ ☐
9) obliczyć dobowe zużycie gazu? ☐ ☐
10) wyznaczyć parametry gazodźwigu na podstawie nomogramu Kryłowa? ☐ ☐
11) obliczyć głębokość zamontowania zaworów rozruchowych? ☐ ☐
12) sporządzić wykres zmian ciśnienia w czasie rozruchu i pracy gazodźwigu? ☐ ☐

5. SPRAWDZIAN OSIĄGNIĘĆ

INSTRUKCJA DLA UCZNIA

1. Przeczytaj uważnie instrukcję zanim rozpoczniesz rozwiązywać zadania.
2. Podpisz imieniem i nazwiskiem kartę odpowiedzi.
3. Zapoznaj się z zestawem zadań testowych.
4. Odpowiedzi udzielaj tylko na załączonej karcie odpowiedzi.
5. Test składa się z 22 zadań wielokrotnego wyboru, z których tylko jedna jest poprawna.
6. Wybraną odpowiedź zaznacz na karcie odpowiedzi znakiem X.
7. Jeśli uznasz, że pomyliłeś się i wybrałeś nieprawidłową odpowiedź, to otocz wybór kółkiem, a następnie prawidłową odpowiedź zaznacz znakiem X.
8. Pracuj samodzielnie, bo tylko wtedy będziesz mógł sprawdzić poziom swojej wiedzy i umiejętności.
9. Jeśli którekolwiek zadanie sprawi Ci trudność, rozwiąż inne i ponownie spróbuj rozwiązać poprzednie.
10. Odpowiedzi udzielaj tylko na załączonej karcie odpowiedzi.
11. Na rozwiązanie zadań masz 45 minut.

Powodzenia!

ZESTAW ZADAŃ TESTOWYCH

1. Dopływ ropy naftowej do odwiertu powoduje różnica ciśnień
   a) $P_{ds} - P_{dd}$.
   b) $P_{zł} - P_{ds}$.
   c) $P_{zł} - P_{dd}$.
   d) $P_{zł} - P_{gs}$.

2. Pompy wibracyjne zaliczamy do pomp
   a) z silnikiem na powierzchni.
   b) z silnikiem w odwiercie.
   c) tłokowych żerdziowych.
   d) śrubowych.

3. Gaz ziemny wydziela się z ropy naftowej w złożu, jeżeli
   a) $P_n > P_{zł}$.
   b) $P_n = P_{zł}$.
   c) $P_n < P_{zł}$.
   d) $P_n > P_{dd}$.

4. Nagazowanie słupa ropy w rurach wydobywczych powoduje
   a) zwiększenie ciężaru właściwego ropy.
   b) zwiększenie lepkości ropy.
   c) zmniejszenie ciężaru właściwego ropy.
   d) zwiększenie ściśliwości ropy.

5. Wartość energii potencjalnej zawartej w 1 tonie ropy na dnie odwiertu zależy od
   a) ciśnienia dennego dynamicznego.
   b) objętości gazu.
   c) wykładnika gazowego.
   d) objętości ropy.

6. W czasie przepływu ku powierzchni zgazowanej ropy w rurach wydobywczych ciśnienie ropy
   a) najpierw rośnie a następnie spada.
   b) najpierw spada a następnie rośnie.
   c) systematycznie rośnie.
   d) systematycznie spada.

7. W skład uzbrojenia wgłębnego odwiertu samoczynnego ropy naftowej wchodzą
   a) kolumna rur wydobywczych i głowica eksploatacyjna.
   b) kolumna rur wydobywczych i separator.
   c) eksploatacyjna kolumna rur okładzinowych i separator.
   d) kolumna rur wydobywczych i więźba rurowa.

8. Głowica eksploatacyjna odwiertu samoczynnego montowana jest na
   a) więźbie rurowej.
   b) wieszaku rur wydobywczych.
   c) rurach wydobywczych.
   d) rurach okładzinowych.

9. Zasuwa robocza na głowicy eksploatacyjnej odwiertu samoczynnego znajduje się
   a) przed zasuwą awaryjną.
   b) za zasuwą awaryjną.
   c) pomiędzy zasuwami awaryjnymi.
   d) przed i za zasuwą awaryjną.

10. Zamykanie zasuwy suwakowo-kołnierzowej, znajdującej się na głowicy odwiertu odbywa się poprzez
    a) obrót kołem sterowym w lewo.
    b) obrót kołem sterowym w prawo.
    c) przesunięciem suwaka w lewo.
    d) przesunięciem suwaka w prawo.

11. Typowe średnice rur wydobywczych wg API wynoszą
    a) 2”, 2⅜”.
    b) 2⅜”, 2⅞”.
    c) 2⅜”, 2¾”.
    d) 2¼”, 3½”.

12. Długość rury wydobywczej może wynosić
    a) 4,5 m.
    b) 5,5 m.
    c) 6,5 m.
    d) 7,5 m.

13. Warunki normalne dla gazów to ciśnienie
    a) 1013,25 hPa i temperatura 20°C.
    b) 1 MPa i temperatura 0°C.
    c) 1013,25 hPa i temperatura 0°C.
    d) 133,25 hPa i temperatura 0°C.

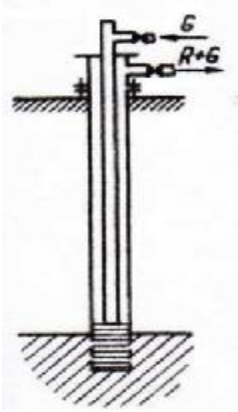
14. Wykładnik gazowy *WG* określa stosunek ilości
   a) gazu do ilości ropy.
   b) gazu do ilości wody złożowej.
   c) ropy do ilości gazu.
   d) gazu do objętości złoża.

15. Jeżeli średnica zwężki dławiącej wynosi 10/64” to jest to równe
   a) 2,96 mm.
   b) 3,97 mm.
   c) 4,26 mm.
   d) 5,87 mm.

16. Separator R10/1000, którego maksymalne ciśnienie robocze wynosi 10 at (1MPa) możemy zaliczyć do separatorów
   a) wysokiego ciśnienia.
   b) średniego ciśnienia.
   c) niskiego ciśnienia.
   d) pracującego w podciśnieniu.

17. W celu zakotwiczenia rur wydobywczych w rurach okładzinowych stosuje się
   a) łącznik posadowy.
   b) zwężkę wgłębną.
   c) więźbę rurową.
   d) paker eksploatacyjny.

18. Rysunek obok przedstawia gazodźwig sprężarkowy
   a) pierścieniowy dwukolumnowy.
   b) pierścieniowy jednokolumnowy.
   c) centralny dwukolumnowy.
   d) centralny jednokolumnowy.

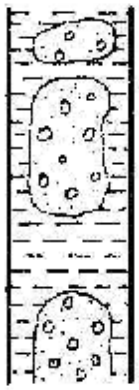


19. Zawory rozruchowe należy stosować przy gazodźwigu
   a) pierścieniowym dwukolumnowym.
   b) centralnym dwukolumnowym.
   c) centralnym jednokolumnowym.
   d) systemu Pohle.

20. W pompie wyporowej odbywa się wypływ
   a) zgazowanej ropy w sposób ciągły.
   b) zgazowanej ropy w sposób okresowy.
   c) niezgazowanej ropy w sposób ciągły.
   d) niezgazowanej ropy w sposób okresowy.

21. Jednostkowe zużycie gazu w czasie pracy gazodźwigu wynosi 200 Nm^3/m^3 ropy. Dobowe zużycie gazu, przy wydobyciu 4 m^3/h ropy, wyniesie
    a) 800 Nm^3.
    b) 4800 Nm^3.
    c) 9600 Nm^3.
    d) 19200 Nm^3.

22. Rysunek obok przedstawia strukturę mieszaniny ropno-gazowej
    a) emulsyjną.
    b) pianową.
    c) pęcherzykową.
    d) mgły.



KARTA ODPOWIEDZI

Imię i nazwisko.....

Eksploatowanie samoczynne i gazodźwigiem ropy naftowej

Zakreśl poprawną odpowiedź.

Nr zadania	Odpowiedź				Punkty
1	a	b	c	d	
2	a	b	c	d	
3	a	b	c	d	
4	a	b	c	d	
5	a	b	c	d	
6	a	b	c	d	
7	a	b	c	d	
8	a	b	c	d	
9	a	b	c	d	
10	a	b	c	d	
11	a	b	c	d	
12	a	b	c	d	
13	a	b	c	d	
14	a	b	c	d	
15	a	b	c	d	
16	a	b	c	d	
17	a	b	c	d	
18	a	b	c	d	
19	a	b	c	d	
20	a	b	c	d	
21	a	b	c	d	
22	a	b	c	d	
				Razem:	

6. LITERATURA

1. Dokumentacja techniczna odwiertu samoczynnego ropy naftowej S -7
2. Dokumentacja Techniczno-Ruchowa głowic eksploatacyjnych. ZUN „Naftomet” Krosno
3. Limanówka L., Grygieńcza T.: Sposoby wyposażenia odwiertów na Niżu Polskim. Referat III Konferencji Naukowo-Technicznej, Bobrka 2002
4. Liszka K.: Podstawy eksploatacji złóż ropy naftowej. Wydawnictwo AGH, Kraków 1982
5. Liszka K., Jewulski J., Zagrajczuk D.: Ćwiczenia laboratoryjne z eksploatacji złóż ropy naftowej. Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Techniczne AGH, Kraków 2000
6. Jewulski J.: Napowierzchniowe zagospodarowanie złóż kopalin ciekłych. Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Techniczne AGH, Kraków 2003
7. Jewulski J.: Zbiór zadań z eksploatacji złóż ropy naftowej. Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Techniczne AGH, Kraków 2000
8. Katalog wyrobów Zakładu Urządzeń Naftowych „Naftomet” w Krośnie
9. Polska Norma. PN-G/01350:1990. Eksploatacja złóż ropy naftowej i gazu ziemnego. Terminologia
10. Poradnik Techniczny. Zakład Robót Górniczych w Krośnie
11. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w zakładach górniczych wydobywających kopaliny otworami wiertniczymi (Dz. U. Nr 109, poz. 961)
12. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 kwietna 2004 r. w sprawie dopuszczania wyrobów do stosowania w zakładach górniczych (Dz. U. Nr 99, poz. 1003)
13. Szostak L., Chrząszcz W., Wiśniowski R.: Metody wydobywania ropy naftowej z odwiertów. Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Techniczne AGH, Kraków 2000
14. Szostak L., Chrząszcz W., Wiśniowski R.: Wyposażenie odwiertów wydobywczych ropy naftowej i gazu ziemnego. Wydawnictwo AGH, Kraków 1998
15. Wilk Z.: Eksploatacja złóż płynnych surowców mineralnych. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1969
16. www.pl.wikipedia.org
17. www.pgi.gov.pl
18. www.nafta-gaz.sanok.pl