MINISTERSTWO EDUKACJI
NARODOWEJ

Witold Górski

Prowadzenie wtórnych metod eksploatacji złóż ropy naftowej 311[14].Z1.09

Poradnik dla ucznia

Wydawca
Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy
Radom 2007

„Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego"

Recenzenci:
dr inż. Czesław Rybicki
mgr inż. Henryk Rospond

Opracowanie redakcyjne:
mgr inż. Witold Górski

Konsultacja:
mgr inż. Teresa Sagan

Poradnik stanowi obudowę dydaktyczną programu jednostki modułowej 311[14].Z1.09 „Prowadzenie wtórnych metod eksploatacji złóż 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. Cel stosowania i rodzaje wtórnych metod wydobycia ropy naftowej 7
4.1.1. Materiał nauczania 7
4.1.2. Pytania sprawdzające 9
4.1.3. Ćwiczenia 9
4.1.4. Sprawdzian postępów 10
4.2. Nawadnianie złoża 11
4.2.1. Materiał nauczania 11
4.2.2. Pytania sprawdzające 15
4.2.3. Ćwiczenia 15
4.2.4. Sprawdzian postępów 17
4.3. Nagazowanie złoża 18
4.3.1. Materiał nauczania 18
4.3.2. Pytania sprawdzające 20
4.3.3. Ćwiczenia 20
4.3.4. Sprawdzian postępów 21
4.4. Trzecie metody eksploatacji złóż ropy naftowej 22
4.4.1. Materiał nauczania 22
4.4.2. Pytania sprawdzające 25
4.4.3. Ćwiczenia 26
4.4.4. Sprawdzian postępów 27
5. Sprawdzian osiągnięć 29
6. Literatura 34

1. WPROWADZENIE

Poradnik ten pomoże Ci w przyswajaniu wiedzy i kształtowaniu umiejętności z zakresu prowadzenie wtórnych metod eksploatacji złóż ropy naftowej, ujętych w modułowym programie nauczania dla zawodu technik górnictwa otworowego.

W poradniku zamieszczono:

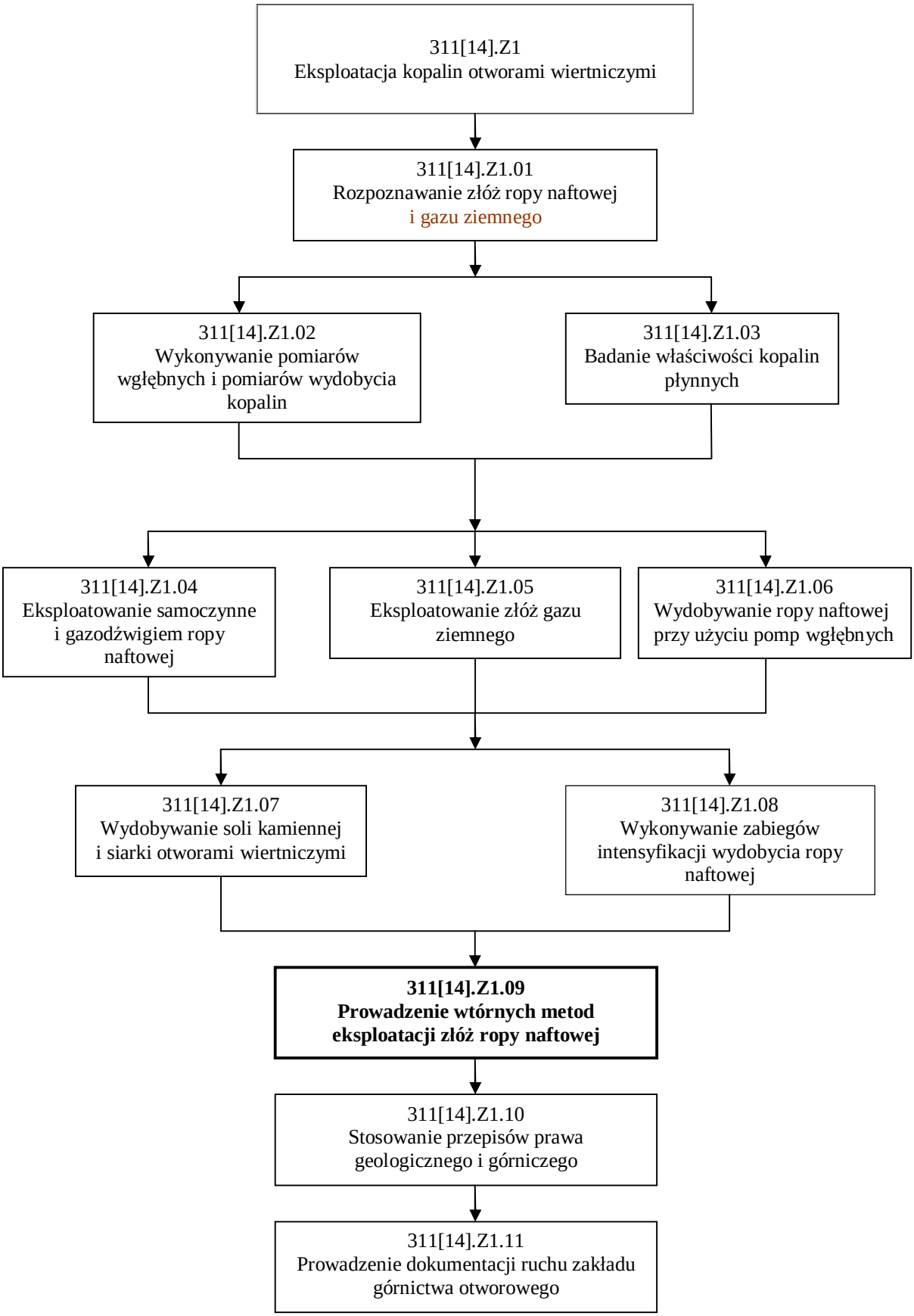
- wymagania wstępne – wykaz umiejętności, jakie powinieneś posiadać przed przystąpieniem do nauki w tej jednostce modułowej,
- cele kształcenia – wykaz umiejętności jakie ukształtujesz podczas pracy z tym poradnikiem,
- materiał nauczania – czyli zestaw wiadomości, które powinieneś posiadać, aby samodzielnie 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 zestaw zadań testowych (test wielokrotnego wyboru),
- literaturę – wykaz pozycji, z jakich możesz korzystać podczas nauki.

W materiale nauczania zostały przedstawione zagadnienia dotyczące zastosowania różnych wtórnych metod zwiększenia wydobycia ropy naftowej.

Przy wykonywaniu ćwiczeń powinieneś korzystać z instrukcji stanowiskowych, wskazówek i poleceń nauczyciela, zwracając szczególną uwagę na przestrzeganie warunków bezpieczeństwa i przepisów przeciwpożarowych.

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, które musisz nadrobić.

Po zrealizowaniu programu jednostki modułowej nauczyciel sprawdzi poziom Twoich umiejętności i wiadomości. Otrzymasz do samodzielnego rozwiązania test pisemny. Nauczyciel oceni sprawdzian i na podstawie określonych kryteriów podejmie decyzję o tym, czy zaliczyłeś program jednostki modułowej.



Schemat układu jednostek modułowych

2. WYMAGANIA WSTĘPNE

Przystępując do realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- zdefiniować i omówić własności złożowe skał zbiornikowych ropy naftowej takie jak: porowatość, szczelinowatość, przepuszczalność, wytrzymałość skał,
- wymienić rodzaje skał zbiornikowych,
- zdefiniować i scharakteryzować ciśnienia występujące w złożu i w odwiercie eksploatacyjnym takie jak: ciśnienie złożowe, ciśnienie denne statyczne, ciśnienie denne dynamiczne, ciśnienie głowicowe,
- wyznaczyć ciśnienia występujące w złożu i odwiercie eksploatacyjnym,
- określić czynniki wpływające negatywnie na wielkość dopływu ropy naftowej do odwiertu eksploatacyjnego,
- scharakteryzować konstrukcje strefy przyodwiertowej,
- scharakteryzować sposoby eksploatacji ropy naftowej,
- w zależności od sposobu eksploatacji scharakteryzować elementy uzbrojenia powierzchniowego odwiertu eksploatującego ropę naftową,
- w zależności od sposobu eksploatacji omówić elementy uzbrojenia wgłębnego odwiertu eksploatującego ropę naftową,
- obliczyć objętości przestrzeni występujących w odwiercie eksploatacyjnym,
- przestrzegać zasad bezpieczeństwa i higieny pracy, ochrony przeciwpożarowej i ochrony środowiska na kopalniach ropy naftowej,
- korzystać z różnych źródeł informacji,
- stosować jednostki układu SI,
- przeliczać jednostki,
- współpracować w grupie,
- korzystać z komputera.

3. CELE KSZTAŁCENIA

W wyniku realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- określić cel i warunki stosowania wtórnych metod eksploatacji złóż ropy naftowej,
- sklasyfikować wtórne metody eksploatacji złóż ropy oraz określić odpowiadające im rodzaje stosowanych mediów roboczych,
- scharakteryzować metody zawadniania złóż,
- sporządzić rysunek systemów rozmieszczenia odwiertów zasilających przy zawadnianiu wewnątrzkonturowym złóż,
- obliczyć chłonność odwiertu zasilającego przy zawadnianiu złoża,
- określić właściwości i sposób przygotowania wody do zawadniania złóż,
- określić warunki stosowania nagazowania złóż ropy naftowej,
- wyjaśnić przebieg nagazowania złoża i właściwości stosowanego medium roboczego,
- obliczyć chłonność odwiertu zasilającego przy nagazowaniu złoża,
- scharakteryzować pozostałe, wtórne metody eksploatacji złóż ropy naftowej,
- ocenić wpływ stosowania metod wtórnych na współczynnik sczerpania złoża,
- określić zagrożenia dla człowieka i środowiska naturalnego przy stosowaniu wtórnych metod eksploatacji złóż,
- określić zasady postępowania w razie wypadku podczas stosowaniu wtórnych metod eksploatacji złóż,
- zastosować przepisy bezpieczeństwa, higieny pracy, ochrony przeciwpożarowej i ochrony środowiska podczas wtórnych metod eksploatacji ropy naftowej.

4. MATERIAŁ NAUCZANIA

4.1. Cel stosowania i rodzaje wtórnych metod wydobycia ropy naftowej

4.1.1. Materiał nauczania

Złoże naftowe podlega od góry naciskowi poduszki gazowej, z kolei od dołu ciśnienie wywierają wody podścielające. Na ciśnienie złożowe ma także wpływ energia rozpuszczonego w ropie naftowej gazu ziemnego. Dlatego po wykonaniu odwiertu istnieje możliwość eksploatacji ropy sposobem samoczynnego wypływu z odwiertu. Jednak z czasem ciśnienie złożowe stopniowo się zmniejsza i staje się koniecznym zastosować metody eksploatacji wymuszonej (np. eksploatacja przy użyciu pomp wgłębnych). Każdy sposób eksploatacji powoduje zmniejszanie się ciśnienia złożowego, a przez to spadek wydobycia ropy naftowej przy jednoczesnym wzroście kosztów jej wydobycia. Wydobycie można zwiększyć stosując jedną z metod intensyfikacji, a w następnej kolejności stosując wtórne bądź tzw. trzecie metody eksploatacji. Szacuje się, że światowe zasoby ropy naftowej, które można wyeksploatować stosując metody wtórne lub trzecie, wynoszą 2,5 biliona baryłek (1 baryłka ≈ 159 litrów).

Jak widać z powyższego, celem metod wtórnych i trzecich jest zwiększenie współczynnika odropienia złoża przez powiększenie zasobów energii złożowej. Współczynnik odropienia złoża „η" jest to stosunek ilości ropy wydobytej ze złoża w czasie jego eksploatacji „Q" do ilości ropy znajdującej się pierwotnie w złożu „Q_0" (zasoby geologiczne złoża).

$$h = \frac{Q}{Q_0}$$

Cel ten osiąga się przez przeciwdziałanie spadkowi ciśnienia złożowego lub jego regenerację w czasie eksploatacji złoża. Działaniem metod wtórnych lub trzecich objęte jest całe złoże, lub znaczna jego część.

Do metod wtórnych zaliczamy nawadnianie lub nagazowanie złoża ropy naftowej. Do metod trzecich zaliczamy: wytłaczanie ropy cieczami mieszającymi się z nią, zatłaczanie do złoża nośnika ciepła, metody mikrobiologiczne czy też metody chemiczne.

Jednym z podstawowych parametrów charakteryzującym metody wtórne jest współczynnik wypełnienia złoża „WZ", który określa nam stosunek ilości medium jakie zostało zatłoczone do złoża (V_z) do ilości płynu złożowego, który w tym samym czasie został ze złoża wydobyty (V).

$$WZ = \frac{V_z}{V}.$$

Dla obliczenia objętości medium roboczego (wody) potrzebnego do zatłoczenia w złoże w pewnym okresie czasu należy:

1) przyjąć współczynnik wypełnienia złoża (najczęściej WZ ≥ 1,0)
2) obliczyć objętości (w warunkach złożowych) ropy, gazu i wody wydobyte ze złoża w tym samym czasie, w jakim będzie trwało zatłaczanie cieczy roboczej.

$$V = V'_R + V'_G + V'_w \quad [m^3]$$

gdzie:

V – objętość płynu złożowego wydobytego ze złoża [m^3],
V'_R – objętość ropy wydobytej ze złoża przeliczona na warunki złożowe [m^3],
V'_G – objętość gazu wydobytego ze złoża przeliczona na warunki złożowe [m^3],
V'_W – objętość wody wydobytej ze złoża przeliczona na warunki złożowe [m^3],

Objętość wydobytej ropy w warunkach złożowych wynosi:

$$V'_R = V_0 \cdot B \quad [m^3]$$

V_0 – objętość ropy w warunkach atmosferycznych [m^3],
B – współczynnik objętościowy ropy naftowej [bezwymiarowy].

$$V_0 = \frac{Q_R}{r_R} \qquad [m^3]$$

Q_R – ilość wydobytej ropy naftowej [t],
ρ_R – gęstość ropy naftowej [t/m^3].

Objętość wydobytego gazu w warunkach złożowych wynosi:

$$V'_G = B' \cdot V_{GS} \, [m^3]$$

V_{GS} – ilość swobodnego (nie rozpuszczonego w ropie naftowej) gazu ziemnego w warunkach złożowych [m^3],
B' – współczynnik objętościowy gazu ziemnego [bezwymiarowy].

$$B' = Z \frac{P_0 T_{ZŁ}}{P_{ZŁ} T_0}$$

Z – współczynnik pseudościśliwości gazu ziemnego,
P_0 – ciśnienie normalne [Pa],
T_0 – temperatura normalna [K],
$T_{ZŁ}$ – temperatura złożowa [K],
$P_{ZŁ}$ – ciśnienie złożowe [Pa].

$$V_{GS} = V_G - \frac{Q_R \cdot a \cdot P_{ZŁ}}{r_R} \qquad [nm^3]$$

V_G – wydobycie gazu ziemnego [nm^3],
α – współczynnik rozpuszczalności gazu w ropie naftowej [nm^3/Pa $\cdot m^3$].

Można założyć, że objętość wydobytej wody będzie równa objętości wody w warunkach złożowych.

Złoże, na którym stosowana jest jedna z metod wtórnych lub trzecich powinno odpowiadać następującym warunkom:

1) być możliwie jednorodne, szczególnie niewskazane są duże różnice przepuszczalności zarówno wzdłuż rozciągłości złoża jak i jego miąższości,
2) posiadać możliwie regularną budowę geologiczną,
3) posiadać możliwie duże nasycenie por skalnych ropą naftową w momencie rozpoczynania stosowania metody wtórnej, powinno ono wynosić co najmniej 50% objętości por,
4) lepkość ropy powinna być jak najmniejsza, zwłaszcza przy stosowaniu metody nagazowania złoża.

Podczas wykonywania prac, związanych z prowadzonymi na terenie kopalni ropy naftowej wtórnymi metodami eksploatacji, pracownicy powinni przestrzegać przepisy BHP obowiązujące na stanowiskach pracy. Powinni też stosować się do przepisów dotyczących prawidłowej obsługi maszyn, urządzeń i narzędzi, którymi się posługują.

4.1.2. Pytania sprawdzające

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

1. W jakim celu stosuje się wtórne metody wydobycia ropy naftowej?
2. Co określa współczynnik odropienia złoża?
3. Jakie metody zaliczamy do wtórnych metod eksploatacji?
4. Jakie metody zaliczamy do trzecich metod eksploatacji?
5. Co określa współczynnik wypełnienia złoża?
6. Do jakich warunków musimy odnieść ilości wydobywanych mediów przy wyznaczaniu współczynnika wypełnienia złoża?
7. Jaka objętość por skalnych powinna być nasycona ropą naftową przed rozpoczęciem wtórnych metod eksploatacji?
8. Jakie warunki powinno spełnić złoże, aby można było na nim wykonać wtórne metody eksploatacji?

4.1.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Oblicz, jaką ilość wody w czasie nawadniania złoża, należy zatłoczyć w ciągu doby do odwiertów zasilających, jeżeli ze złoża eksploatowano: 10 t/h ropy, 4 t/h wody i 4000 nm^3/h gazu ziemnego?

Dane dodatkowe:

- ciśnienie złożowe $p_{zł}$ = 70 at,
- współczynnik wypełnienia złoża wz = 1,1,
- współczynnik objętościowy ropy b = 1,18
- współczynnik rozpuszczalności gazu w ropie α = 0,8 $nm^3/(at \cdot m^3)$,
- współczynnik pseudościśliwości gazu ziemnego z = 0,9,
- gęstość ropy ρ_r = 880 kg/m^3,
- temperatura złożowa $t_{zł}$ = 50°C.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) sprawdzić prawidłowość zapisu i przeliczyć na jednostki układu SI,

2) obliczyć objętość wydobytej ropy naftowej w warunkach złożowych,
3) obliczyć objętość wydobytej wody w warunkach złożowych,
4) obliczyć ilość swobodnego gazu w złożu,
5) obliczyć ilość wydobytego gazu w warunkach złożowych,
6) obliczyć sumaryczną objętość wydobytych mediów w warunkach złożowych,
7) obliczyć przekształcając wzór na współczynnik wypełnienia złoża, objętość zatłaczanej w złoże wody.

Wyposażenie stanowiska pracy:
– kalkulator,
– tabela przeliczników jednostek,
– literatura z rozdziału 6 poradnika dla ucznia.

4.1.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

		Tak	**Nie**
1)	wykazać zasadniczą różnicę pomiędzy metodami intensyfikacji i wtórnymi metodami wydobycia?	□	□
2)	uzasadnić konieczność stosowania wtórnych metod eksploatacji?	□	□
3)	wyjaśnić, dlaczego współczynnik wypełnienia złoża przyjmuje wartości większe lub równe jedności?	□	□
4)	wyjaśnić, dlaczego złoże, na którym stosowane są wtórne metody eksploatacji musi być jednorodne geologicznie?	□	□
5)	uzasadnić warunek, że lepkość ropy eksploatowanej przy zastosowaniu wtórnych metod wydobycia musi być jak najmniejsza?	□	□

4.2. Nawadnianie złoża

4.2.1. Materiał nauczania

Stosując tę metodę, zwiększenie wydobycia ropy naftowej uzyskujemy poprzez wtłaczanie wody w złoże.

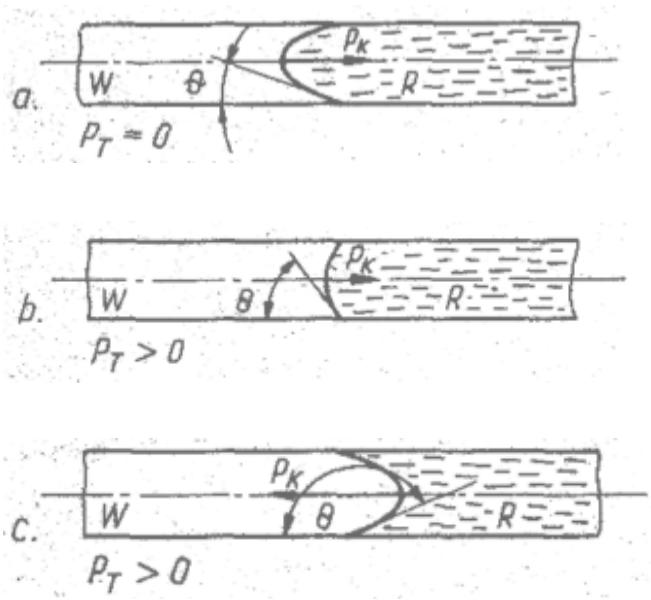
Podstawy teoretyczne metody

Przy nawadnianiu złoża zachodzi proces wytłaczania ropy przez wodę i wypełnienie przez nią opróżnionych z ropy por kolektora. Ponieważ większość por ma wymiary kapilarne, siły kapilarne odgrywają ważną rolę w przebiegu nawadniania złożą. Rezultatem działania sił kapilarnych jest ciśnienie kapilarne (P_K). Istnieje ono na powierzchni kontaktu dwóch nie mieszających się cieczy (w tym przypadku na kontakcie ropa – woda) znajdujących się w kapilarze. Wielkość ciśnienia kapilarnego określamy ze wzoru:

$$P_K = \frac{2 \cdot s_{RW} \cdot \cos\Phi}{r} \quad [\mathrm{Pa}]$$

gdzie:

Φ – kąt zwilżalności,
r – promień kapilary [m],
σ_{RW} – napięcie powierzchniowe na granicy ropa – woda [N/m].



Rys. 1. Schemat powierzchni rozdziału ropa-woda w kapilarze: W – woda, R – ropa, P_T – ciśnienie tłoczenia, P_K – ciśnienie kapilarne, Φ – kąt zwilżalności [1, s. 319]

Wielkość i znak ciśnienia kapilarnego zależy od rodzaju powierzchni kapilary. Dla powierzchni hydrofilnej (zwilżalnej) ciśnienie to ma znak dodatni i jest czynnikiem powodującym wypieranie ropy przez wodę nawet przy braku ciśnienia tłoczenia (rys. 1a).

Działanie zewnętrznego ciśnienia tłoczenia powoduje deformację menisku i wzrost kąta Φ (rys. 1b).

Przy dostatecznie dużym ciśnieniu tłoczenia nastąpi wzrost kąta Φ powyżej 90^0 i menisk powierzchni kontaktu ropa – woda przybierze kształt charakterystyczny dla powierzchni hydrofobowej (nie zwilżalnej), zaś ciśnienie kapilarne zmieni swój znak na ujemny i stanie się czynnikiem utrudniającym wypieranie ropy przez wodę (rys. 1c). Zjawisko to nosi nazwę inwersji zwilżalności.

Jeżeli nawadnianie odbywa się w ośrodku o hydrofobowej powierzchni ziarn lub w ośrodku, w którym nastąpiła inwersja zwilżalności należy stosować duży gradient ciśnienia zatłaczania wody. Pozwala to na pokonanie ciśnienia kapilarnego i czyni kapilary drożnymi dla przepływu wody i ropy.

W przebiegu procesu nawadniania nasyconego ropą ośrodka porowatego wyróżnia się okres bezwodny i okres wodny.

W okresie bezwodnym z nawadnianego ośrodka porowatego wypływa tylko ropa, zaś w okresie wodnym strumień wypływającej cieczy jest zawodniony. Stopień zawodnienia strumienia cieczy powiększa się w miarę upływu czasu nawadniania złoża ropy.

Największy wpływ na ilość odebranej ze złoża ropy (w procesie nawadniania) ma stosunek lepkości ropy do lepkości zatłaczanej wody. Im większy jest współczynnik lepkości ropy w stosunku do lepkości wody tym mniejszy jest tzw. współczynnik odropienia złoża.

Podczas wytłaczania ropy wodą, w okresie bezwodnym, pomiędzy cieczami tworzy się strefa przejściowa, w której ma miejsce równoczesny przepływ ropy i wody. Długość tej strefy jest stała w danych warunkach złożowych i przy stałych parametrach wytłaczania. Strefa ta nosi nazwę „strefy stabilizowanej”.

Metody nawadniania złoża

Nawadnianie złoża może być przeprowadzone metodą:

a) pozakonturową,
b) wewnątrzkonturową.

Przy nawadnianiu pozakonturowym odwierty zasilające zlokalizowane są poza konturem ropa – woda, w strefie wody okalającej. Odległość między rzędem otworów zasilających i eksploatacyjnych nie powinna przekraczać 200 do 300 metrów. Metoda ta stosowana jest w złożach posiadających ruchomą wodę okalającą i dużą lub średnią przepuszczalność skał złożowych.

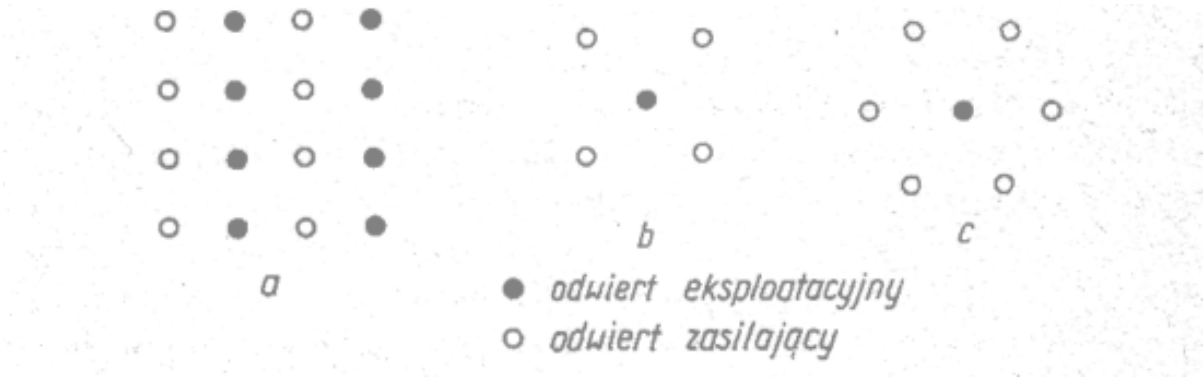
Front wytłaczania powinien się przemieszczać w złożu równolegle do pierwotnego konturu ropa – woda.

Gdy mamy zwiększoną przepuszczalność skał złożowych należy utrzymywać zwiększone ciśnienie denne ruchowe aby zapobiec tworzeniu się „przebitek wodnych” do odwiertów eksploatacyjnych. Może to spowodować przedwczesne zawodnienie odwiertów, a przez to wyłączenie ich z eksploatacji jeszcze przed zakończeniem nawadniania złoża.

Przy nawadnianiu wewnątrzkonturowym otwory zasilające zlokalizowane są wewnątrz konturu ropa – woda. Stosowanie tej metody zalecane jest w złożach płytkich (głębokość zalegania złoża do 800 metrów) o miąższości nie przekraczającej 15 metrów.

Stosowane są następujące systemy rozmieszczenia odwiertów eksploatacyjnych:

a) liniowy,
b) pięciopunktowy,
c) siedmiopunktowy.



Rys. 2. Systemy rozmieszczenia odwiertów zasilających przy wewnątrzkonturowym nawodnieniu złoża a – system liniowy, b – system pięciopunktowy, c – system siedmiopunktowy [1, s. 322]

Stosowanie pięciopunktowych i siedmiopunktowych systemów zasilających zezwala na wtłaczanie dużych ilości wody do złoża, co skraca czas jego nawadniania.

Ilość wody (chłonność odwiertu), która może być zatłoczona do odwiertu zasilającego może być wyliczona ze wzoru:

$$q = \frac{236 \cdot 10^9 \cdot k \cdot m \cdot j \cdot (P_{dz} - P_{zl})}{m \cdot \log \frac{R_k}{r}} \text{ [m}^3\text{/dobę]}$$

gdzie:

k – współczynnik przepuszczalności efektywnej skał złożowych dla wody [m^2],
m – miąższość złoża [m],
φ^m – współczynnik doskonałości hydrodynamicznej odwiertu,
P_{dz} – ciśnienie denne w odwiercie zasilającym [Pa],
$P_{zł}$ – ciśnienie złożowe [Pa],
μ^m – współczynnik lepkości wody [Pa·s],
R_k – promień strefy zasięgu odwiertu [m],
r – promień odwiertu [m].

Ciśnienie denne w odwiercie zasilającym (P_{dz}) jest sumą ciśnienia tłoczenia (P_t) oraz ciśnienia hydrostatycznego słupa wody o wysokości (h) równej głębokości zalegania złoża. Suma ta jest pomniejszona o straty ciśnienia (P_{tr}) spowodowane oporami przepływu wody w odwiercie.

$$P_{dz} = P_t + \rho_w gh - P_{tr} \quad \text{[Pa]}$$

gdzie:

P_{dz} – ciśnienie denne w odwiercie zasilającym [Pa],
P_t – ciśnienie tłoczenia wody do odwiertu zasilającego [Pa],
P_{tr} – opory przepływu wody w odwiercie [Pa],
h – głębokość zalegania złoża [m],
ρ_w – gęstość wody [kg/m^3],
g – przyśpieszenie ziemskie [m/s^2].

Ciśnienie tłoczenia mierzone na głowicy odwiertu zasilającego należy tak dobrać, aby nie spowodować wytworzenia szczelin w złożu.
Po obliczeniu ilości wody niezbędnej do przeprowadzenia nawadniania złoża ze wzoru:

$$WZ = \frac{V_z}{V} \quad \text{a stąd} \quad V_z = WZ \cdot V$$

oraz chłonności odwiertu zasilającego (q) można wyliczyć ilość odwiertów zasilających niezbędną do prawidłowego wykonania nawadniania złoża:

$$n = \frac{V_z}{q}$$

Przygotowanie wody przed zatłoczeniem do złoża

Praktyka wykazała, że dobre wyniki nawadniania złoża otrzymuje się przy wtłaczaniu wody złożowej wydobywanej wraz z ropą z tego samego złoża lub z sąsiedniego o zbliżonym składzie chemicznym. Jeżeli ilość wody złożowej jest zbyt mała, lub nie ma jej w ogóle, wodę można pobierać z rzek, jezior albo morza. Bez względu na to jakie jest pochodzenie wody, przed wtłoczeniem do odwiertów musi zostać ona oczyszczona z zanieczyszczeń mechanicznych i chemicznych.

Woda ta powinna odpowiadać następującym wymaganiom:

a) zawartość cząstek stałych występujących w wodzie w postaci zawiesin nie może przekraczać 2 mg/litr,
b) zawartość związków żelaza nie może przekraczać 0,2 mg/litr,
c) nie może zawierać CO_2, H_2S, zanieczyszczeń ropą,
d) pH = 7 do 8.

Źródłem zanieczyszczeń kanalików przepływowych w złożu może być też osad tworzący się w złożu wskutek reakcji wody złożowej z wodą wtłaczaną. Powoduje to gwałtowny spadek prędkości przepływu wtłaczanej wody w porach skały złożowej Największe niebezpieczeństwo zatkania porów wytrącającym się osadem jest w pierwszych dniach trwania nawadniania złoża. Po kilku dniach prędkość ta ustala się.

Zanieczyszczenia mechaniczne usuwa się z wody poprzez jej filtrowanie. Aby ten proces ułatwić wskazane jest przeprowadzenie zabiegu koagulacji. Polega on na dodaniu do wody koagulatora, który powoduje łączenie się cząstek stałych w większe, łatwiej wypadające z zawiesiny i łatwiej osadzające się na filtrach.

Usunięcie z wody nadmiaru związków żelaza przeprowadza się przy pomocy aeryzacji polegającej na przetłoczeniu powietrza przez wodę znajdującą się w zbiorniku. Tlen znajdujący się w powietrzu utlenia znajdujące się w wodzie węglany wapnia do wodorotlenków, które jako słabo rozpuszczalne w wodzie wypadają z niej w postaci brunatnego osadu.

Woda podlega także stabilizacji, która ma na celu zapobieganie korozji armatury tłoczącej i rur okładzinowych w odwiertach zasilających. Działanie stabilizatorów polega na zmniejszeniu koncentracji jonów wodorowych na powierzchniach metalowych, a to z kolei zmniejsza intensywność procesów korozyjnych.

Rozpoczęcie nawadniania złoża

Przed rozpoczęciem nawadniania odwiert zasilający należy zaopatrzyć w głowicę, przez którą będzie wtłaczana woda. Jej wytrzymałość powinna odpowiadać wytrzymałości głowic przeciwwybuchowych stosowanych w trakcie wiercenia odwiertu.

„Rozruch” odwiertu zasilającego może być utrudniony, zwłaszcza gdy jest on usytuowany w zwartych skałach złożowych o małej przepuszczalności. Trudność będą także sprawiały osady wytrącające się na kontakcie woda zatłaczana-woda złożowa. Jeżeli istnieją w złożu choćby najmniejsze spękania to zostaną one poszerzone, przepuszczalność wzrośnie a ciśnienie tłoczenia spadnie. Jeżeli nie ma takich warunków w złożu, to należy wykonać dodatkową perforację oraz bardzo starannie oczyszczać wodę przed zatłoczeniem do odwiertów zasilających. Jeżeli i to nie daje efektów, należy wykonać kwasowanie lub hydrauliczne szczelinowanie złoża.

Gdy podczas zatłaczania wody znacznie spadnie chłonność odwiertu zatłaczającego można zastosować zakwaszanie wody zatłaczanej do wartości pH = 2. Należy jednak w tym przypadku dodawać substancje antykorozyjne.

4.2.2. Pytania sprawdzające

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

1. Jaki rodzaj ciśnienia panuje na kontakcie ropa-woda podczas nawadniania złoża?
2. Co to jest powierzchnia hydrofobowa?
3. Co to jest powierzchnia hydrofilowa?
4. Jakie wartości przybiera kąt zwilżalności na powierzchni hydrofobowej?
5. Kiedy powstaje zjawisko inwersji zwilżalności?
6. W jakiej części złożą lokalizuje się odwierty zasilające przy nawadnianiu pozakonturowym?
7. Sumą jakich ciśnień jest ciśnienie denne odwiertu zasilającego?
8. Z jakiego wzoru wylicza się ilość odwiertów zasilających?
9. Co to jest stabilizacja wody zatłaczanej?
10. Co należy zrobić, gdy nie można „uruchomić” odwiertu zasilającego?

4.2.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Oblicz, jaką ilość wody w ciągu doby można wtłoczyć do odwiertu zasilającego przy nawadnianiu złoża?

Dane dodatkowe:

- miąższość złoża $m = 10$ m,
- współczynnik przepuszczalności $k = 60$ md,
- ciśnienie denne zasilające $p_{dz} = 20$ mpa,
- ciśnienie złożowe $p_{zł} = 15$ mpa,
- promień strefy zasięgu odwiertu $r_k = 300$ m,
- promień odwiertu $r = 5”$,
- współczynnik doskonałości hydrodynamicznej odwiert $\varphi = 0,75$.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) sprawdzić poprawność zapisu i uzgodnić jednostki,
2) zapisać wzór i sprawdzić, czy posiada wszystkie dane,
3) podstawić dane do wzoru i dokonać wyliczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:
– kalkulator,
– tabela przeliczników jednostek.

Ćwiczenie 2

Oblicz ilość odwiertów zasilających, przy wykonywaniu nawadniania złoża, jeżeli do złoża można wtłoczyć V_z = 150.000 litrów wody w ciągu godziny. Narysuj schemat rozmieszczenia odwiertów przy zasilaniu wewnątrzkonturowym liniowym.
Do obliczeń zastosuj wynik uzyskany w ćwiczeniu poprzednim.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:
1) napisać wzór, z którego będziesz korzystał,
2) sprawdzić poprawność zapisu i uzgodnić jednostki,
3) podstawić dane do wzoru i dokonać wyliczenia,
4) narysować schemat rozmieszczenia odwiertów zasilających.

Wyposażenie stanowiska pracy:
– kalkulator,
– tabela przeliczników jednostek.

Ćwiczenie 3

Ile wynoszą opory przepływu wody zasilającej w odwiercie zasilającym?
Dane dodatkowe:
– głębokość zalegania złoża h = 1500 m,
– ciśnienie denne zasilające p_{dz} = 1000000 kg/m^2,
– ciśnienie tłoczenia p_t = 5,0 mpa,
– ciężar właściwy wody zatłaczanej γ_w = 1,1 g/cm^3.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:
1) zapisać wzór na ciśnienie denne w odwiercie zatłaczającym,
2) przekształcić powyższy wzór aby obliczyć opory przepływu,
3) sprawdzić poprawność zapisu i uzgodnić jednostki,
4) podstawić dane do wzoru i dokonać wyliczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:
– kalkulator,
– tabela przeliczników jednostek.

4.2.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) narysować kąt zwilżalności dla powierzchni hydrofobowej?	□	□
2) narysować kąt zwilżalności dla powierzchni hydrofilowej?	□	□
3) wyjaśnić, dlaczego w ośrodku porowatym hydrofobowym należy stosować duże gradienty ciśnienia zatłaczania?	□	□
4) wyjaśnić, dlaczego współczynnik odropienia złoża zależy od lepkości ropy naftowej i wody zatłaczanej?	□	□
5) scharakteryzować proces powstawania tzw. „przebitek wodnych”?	□	□
6) narysować schemat rozmieszczenia odwiertów zasilających przy wewnątrz konturowym systemie nawadniania złoża?	□	□
7) obliczyć chłonność odwiertu zasilającego?	□	□
8) obliczyć ciśnienie denne w odwiercie zasilającym?	□	□
9) obliczyć ilość odwiertów zasilających?	□	□
10) wymienić właściwości fizyczne i chemiczne wody zatłaczanej?	□	□
11) scharakteryzować sposoby oczyszczania wody zatłaczanej do odwiertu?	□	□
12) omówić „rozruch” odwiertu zasilającego?	□	□

4.3. Nagazowanie złoża

4.3.1. Materiał nauczania

Podstawy teoretyczne metody

Przy nagazowaniu złoża gaz wytłacza ropę i wypełnia opróżnione z ropy pory kolektora. Zachodzi tu również zjawisko rozpuszczania gazu w ropie. Ilość rozpuszczonego gazu zależy od ciśnienia i temperatury w złożu. Wzrost ciśnienia złożowego powoduje zwiększenie ilości rozpuszczonego w ropie gazu. Jeżeli ciśnienie złożowe osiągnie wartość ciśnienia nasycenia to cały znajdujący się w złożu gaz ulegnie rozpuszczeniu w ropie. Ciśnienie nasycenia zależy od rodzaju ropy i gazu, od ich ilości w złożu, od temperatury złożowej. Zazwyczaj jest większe dla rop ciężkich oraz przy zawartości w gazie składników trudno rozpuszczalnych w ropie. Ciśnienie nasycenie szybko wzrasta wraz ze wzrostem temperatury, gdyż wzrost temperatury zmniejsza ilość rozpuszczonego w ropie gazu.

Rozpuszczony w ropie gaz ma wpływ na jej lepkość. Im więcej rozpuszczonego w ropie gazu tym lepkość jest mniejsza. Ta zależność zwiększa współczynnik odropienia złoża.

W zakresie ciśnień i temperatur spotykanych w złożach płytkich i średnio głębokich gaz i ropa nie mieszają się ze sobą. W miejscu ich kontaktu istnieje powierzchnia rozdziału. Jeżeli kontakt ma miejsce w porach kapilarnych to na kontakcie powstaje ciśnienie kapilarne, które wyznaczamy ze wzoru:

$$P_K = \frac{2 \cdot s_{RG} \cdot \cos\Phi}{r} \quad [\mathrm{Pa}]$$

gdzie:

Φ – kąt zwilżalności,

r – promień kapilary [m],

σ_{RG} – napięcie powierzchniowe na granicy ropa-gaz [N/m].

Podstawy teoretyczne wytłaczania ropy gazem i wodą z ośrodka porowatego są bardzo podobne (patrz rozdział 4.2.1. Podstawy teoretyczne metody).

Ze względu na znacznie bardziej niekorzystny stosunek lepkości cieczy wytłaczającej do lepkości cieczy wytłaczanej, niż w przypadku nawadniania złoża, końcowy współczynnik odropienia złoża jest mniejszy niż przy nawadnianiu.

Również możliwość powstania tzw. „przebitek gazowych” przy nagazowaniu złoża jest większa niż powstanie „przebitek wodnych” przy nawadnianiu złoża.

Metoda ta jest często stosowana na złożach produkujących w warunkach gazociśnieniowych lub rozpuszczonego gazu. W warunkach gazociśnieniowych odwierty zasilające powinny być lokalizowane na obszarze występowania czapy gazowej lub w jej pobliżu.

Wykonanie nagazowania złoża

Do nagazowania złoża stosuje się gaz ziemny, który można uzyskać z eksploatowanej ropy naftowej. Nie wolno stosować powietrza, gdyż może to doprowadzić do powstania mieszaniny wybuchowej z gazem ziemnym w odwiertach eksploatacyjnych (po powstaniu „przebitek” zatłaczanego powietrza) jak i w odwiertach zatłaczających.

Odwierty zasilające muszą posiadać dobry stan techniczny oraz wystarczającą chłonność. Ważna też jest dobra izolacja horyzontu ropnego, w którym będzie wykonywane nagazowanie, od horyzontów zalegających powyżej i poniżej niego.

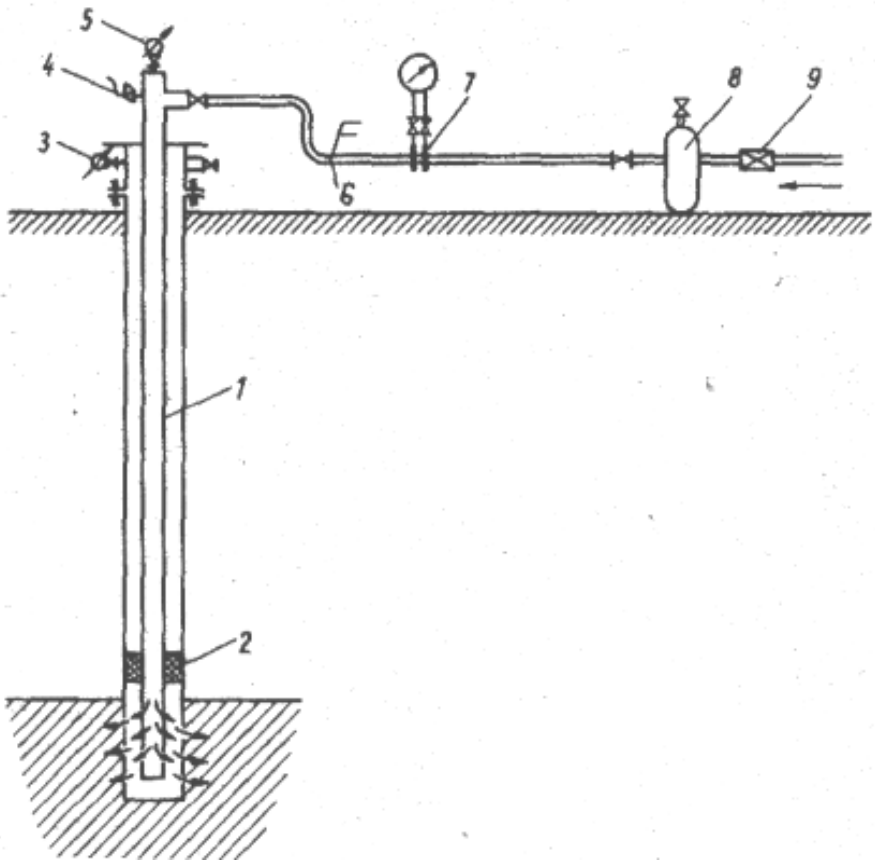
Chłonność odwiertu zasilającego można obliczyć ze wzoru:

$$q = \frac{118 \cdot 10^{10} \cdot k \cdot m \cdot (P_{dz}^2 - P_{zl}^2)}{m_R \cdot \log \frac{R_k}{r}} \quad [\mathrm{nm^3/dobę}]$$

gdzie:

k – współczynnik przepuszczalności efektywnej skał dla gazu [m^2],
m – miąższość złożą [m],
P_{dz} – ciśnienie denne w odwiercie zasilającym [Pa],
$P_{zł}$ – ciśnienie złożowe [Pa],
μ_R – współczynnik lepkości ropy [Pa·s],
R_k – promień strefy zasięgu odwiertu [m],
R – promień odwiertu [m].

Gaz może być tłoczony do złoża pełnym przekrojem rur okładzinowych lub też przez zapuszczoną kolumnę rur wydobywczych uszczelnioną pakerem względem rur okładzinowych. Dolny koniec rur wydobywczych jest zaślepiony, a gaz wypływa z nich otworami wykonanymi w rurach przed ich zapuszczeniem do odwiertu. Sumaryczna powierzchnia tych otworów musi być co najmniej równa powierzchni przekroju poprzecznego rur wydobywczych.



Rys. 3. Schemat konstrukcji i wyposażenia odwiertu zasilającego przy nagazowaniu złoża: 1 – rury wydobywcze, 2 – paker, 3 i 5 – manometry, 4 – zawór bezpieczeństwa, 6 – przepływomierz, 7 – zwężka pomiarowa, 8 – odwadniacz, 9 – zawór redukcyjny [1, s. 327]

Rysunek 3 przedstawia schemat uzbrojenia i wyposażenia odwiertu zasilającego podczas nagazowaniu złoża. Musi ono zapewnić doprowadzenie do złoża potrzebnej ilości gazu pod żądanym ciśnieniem, oraz na regulację i pomiar ciśnienia dopływającego gazu.

4.3.2. Pytania sprawdzające

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

1. Jaka jest zależność między ilością gazu rozpuszczonego w ropie a ciśnieniem i temperaturą panującymi w złożu?
2. Co to jest ciśnie nasycenia w odniesieniu do gazu rozpuszczonego w ropie?
3. Na złożach o jakim systemie energetycznym, powinna być wykonywana metoda nagazowania?
4. Dlaczego współczynnik odropienia przy nawadnianiu złoża jest większy od współczynnika odropienia przy nagazowaniu złoża?
5. Dlaczego przy nagazowaniu złoża nie wolno stosować powietrza?
6. Jak powinien być uzbrojony odwiert, którym prowadzone jest zatłaczanie gazu w złoże?
7. Jakie parametry zatłaczanego gazu muszą być regulowane podczas nagazowania złoża?

4.3.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Na mapach strukturalnych złóż ropy naftowej produkujących w warunkach gazociśnieniowym i gazu rozpuszczonego, zaznacz lokalizację odwiertów zatłaczających gaz przy nagazowaniu złoża.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) znaleźć na mapach strukturalnych złóż ropy naftowej kontury złóż,
2) określić, które z nich przedstawiają złoże produkujące w warunkach gazociśnieniowych, a które w warunkach rozpuszczonego gazu,
3) zaznaczyć na mapach lokalizację odwiertów zatłaczających.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- mapy strukturalne złóż ropy naftowej,
- przybory kreślarskie.

Ćwiczenie 2

Oblicz ciśnienie denne zatłaczania (P_{dz}), jakie będzie panowało w odwiercie o średnicy 5” podczas zatłaczania gazu do złoża, wiedząc że:

- chłonność odwiertu $q = 5\ nm^3/min$,
- miąższość warstwy złożowej $m = 10\ m$,
- średni współczynnik przepuszczalności $k = 60\ md$,
- ciśnienie złożowe wyrażone w gradiencie ciśnień wynosi $p/h = 0{,}013\ mpa/m$,
- głębokość zalegania złoża $h = 1000\ m$,
- promień zasięgu oddziaływania złoża $r_k = 200\ m$,
- współczynnik lepkości ropy $\mu_r = 3\ cp$.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) napisać wzór na chłonność odwiertu zasilającego złoże w gaz,
2) przekształcić wzór aby wyliczyć różnicę ciśnień,
3) sprawdzić poprawność zapisu i uzgodnić jednostki,
4) wstawić dane do przekształconego wzoru i wyliczyć różnicę ciśnień,
5) wyliczyć ciśnienie denne zatłaczania.

Wyposażenie stanowiska pracy:

– kalkulator,
– tabela przeliczników jednostek.

4.3.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

		Tak	**Nie**
1)	wyjaśnić, jak ciśnienie złoża wpływa na rozpuszczanie gazu w ropie?	☐	☐
2)	wyjaśnić, dlaczego wraz ze wzrostem temperatury gazu w złożu rośnie ciśnienie nasycenia?	☐	☐
3)	obliczyć ciśnienie kapilarne na kontakcie ropa-gaz przy nagazowaniu złoża?	☐	☐
4)	wyjaśnić pojęcie „przebitka gazowa”?	☐	☐
5)	wykazać, dlaczego do nagazowania złoża ropy nie stosuje się powietrza?	☐	☐
6)	obliczyć chłonność odwiertu zasilającego przy nagazowaniu złoża?	☐	☐
7)	narysować schemat odwiertu zasilającego złoże w gaz przy nagazowaniu złoża?	☐	☐
8)	określić, gdzie powinny być lokalizowane odwierty zasilające na złożach ropy o systemach energetycznych: gazociśnieniowy i rozpuszczonego gazu?	☐	☐

4.4. Trzecie metody eksploatacji złóż ropy naftowej

4.4.1. Materiał nauczania

Zatłaczanie do złoża nośnika ciepła

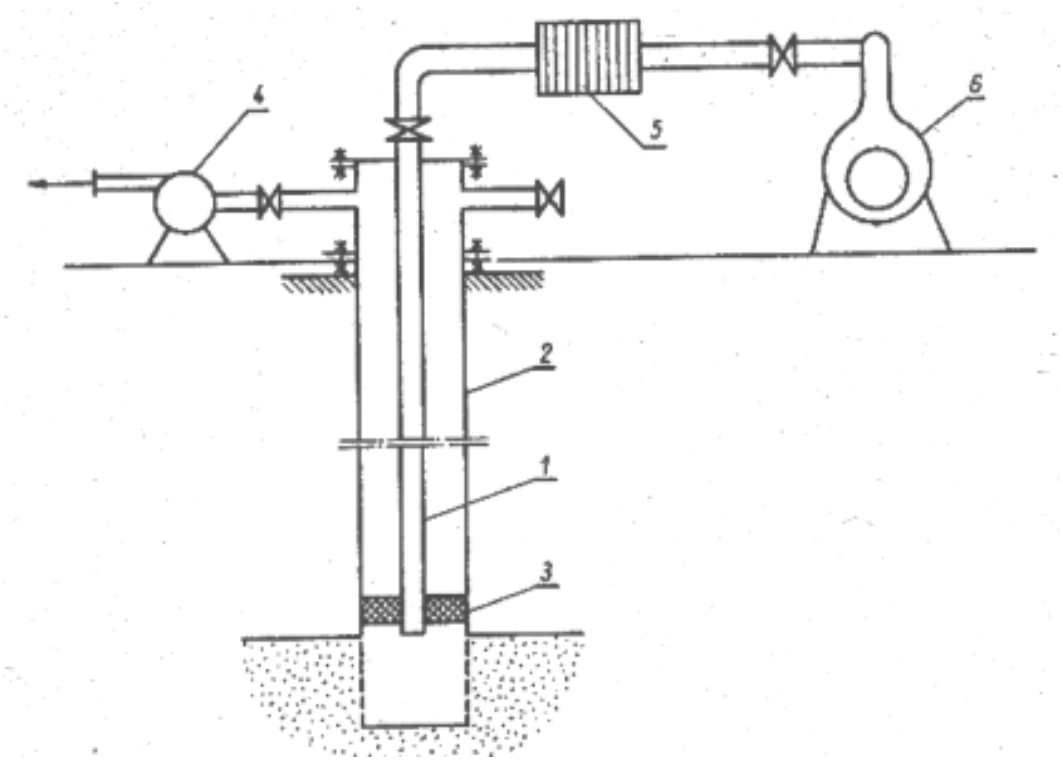
Zatłaczanie do złoża nośnika ciepła przeciwdziała spadkowi ciśnienia złożowego (działanie podobne jak przy nawadnianiu złoża) a także zmniejsza lepkość ropy, co jest dodatkowym czynnikiem powodującym zwiększenie współczynnika odropienia złoża.

Jako nośnik ciepła można stosować gorącą wodę, gorący gaz lub przegrzaną parę wodną. Przegrzana para wodna jest w stanie dostarczyć do złoża największą ilość ciepła.

Czynnikiem wpływającym na efektywność i opłacalność tej metody jest wielkość strat ciepła, które mogą mieć miejsce podczas przepływu nośnika ciepła w:

a) odwiercie na drodze pomiędzy głowicą odwiertu a złożem – przenikanie ciepła poprzez rury okładzinowe w skały okalające odwiert,
b) złożu – przenikanie ciepła w warstwy stropowe i spągowe.

Aby zmniejszyć straty ciepła (całkowite wyeliminowanie strat nie jest możliwe) tłoczenie nośnika ciepła powinno odbywać się kolumną rur zapuszczoną do kolumny rur okładzinowych. Przykładowy schemat odwiertu zasilającego przy zatłaczaniu przegrzanej pary wodnej przedstawia rysunek 4.



Rys. 4. Schemat odwiertu zasilającego przy zatłaczaniu do złoża przegrzanej pary wodnej: 1 – rury tłoczące, 2 – rury okładzinowe, 3 – paker, 4 – pompa próżniowa 5 – podgrzewacz, 6 – pompa zasilająca [1, s. 329]

Na przedstawionym schemacie została zastosowana izolacja próżniowa rur tłoczących, dzięki zastosowaniu pompy próżniowej (4). Takie rozwiązanie dość znacznie zmniejsza straty ciepła na drodze od głowicy odwiertu do złoża. Temperatura przegrzanej pary wodnej wtłaczanej do odwiertu powinna wynosić ponad 200°C.

Dla oceny efektywności metody zatłaczania do złoża nośnika ciepła, oraz oceny strat ciepła w czasie przepływu nośnika ciepła w złożu można posłużyć się współczynnikiem wykorzystania ciepła.

$$h = \frac{Q_Z}{Q_C}$$

gdzie:

Q_Z – ilość ciepła użytego w ciągu pewnego okresu czasu do ogrzania złoża ropy,
Q_C – całkowita ilość ciepła zawartego w nośniku ciepła w tym samym okresie czasu.

Jak wykazały badania współczynnik wykorzystania ciepła maleje wraz ze wzrostem czasu trwania zabiegu wtłaczania nośnika ciepła do złoża. Jednocześnie jest on tym większy, im większa jest miąższość i szybkość przepływu nośnika w złożu.

Wytłaczanie ropy ze złoża cieczami mieszającymi się z nią

W porównaniu do wytłaczania ropy wodą lub gazem pod niskim ciśnieniem, przy tej metodzie nie występuje powierzchnia graniczna między cieczą wytłaczaną a wytłaczającą. Dzięki temu znika ciśnienie kapilarne przeciwdziałające ruchowi ropy i utrudniające odropienie złoża.

Jako ciecz wtłaczającą można stosować :

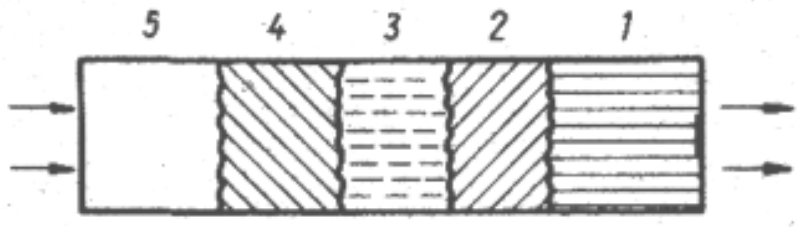
a) gaz ziemny pod wysokim ciśnieniem,
b) gaz płynny,
c) ciecz (np. alkohol, gazolina, propan, butan).

W mieszaninie węglowodorów ciekłych i gazowych przy odpowiednim dla danej mieszaniny ciśnieniu i temperaturze może zachodzić zjawisko odparowania cieczy. W skutek tego, własności fizyczne węglowodorów gazowych sprężanych pod wysokim ciśnieniem są podobne do własności węglowodorów ciekłych, a te z kolei w tych warunkach przechodzą w fazę gazową. Pomiędzy ropą z gazem znika powierzchnia rozdziału, a gaz działa na ropę jak rozpuszczalnik. Dla całkowitego przejścia wszystkich składników ropy w fazę gazową potrzeba bardzo wysokiego ciśnienia (powyżej 30,0 MPa) i bardzo dużych ilości gazu (do 300 nm^3 gazu/1m^3 ropy). Przy ponownej obniżce ciśnienia zachodzi zjawisko wstecznej kondensacji i składniki mieszaniny, poczynając od najcięższych, przechodzą ponownie w fazę ciekłą. Ciśnienie, przy którym zachodzi odparowanie ropy jest tym niższe, im bogatszy w ciężkie węglowodory jest zatłaczany gaz.

Wytłaczanie ropy ze złoża gazem pod wysokim ciśnieniem, jako cieczą mieszającą się z nią można porównać do sztucznego przekształcania złoża ropnego w złoże gazowo-kondensatowe i jego eksploatację.

W warunkach wypierania gazem mieszającym się z ropą można usunąć blisko 100% ropy z przestrzeni porowej, w której istnieje kontakt gazu z ropą.

Przy zastosowaniu gazu płynnego lub cieczy zatłacza się jedynie pewną ich ilość w celu wytworzenia w złożu ruchomego wału rozpuszczalnika, a następnie wtłacza się wodę lub gaz ziemny odgazolinowany. W czasie ruchu wału rozpuszczalnika w ośrodku porowatym następuje jego częściowe zmieszanie z jednej strony z wytłaczaną ropą, z drugiej strony z medium wytłaczającym.



Rys. 5. Schemat wytłaczania ropy płynnym gazem: 1 – ropa, 2 – mieszanina ropa – płyny gaz, 3 – płynny gaz (rozpuszczalnik), 4 – mieszanina gazu płynnego i cieczy wtłaczanej (woda lub gaz ziemny) 5 – ciecz wtłaczana za rozpuszczalnikiem [1, s. 331]

Przy wytłaczaniu ropy płynnym gazem można osiągnąć współczynnik odropienia około 90%.

Metoda wytłaczania ropy cieczami mieszającymi się z nią może zostać wykorzystana przy tworzeniu Podziemnych Magazynów Gazu (PMG). Są one tworzone zazwyczaj w wyczerpanych złożach gazu. Istnieje również możliwość tworzenia takiego magazynu m.in. w wyczerpanych złożach ropy naftowej. Specyfiką tego procesu jest możliwość oddziaływania magazynowanego gazu z ropą resztkową pozostałą w złożu, co może prowadzić do jego rewitalizacji. Połączenie metody zwiększającej wydobycie ropy naftowej z podziemnym magazynowaniem gazu może zwiększyć atrakcyjność tej metody przez dodatkowe profity płynące z magazynowania gazu, poprawiające ekonomiczną efektywność całego przedsięwzięcia [7].

Mikrobiologiczne metody zwiększania wydobycia ropy naftowej

Zastosowanie wtórnych metod odzysku ropy naftowej spotyka się w praktyce z wieloma trudnościami oraz ograniczeniami. Powoduje to drastyczny wzrost całkowitego kosztu wydobycia i w konsekwencji czyni sam proces odzysku ropy ekonomicznie nieopłacalnym. W związku z tym wzrosło zainteresowanie alternatywnymi metodami, ukierunkowanymi na obniżenie kosztów i jednocześnie nieszkodliwymi dla środowiska naturalnego. Metodami spełniającymi powyższe warunki są metody mikrobiologiczne.

Prace badawcze nad zastosowaniem wyspecjalizowanych drobnoustrojów w celu odzysku ropy naftowej rozpoczął w latach czterdziestych amerykański biolog Zo Bell. Dalszy istotny postęp w tej dziedzinie jest zasługą D.C. Hitzmana i J. Karaskiewicza, dzięki którym metody oraz badania mikrobiologiczne znalazły praktyczne zastosowanie w przemyśle naftowym.

Podstawową sprawą dla osiągnięcia sukcesu w stosowaniu technologii mikrobiologicznej jest posiadanie odpowiednich mikroorganizmów. Mogą one wpływać na odzysk ropy poprzez:

a) produkcję gazów, które zwiększają ciśnienie złożowe i zmniejszają lepkość ropy (np. CO_2, CH_4, H_2),
b) produkcję kwasów, które rozpuszczają skałę zbiornikową zwiększając tym samym całkowitą przepuszczalność (np. wydzielany CO_2 w reakcji z wodą tworzy kwas węglowy),
c) modyfikację stref o wysokiej przepuszczalności przez wzrost biomasy i produkcję polimerów, a tym samym uniemożliwienie ucieczek wody w procesie nawadniania złoża,
d) zmianę zwilżalności skał,
e) wydzielanie środków powierzchniowo czynnych, które obniżają napięcie powierzchniowe,

f) redukcję lepkości ropy przez rozkład węglowodorów nasyconych o długich łańcuchach na węglowodory o łańcuchach krótszych.

Mikroorganizmy przeznaczone do zastosowania w przemysłowych zabiegach odzysku ropy naftowej ze złóż powinny spełniać następujące wymagania:

a) zdolność do rozkładu węglowodorów,
b) ruchliwość,
c) tolerancja na stężenia soli do 10%,
d) zdolność obniżania pH środowiska poprzez wytwarzanie kwasów,
e) zdolność do wzrostu w warunkach tlenowych i beztlenowych,
f) muszą mieć naturalne pochodzenie (wyklucza się stosowanie mikroorganizmów modyfikowanych genetycznie),
g) brak zdolności do wytwarzania siarkowodoru i śluzu,
h) brak patogenności (chorobotwórczości) stosowanych szczepów.

Jedna z technologii wykorzystująca mikroorganizmy do wtórnego zwiększenia wydobycia składa się z następujących etapów:

– etap I – do złoża wtłacza się wodę z tlenem w formie mieszaniny zawierającej także mineralne sole azotu i fosforu. Związki te uaktywniają rozwój mikroflory, a wprowadzone z wodą bakterie utleniają węglowodory do kwasów organicznych i alkoholi,
– etap II – do złoża wtłacza się wodę, tym razem bez tlenu, stwarzając warunki do życia bakteriom beztlenowym, które przetwarzają wspomniane produkty utlenienia ropy w metan i kwas węglowy. Metan obniża lepkość ropy i jednocześnie podnosi ciśnienie złożowe, a kwas węglowy rozpuszcza węglany ułatwiając opróżnianie złoża.

Przedstawioną powyżej metodę stosowano na złożach naftowych Republiki Tatarstanu i dzięki niej zwiększono wydobycie o 10 do 30%.

Metoda chemiczna zwiększania wydobycia ropy naftowej

Polega ona na wykorzystaniu piasku (dwutlenku krzemu) do odzyskania ze złoża ropy naftowej. Opracowano wiele tego typu metod, ale okazały się one mało wydajne. Na uwagę zasługuje metoda opracowana na Uniwersytecie w Saratowie. Jest tańsza od pozostałych i sprawdzona w praktyce.

Po częściowym opróżnieniu złoża ropy pozostaje w nim mieszanina ropy i wody, przy czym ich rozdzielenie stwarza wielkie trudności. Technologia ta bazuje na różnej reakcji wody, gruntu i ropy na obcą substancję rozpyloną w złożu. Środek ten jest zmielonym piaskiem z dodatkiem środków o własnościach „odpychania” wody i jednoczesnym „przyciąganiu” ropy. Materiał ten pozwala na zwiększenie wydobycia ropy o 30 do 50% ze złóż uznawanych za wyeksploatowane.

4.4.2. Pytania sprawdzające

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

1. Jakie media wtłacza się do złoża jako nośniki ciepła?
2. Gdzie, podczas wtłaczania nośników ciepła w złoże, mamy do czynienia z największymi stratami ciepła?
3. Jaką temperaturę powinna mieć przegrzana para wodna w metodzie wtłaczania nośnika ciepła?
4. Jakie ciecze można wtłaczać do odwiertu w metodzie zatłaczania cieczy mieszających się z ropą?

5. Przy jakim ciśnieniu gazu zatłoczonego do odwiertu w metodzie cieczy mieszających się, ropa w złożu przejdzie ze stanu ciekłego w gazowy?
6. Jaki procent ropy można usunąć z przestrzeni porowych złoża przy zastosowaniu metody cieczy mieszających się?
7. W jaki sposób mikroorganizmy mogą wpływać na odzyskanie ze złoża ropy naftowej?
8. Jaki czynnik jest wykorzystywany w metodzie chemicznej zwiększenia wydobycia ropy naftowej?

4.4.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Zapisz bilans cieplny, z jakim mamy do czynienia w metodzie zatłaczania nośnika ciepła do złoża. W jaki sposób można by zminimalizować występujące w tej metodzie straty ciepła.

Przedstaw własne propozycje.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:
1) narysować schemat odwiertu zasilającego z zaznaczeniem uzbrojenia powierzchniowego i wgłębnego,
2) zaznaczyć na schemacie drogę jaką pokonuje nośnik ciepła od miejsca jego wytworzenia do złoża,
3) wypisać straty ciepła jakie mają miejsce na drodze nośnika ciepła – zapis symbolami (np. Δq_1, Δq_2,... itd.),
4) ułożyć bilans cieplny zgodnie z zasadą, że ilość ciepła dostarczonego musi być równa ilości ciepła oddanego,
5) przedstawić własne propozycje sposobów minimalizacji strat ciepła.

Wyposażenie stanowiska pracy:
- przybory do rysowania,
- literatura z rozdziału 6 poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 2

Narysuj schemat uzbrojenia wgłębnego i powierzchniowego odwiertu zasilającego w metodzie cieczy mieszających się, przy zatłaczaniu rozpuszczalnika.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:
1) przeanalizować przebieg wykonania zabiegu zatłaczania poszczególnych cieczy do odwiertu,
2) zaproponować na podstawie przeprowadzonej analizy uzbrojenie wgłębne i powierzchniowe odwiertu zasilającego,
3) przedstawić powyższą propozycję w postaci schematu graficznego.

Wyposażenie stanowiska pracy:
- Poradnik dla ucznia,
- przybory do rysowania,
- literatura z rozdziału 6 poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 3

Analizując oddziaływanie mikroorganizmów na złoże ropy naftowej znajdź analogie ze znanymi ci metodami intensyfikacji lub metodami wtórnymi eksploatacji. Wynik analizy przedstaw w postaci tabeli.

a) produkcja gazów, które zwiększają ciśnienie złożowe i zmniejszają lepkość ropy (np. CO_2, CH_4, H_2),
b) produkcja kwasów, które rozpuszczają skałę zbiornikową zwiększając tym samym całkowitą przepuszczalność (np. wydzielany CO_2 w reakcji z wodą tworzy kwas węglowy),
c) modyfikację stref o wysokiej przepuszczalności przez wzrost biomasy i produkcję polimerów, a tym samym uniemożliwienie ucieczek wody w procesie nawadniania złoża,
d) zmianę zwilżalności skał,
e) wydzielanie środków powierzchniowo czynnych, które obniżają napięcie powierzchniowe,
f) redukcję lepkości ropy przez rozkład węglowodorów nasyconych o długich łańcuchach na węglowodory o łańcuchach krótszych.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) narysować tabelę wg załączonego wzoru,

Oddziaływanie mikroorganizmów na złoże ropy	**Metoda intensyfikacji, metoda wtórna lub metoda trzecia zwiększenia wydobycia**

2) wpisać do pierwszej kolumny rodzaje oddziaływań mikroorganizmów na złoże,
3) analizując każde z oddziaływań spróbować dopasować do niego znaną mu metodę intensyfikacji, metodę wtórną lub metodę trzecią zwiększenia wydobycia,
4) potraktować to ćwiczenie jako powtórzenie i utrwalenie wiadomości o metodach intensyfikacyjnych i metodach wtórnych.

Wyposażenie stanowiska pracy:

– przybory do rysowania,
– literatura z rozdziału 6 poradnika dla ucznia.

4.4.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	**Nie**
1) przedstawić bilans cieplny dla metody zatłaczania do złoża nośnika ciepła?	☐	☐
2) naszkicować schemat odwiertu zasilającego przy zatłaczaniu nośnika ciepła?	☐	☐
3) zapisać wzór na współczynnik wykorzystania ciepła w metodzie zatłaczania nośnika ciepła?	☐	☐
4) wymienić ciecze jakie można zatłaczać do złoża w metodzie cieczy mieszających się?	☐	☐
5) wyjaśnić proces oddziaływania wzajemnego ropa-gaz w metodzie cieczy mieszających się?	☐	☐

6) uzasadnić celowość tworzenia PMG w wyeksploatowanych złożach ropy naftowej? ☐ ☐
7) wyjaśnić procesy zachodzące w złożu przy stosowaniu metod mikrobiologicznych? ☐ ☐
8) wymienić wymagania jakie muszą spełnić mikroorganizmy stosowane w metodach mikrobiologicznych? ☐ ☐
9) scharakteryzować wykonanie zabiegu z zastosowaniem mikroorganizmów? ☐ ☐
10) scharakteryzować metodę chemiczną zwiększenia wydobycia ropy naftowej? ☐ ☐

5. SPRAWDZIAN OSIĄGNIĘĆ

INSTRUKCJA DLA UCZNIA

1. Przeczytaj uważnie instrukcję.
2. Podpisz imieniem i nazwiskiem kartę odpowiedzi.
3. Zapoznaj się z zestawem zadań testowych.
4. Test zawiera 25 zadań. Do każdego zadania dołączone są 4 możliwości odpowiedzi. Tylko jedna jest prawidłowa.
5. Udzielaj odpowiedzi na załączonej karcie odpowiedzi, stawiając w odpowiedniej rubryce znak X. W przypadku pomyłki należy błędną odpowiedź zaznaczyć kółkiem, a następnie ponownie zakreślić odpowiedź prawidłową.
6. Zadania wymagają prostych obliczeń, które powinieneś wykonać przed wskazaniem poprawnego wyniku.
7. Pracuj samodzielnie, bo tylko wtedy będziesz miał satysfakcję z wykonanego zadania.
8. Jeśli udzielenie odpowiedzi będzie Ci sprawiało trudność, wtedy odłóż jego rozwiązanie na później i wróć do niego, gdy zostanie Ci wolny czas.
9. Na rozwiązanie testu masz 60 minut.

Powodzenia

ZESTAW ZADAŃ TESTOWYCH

1. Celem wtórnych metod eksploatacji jest
   a) przeciwdziałanie spadkowi energii złożowej.
   b) zwiększenie powierzchni dopływu ropy naftowej do odwiertu.
   c) rekonstrukcja odwiertu.
   d) likwidacja odwiertu.

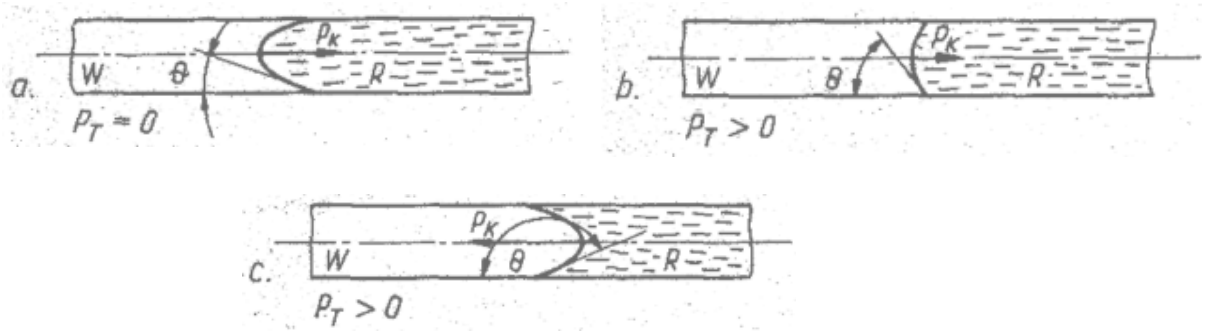
2. W ciągu doby wydobyto 86,0 ton ropy naftowej o gęstości 860 kG/m^3. Wydobyta ropa zajmie objętość
   a) 90 m^3.
   b) 100 m^3.
   c) 110 m^3.
   d) 120 m^3.

3. Najlepsze wyniki podczas stosowania wtórnych metod eksploatacji uzyskuje się gdy
   a) lepkość ropy naftowej w złożu jest duża.
   b) złoże posiada nieregularną budowę.
   c) lepkość ropy naftowej w złożu jest jak najmniejsza.
   d) nasycenie por skalnych ropą naftową jest bardzo małe.

4. Do wtórnych metod eksploatacji zaliczamy
   a) kwasowanie.
   b) perforowanie.
   c) nawadnianie złoża.
   d) próbną eksploatację.

5. Podczas nawadniania złoża na kontakcie ropa-woda powstaje ciśnienie
   a) złożowe.
   b) kapilarne.
   c) nasycenia.
   d) hydrostatyczne.

6. Zjawisko inwersji zwilżalności przedstawia rysunek



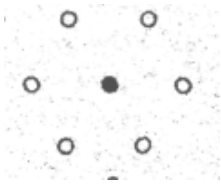
   a) rysunek „b”.
   b) rysunek „a”.
   c) rysunek „c”.
   d) żaden z nich.

7. Okres bezwodny przy nawadnianiu złoża występuje gdy
   a) przerywamy zatłaczanie wody do złoża.
   b) zmniejszymy ilość zatłaczanej wody do złoża.
   c) z odwiertu eksploatacyjnego wydobywamy ropę bez wody zatłaczanej.
   d) z odwiertu eksploatacyjnego wydobywamy ropę i wodę zatłaczaną.

8. Przy nawadnianiu złoża metodą pozakonturową odwierty zasilające znajdują się
   a) poza konturem zewnętrznym złoża.
   b) w obrębie występowania czapy gazowej.
   c) we wnętrzu obszaru ograniczonego konturem ropa – woda.
   d) poza konturem ropa-woda.

9. Ciśnienie hydrostatyczne wody złożowej o ciężarze właściwym 1,1 G/cm^3 na głębokości 1500 m wynosi
   a) 10,00 MPa.
   b) 16,50 MPa.
   c) 23,00 MPa.
   d) 29,50 MPa.

10. Przedstawiony poniżej schemat rozmieszczenia odwiertów w metodzie wewnątrzkonturowej nosi nazwę



- odwiert eksploatacyjny
- odwiert zasilający

a) jednopunktowy.
b) sześciopunktowy.
c) siedmiopunktowy.
d) wielopunktowy.

11. Przy nawadnianiu złoża najlepsze rezultaty uzyskuje się stosując wodę
a) morską.
b) z rzeki.
c) ze studni.
d) złożową.

12. Przy oczyszczaniu wody zatłaczanej do odwiertu aeryzację stosuje się, aby
a) usunąć bakterie beztlenowe.
b) usunąć cząstki stałe.
c) usunąć związki żelaza.
d) zwiększyć pH wody.

13. Ciśnienie nasycenia to
a) ciśnienie złoża przed eksploatacją.
b) ciśnienie denne ruchowe odwiertu eksploatacyjnego.
c) ciśnienie na głowicy odwiertu zasilającego.
d) ciśnienie, przy którym cały gaz zawarty w złożu rozpuszcza się w ropie.

14. Zależność pomiędzy ciśnieniem nasycenia a temperaturą złoża jest następująca
a) wzrost temperatury – wzrost ciśnienia nasycenia.
b) spadek temperatury – wzrost ciśnienia nasycenia.
c) wzrost temperatury – spadek ciśnienia nasycenia.
d) nie ma żadnej zależności.

15. Przy nagazowaniu złoża mogą powstawać „przebitki gazowe”. Są to
a) czapa gazowa.
b) cofnięcie wtłaczanego gazu do odwiertu zasilającego.
c) gaz zatłaczany, który pojawia się w odwiercie eksploatacyjnym wraz z wydobywaną ropą.
d) gaz zatłaczany, który pojawia się w odwiercie eksploatacyjnym po zakończeniu wtórnej eksploatacji.

16. Do złoża ropy nie wolno zatłaczać powietrza gdyż
a) nie powoduje on wzrostu ciśnienia złożowego.
b) działa bardzo silnie korodująco na uzbrojenie wgłębne odwiertów zasilających.
c) może tworzyć z metanem mieszaninę wybuchową.
d) może tworzyć z ropą mieszankę wybuchową.

17. Metodę nagazowania złoża najlepiej stosować na złożach o systemie energetycznym
a) gazociśnieniowym.
b) wodnociśnieniowym.
c) grawitacyjnym.
d) system energetyczny złoża nie ma wpływu na wybór tej metody.

18. W metodzie zatłaczania do złożą nośnika ciepła stosuje się
   a) podgrzaną ropę naftową.
   b) związki chemiczne wytwarzające w złożu ciepło.
   c) przegrzaną parę wodną.
   d) podgrzewanie elektryczne.

19. Przy zatłaczaniu gazu w metodzie cieczy mieszających się można odzyskać
   a) kilka procent znajdującej się jeszcze w złożu ropy.
   b) około 100% znajdującej się jeszcze w złożu ropy.
   c) kilkanaście procent znajdującej się jeszcze w złożu ropy.
   d) około 75% znajdującej się jeszcze w złożu ropy.

20. Ciśnienie gazu zatłaczanego do złoża w metodzie cieczy mieszających się powinno wynosić
   a) około 5,0 MPa.
   b) około 10,0 MPa.
   c) między 10,0 a 20,0 MPa.
   d) ponad 30,0 MPa.

21. Ilość wtłaczanego gazu w metodzie cieczy mieszających się powinna wynosić około
   a) 50 nm^3 gazu/1m^3 ropy.
   b) 150 nm^3 gazu/1 m^3 ropy.
   c) 250 nm^3 gazu/1 m^3 ropy.
   d) 300 nm^3 gazu/1 m^3 ropy.

22. Przy tworzeniu PMG można wykorzystać metodę
   a) nagazowania złoża.
   b) zatłaczania w złoże nośnika ciepła.
   c) cieczy mieszających się.
   d) mikrobiologiczną.

23. W metodzie mikrobiologicznej do zwiększenia wydobycia ropy wykorzystuje się
   a) bakterie.
   b) wirusy.
   c) związki organiczne.
   d) glony.

24. Mikroorganizmy stosowane w metodach zwiększających wydobycie ropy powinny się cechować
   a) brakiem ruchliwości.
   b) zdolnością do rozkładu węglowodorów.
   c) brakiem tolerancji na solankę.
   d) zdolnością wytwarzania siarkowodoru.

25. W metodach chemicznych zwiększania wydobycia ropy stosuje się
   a) tworzywa sztuczne.
   b) zmielony piasek.
   c) ciecze organiczne.
   d) gaz neutralny.

KARTA ODPOWIEDZI

Imię i nazwisko .....

Prowadzenie wtórnych metod eksploatacji złóż 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	
23	a	b	c	d	
24	a	b	c	d	
25	a	b	c	d	
				Razem:	

6. LITERATURA

1. Liszka K.: Eksploatacja złóż ropy naftowej. PWN, Łódź 1972
2. Liszka K.: Podstawy eksploatacji złóż ropy. Skrypty Uczelniane AGH, Kraków 1982
3. Wilk Z.: Eksploatacja złóż płynnych surowców mineralnych. Wydawnictwo „Śląsk", Katowice 1969
4. Kapusta P., Turkiewicz A.: Mikrobiologia w przemyśle naftowym. Nafta-Gaz nr 1/2005, styczeń 2005
5. Korpanty W., Lubaś J.: Badania procesu wypierania ropy naftowej gazem o wysokiej zawartości składników kwaśnych. Nafta-Gaz nr 1/1995, styczeń 1995
6. www.cire.pl/pliki/2/Artdr.pgf
7. www.journals.bg.agh.edu.pl/WIERTNICTWO/2005-01/W_22_1_2005_33.pdf
8. www.gigawat.net.pl/article/articleview/600/1/57