MINISTERSTWO EDUKACJI
NARODOWEJ

Witold Górski

Wykonywanie zabiegów intensyfikacji wydobycia ropy naftowej 311[14].Z1.08

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].Z1.08 „Wykonywanie zabiegów intensyfikacji wydobycia 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 metod intensyfikacji 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. Szczelinowanie hydrauliczne odwiertów i jego odmiany 11
4.2.1. Materiał nauczania 11
4.2.2. Pytania sprawdzające 19
4.2.3. Ćwiczenia 19
4.2.4. Sprawdzian postępów 23
4.3. Kwasowanie odwiertów eksploatacyjnych 24
4.3.1. Materiał nauczania 24
4.3.2. Pytania sprawdzające 29
4.3.3. Ćwiczenia 30
4.3.4. Sprawdzian postępów 31
4.4. Intensyfikacja wydobycia przy pomocy materiałów wybuchowych 32
4.4.1. Materiał nauczania 32
4.4.2. Pytania sprawdzające 35
4.4.3. Ćwiczenia 36
4.4.4. Sprawdzian postępów 37
4.5. Metody termiczne intensyfikacji wydobycia ropy naftowej 39
4.5.1. Materiał nauczania 39
4.5.2. Pytania sprawdzające 41
4.5.3. Ćwiczenia 41
4.5.4. Sprawdzian postępów 42
5. Sprawdzian osiągnięć 43
6. Literatura 49

1. WPROWADZENIE

Poradnik ten pomoże Ci w przyswajaniu wiedzy i kształtowaniu umiejętności z zakresu intensyfikacji wydobycia kopalin eksploatowanych za pomocą otworów wiertniczych, ujętych w modułowym programie nauczania dla zawodu technik górnictwa otworowego.

W poradniku zamieszczono:

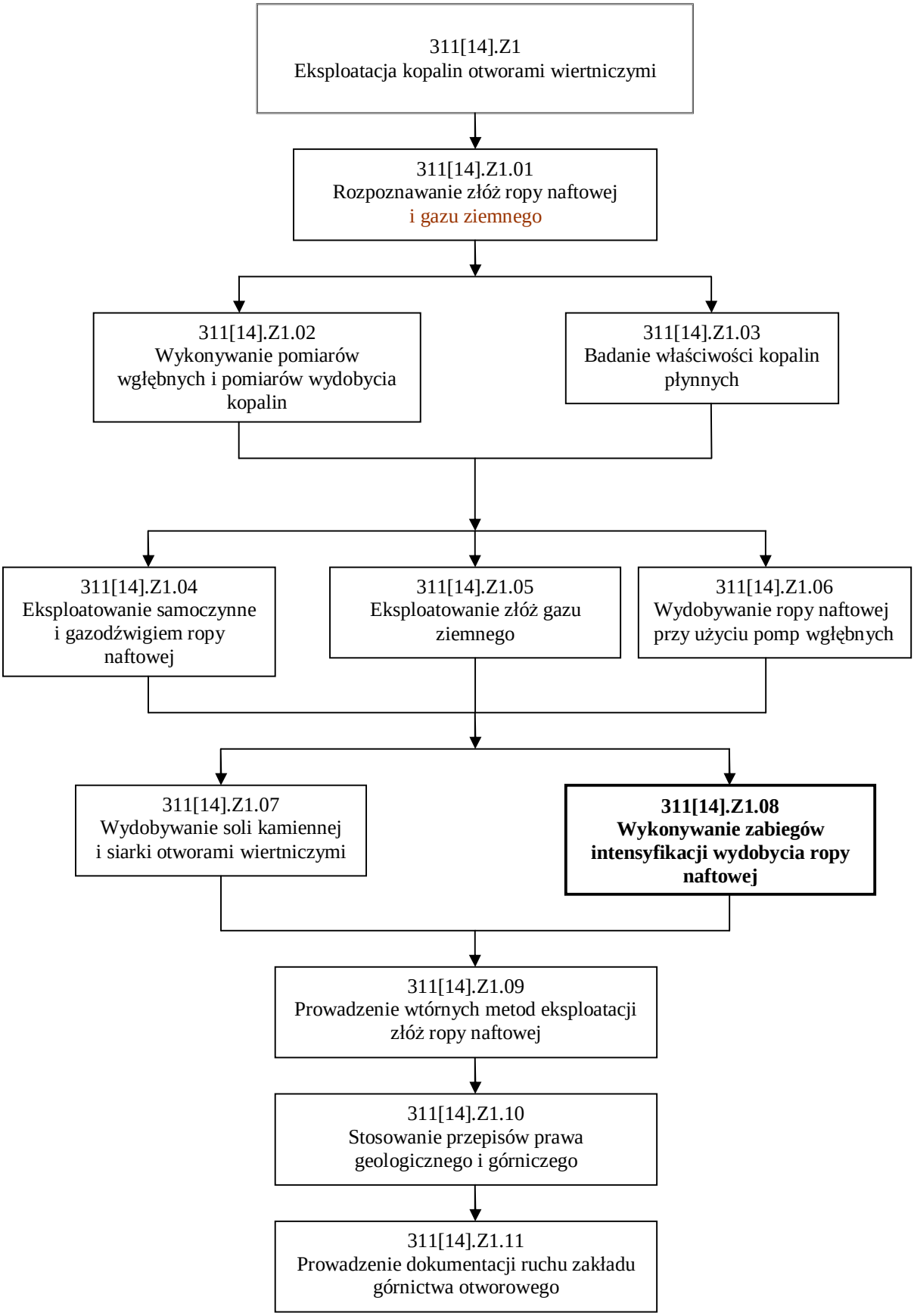
- wymagania wstępne – wykaz umiejętności, jakie powinieneś posiadać przed przystąpieniem do nauki w tej jednostce modułowej,
- cele kształcenia – wykaz umiejętności jakie ukształtujesz podczas pracy z tym poradnikiem,
- materiał nauczania – czyli zestaw wiadomości, które powinieneś posiadać, aby samodzielnie 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 metod intensyfikacji czyli 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:

- definiować i omawiać własności złożowe skał zbiornikowych ropy naftowej takie jak: porowatość, szczelinowatość, przepuszczalność, wytrzymałość skał,
- rozpoznawać rodzaje skał zbiornikowych,
- definiować i charakteryzować ciśnienia występujące w złożu i w odwiercie eksploatacyjnym takie jak: ciśnienie złożowe, ciśnienie denne statyczne, ciśnienie denne dynamiczne, ciśnienie głowicowe,
- wyznaczać ciśnienia występujące w złożu i odwiercie eksploatacyjnym,
- określać czynniki wpływające negatywnie na wielkość dopływu ropy naftowej do odwiertu eksploatacyjnego,
- charakteryzować konstrukcje strefy przyodwiertowej,
- charakteryzować sposoby eksploatacji ropy naftowej,
- wymieniać elementy uzbrojenia powierzchniowego odwiertu eksploatującego ropę naftową w zależności od sposobu jej eksploatacji,
- wymieniać elementy uzbrojenia wgłębnego odwiertu eksploatującego ropę naftową w zależności od sposobu jej eksploatacji,
- obliczać 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 stosowania i sklasyfikować metody intensyfikacji wydobycia ropy naftowej,
- scharakteryzować przebieg torpedowania odwiertów,
- obliczyć ilość materiału wybuchowego do wykonania torpedowania oraz wysokość przybitki,
- scharakteryzować zabieg szczelinowania hydraulicznego w odwiercie eksploatacyjnym,
- obliczyć ciśnienie szczelinowania oraz ciśnienie tłoczenia cieczy szczelinującej,
- dobrać ciecz szczelinującą oraz określić jej własności,
- dobrać materiał podsadzkowy oraz obliczyć jego ilość,
- scharakteryzować konstrukcję odwiertu do szczelinowania,
- określić rodzaj i zadania urządzeń napowierzchniowych do wykonania szczelinowania,
- zinterpretować wykres zmian ciśnienia tłoczenia cieczy szczelinującej oraz odczytać ciśnienie szczelinowania,
- wykonać uproszczony projekt szczelinowania hydraulicznego odwiertu,
- określić warunki stosowania kwasowania odwiertów eksploatacyjnych,
- określić rodzaj i skład cieczy kwasującej,
- ustalić parametry cieczy kwasującej oraz obliczyć jej ilość,
- scharakteryzować technologię kwasowania odwiertu,
- wykonać uproszczony projekt kwasowania odwiertu,
- określić rodzaje i warunki stosowania termicznych metod intensyfikacji wydobycia ropy naftowej,
- wyjaśnić budowę i zasadę działania grzejników do wygrzewania elektrycznego odwiertów,
- sporządzić bilans cieplny wygrzewania oraz obliczyć niezbędną moc grzejnika,
- scharakteryzować inne metody termiczne intensyfikacji wydobycia ropy naftowej,
- określić zagrożenia dla człowieka i środowiska naturalnego przy wykonywaniu zabiegów intensyfikacji wydobycia ropy naftowej,
- określić zasady postępowania w razie wypadku przy wykonywaniu zabiegów intensyfikacji wydobycia ropy naftowej,
- zastosować przepisy bezpieczeństwa i higieny pracy, ochrony przeciwpożarowej i ochrony środowiska przy wykonywaniu zabiegów intensyfikacji wydobycia ropy naftowej.

4. MATERIAŁ NAUCZANIA

4.1. Cel stosowania i rodzaje metod intensyfikacji wydobycia ropy naftowej

4.1.1. Materiał nauczania

Terminem „intensyfikacja wydobycia" określamy zabiegi wykonywane w odwiertach wydobywczych, których celem jest zwiększenie wydajności odwiertu, przy jednoczesnym założeniu, że ich stosowanie nie zmienia stanu energetycznego złoża (nie zmieniamy ciśnienia złożowego). Ten wzrost wydajności można osiągnąć poprzez zwiększenie współczynnika przepuszczalności skał złożowych w strefie zasięgu odwiertu lub zmniejszenie współczynnika lepkości ropy w strefie zasięgu odwiertu.

Współczynnik przepuszczalności możemy zwiększyć wykorzystując:

1. Hydrauliczne szczelinowanie skał:
   a) szczelinowanie przy użyciu cieczy szczelinujących,
   b) szczelinowanie przy użyciu cieczy kwasujących.
2. Kwasowanie.
3. Metody z wykorzystaniem materiałów wybuchowych:
   a) torpedowanie,
   b) prochowe generatory ciśnienia.

Współczynnik lepkości ropy naftowej możemy zmniejszyć wykorzystując wygrzewanie:

a) elektryczne,
b) termochemiczne,
c) parą wodną.

Celem hydraulicznego szczelinowania skał jest zwiększenie przepuszczalności skał przez wytworzenie jednej lub kilku szczelin w strefie zasięgu odwiertu.

Metodą tą otrzymujemy szczeliny o dużym zasięgu, nawet do kilkudziesięciu metrów. Powstanie szczeliny następuje w wyniku wytworzenia w caliźnie skały naprężeń rozrywających większych od granicy wytrzymałości skały. Naprężenia te są skutkiem działania ciśnienia cieczy zwanej „cieczą szczelinującą".

Kwasowanie jest to zabieg, w którym zwiększenie przepuszczalności skał zbiornikowych uzyskuje się poprzez częściowe rozpuszczenie calizny skały przez ciecz kwasującą zatłoczoną do złoża oraz zwiększenie wymiarów znajdujących się w skale porów i szczelin. Zabieg ten stosuje się w wapieniach lub w dolomitach oraz w skałach zbiornikowych, które w swoim składzie zawierają węglany. W celu zwiększenia efektu zabiegu oraz zabezpieczeniu elementów uzbrojenia wgłębnego przed negatywnym oddziaływaniem kwasu, ciecz kwasująca zawiera różne związki takie między innymi jak: inhibitory, stabilizatory, opóźniacze reakcji itp.

W metodach wykorzystujących materiały wybuchowe przemiana wybuchowa (określana też jako chemiczna reakcja wybuchowa) może mieć formę:

a) deflagracji – prochowe generatory ciśnień,
b) wybuchu (eksplozji) – torpedowanie.

Deflagracja – jest to spalanie materiału wybuchowego. Przekazywanie energii cieplnej ze strefy reakcji do warstwy materiału wybuchowego nie objętej reakcją odbywa się na drodze przewodnictwa i promieniowania. Deflagracja nie daje żadnej pracy mechanicznej i odbywa się bez konieczności doprowadzania tlenu do materiału wybuchowego.

Wybuch – jest to zespół zjawisk związanych ze skokowym wzrostem (do wysokich wartości) ciśnienia gazów, powodującego pracę mechaniczną, w wyniku której następuje przemieszczenie lub zniszczenie otoczenia miejsca wybuchu.

Zwiększenie dopływu ropy naftowej uzyskuje się przez wytworzenie szeregu spękań i szczelin w strefie przyodwiertowej.

W celu zwiększenia efektu działania, często łączy się dwie metody przeprowadzając, np. zabieg hydraulicznego szczelinowania przy użyciu cieczy kwasującej. W efekcie, dzięki hydraulicznemu szczelinowaniu otrzymuje się szczelinę a w wyniku oddziaływania cieczy kwasującej powiększa się wysokość rozwarcia szczeliny. Metodę tę można stosować w tych samych skałach co kwasowanie odwiertu.

Celem stosowania metod zmniejszających lepkość ropy naftowej jest zarówno zmniejszenie lepkości ropy znajdującej się w odwiercie i w porach kolektora w strefie przyodwiertowej, jak i stopienie występujących tam osadów parafiny. Jeżeli zastosuje się środki powierzchniowo czynne uzyskuje się zmniejszenie napięcia powierzchniowego na granicy ropa – skała, co w konsekwencji zmniejsza opory przepływu ropy.

Każdy odwiert przed wykonaniem zabiegu intensyfikacji musi być wypełniony cieczą roboczą. Najczęściej wykorzystywane są następujące ciecze:

- solanki złożowe czyste lub obrabiane środkami chemicznymi
- roztwory soli czyli solanki sporządzane z odpowiednio dobranych soli pojedynczych lub mieszanin soli
- roztwory soli obrobione polimerami oraz blokatorami regulującymi parametry reologiczne, filtrację i ciężar właściwy cieczy roboczej

Zadaniem tych cieczy jest zapobieganie:

- zmniejszeniu średnicy kanałów porowych przez cząstki stałe unoszone wraz z przepływającą solanką i wnikaniu ich w skałę zbiornikową,
- odkładaniu się w kanałach porowych osadów trudno rozpuszczalnych związków powstałych w wyniku wymiany jonowej pomiędzy cieczą roboczą a solanką złożową lub rozpuszczeniu materiału cementującego skałę,
- tworzeniu korków iłowych w przewężeniach kanałów porowych powstających na skutek pęcznienia substancji ilastych w skale zbiornikowej,
- powstawaniu blokad wodnych lub emulsyjnych w kanałach porowych oraz zmianie zwilżalności skały zbiornikowej.

Ważnym zadaniem tych cieczy jest również stwarzanie przeciwciśnienia na złoże, a przez to zapobieganie powstawaniu samowypływu płynu złożowego na powierzchnię.

Podczas wykonywania zabiegów intensyfikacji wydobycia pracownicy stykają się z kwasem, mają kontakt z materiałami wybuchowymi oraz obsługują urządzenia wysokociśnieniowe. Wymaga to od nich znajomości szczegółowych przepisów BHP, jakie muszą być przestrzegane na ich stanowiskach pracy. Osoby odpowiedzialne za prawidłowe i bezpieczne wykonanie zabiegów intensyfikacji nie mogą dopuścić do pracy pracownika nie przeszkolonego pod kontem znajomości przepisów BHP. Także narzędzia i urządzenia używane do tych prac muszą być sprawne technicznie i posiadać wszystkie, wymagane przepisami, przeglądy i dopuszczenia.

4.1.2. Pytania sprawdzające

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

1. Co rozumiesz pod pojęciem „zabiegi intensyfikacji wydobycia”?
2. Zmiana jakich parametrów zwiększa wydobycie ropy naftowej nie zwiększając jednocześnie ciśnienia złożowego?
3. Jakie znasz metody intensyfikacji wydobycia ropy naftowej?
4. Co to jest „deflagracja”?
5. Co to jest „wybuch”?
6. Jaka jest różnica między metodami z zastosowaniem materiałów wybuchowych a metodą hydraulicznego szczelinowania?
7. W jakich skałach kwasowanie oraz hydrauliczne szczelinowanie przy użyciu cieczy kwasującej dają najlepsze rezultaty?
8. W jaki sposób obniża się lepkość ropy parafinowej w porach skał strefy przyodwiertowej?
9. Jakie działanie mają środki powierzchniowo czynne stosowane w metodach intensyfikacji wydobycia?
10. W jakim celu zatłacza się ciecze robocze do odwiertu przed wykonaniem zabiegów intensyfikujących przypływ ropy naftowej do odwiertu?
11. Jakie ciecze zatłacza się do odwiertu przed wykonaniem zabiegu intensyfikacji wydobycia?

4.1.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Sporządź klasyfikację metod intensyfikacji wydobycia ropy naftowej w formie blokowej, biorąc za kryterium czynniki mechaniczne wykorzystane w tych metodach.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) przeanalizować treść ćwiczenia,
2) wykonać wstępny podział metod intensyfikacji ze względu na sposób ich oddziaływania na skałę,
3) wybrać te metody intensyfikacji, w których czynnikiem działającym na skałę jest czynnik mechaniczny,
4) przyporządkować wybrane metody do grup zwiększających przepuszczalność i zmniejszających lepkość ropy naftowej,
5) przenieść wykonane przyporządkowanie na schemat blokowy,
6) zaprezentować wyniki swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

– papier,
– literatura z rozdziału 6 poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 2

Sporządź klasyfikację metod intensyfikacji wydobycia ropy naftowej w formie blokowej, biorąc za kryterium czynniki chemiczne wykorzystane w tych metodach.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) przeanalizować treść ćwiczenia,
2) wykonać wstępny podział metod intensyfikacji ze względu na sposób ich oddziaływania na skałę,
3) wybrać te metody intensyfikacji, w których czynnikiem działającym na skałę jest czynnik mechaniczny,
4) przyporządkować wybrane metody do grup zwiększających przepuszczalność i zmniejszających lepkość ropy naftowej,
5) przenieść wykonane przyporządkowanie na schemat blokowy,
6) zaprezentować wyniki swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

– papier,
– literatura z rozdziału 6 poradnika dla ucznia.

4.1.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) narysować schemat blokowy podziału metod intensyfikacji wydobycia ropy naftowej?	□	□
2) określić cel stosowania hydraulicznego szczelinowania skał?	□	□
3) określić cel stosowania metod z zastosowaniem środków wybuchowych?	□	□
4) określić cel stosowania kwasowania odwiertu?	□	□
5) określić cel stosowania hydraulicznego szczelinowania z zastosowaniem cieczy kwasującej?	□	□
6) określić cel stosowania metod wygrzewających odwiert?	□	□
7) wykazać podstawowe różnice pomiędzy poszczególnymi metodami intensyfikacji wydobycia?	□	□
8) wyjaśnić, dlaczego omówione metody nie zwiększają ciśnienia złożowego?	□	□

4.2. Szczelinowanie hydrauliczne odwiertów i jego odmiany

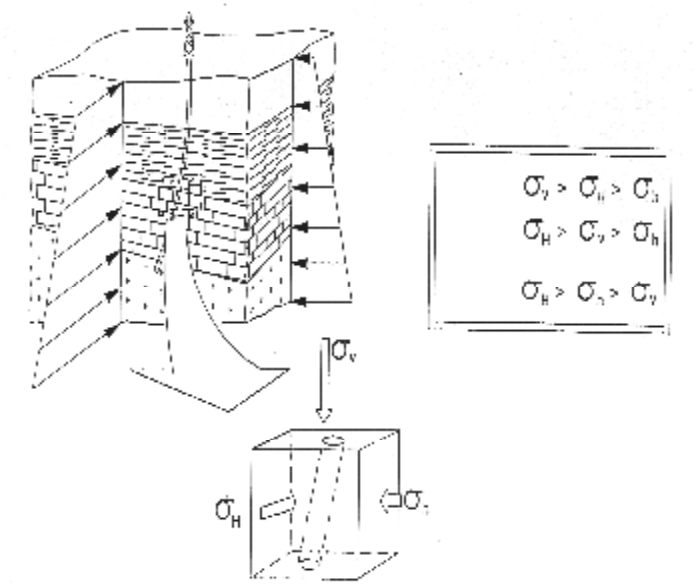
4.2.1 Materiał nauczania

Zabieg hydraulicznego szczelinowania jest procesem oddziaływania na złoże w celu wytworzenia szczeliny lub kilku szczelin i późniejszego podparcia ich materiałem podsadzkowym. Celem zabiegu jest zwiększenie produkcji odwiertu ropnego poprzez poprawę przepuszczalności skał strefy przyodwiertowej. Promień zasięgu wytworzonej szczeliny może dochodzić do kilkudziesięciu metrów.

Podstawy teoretyczne zabiegu szczelinowania

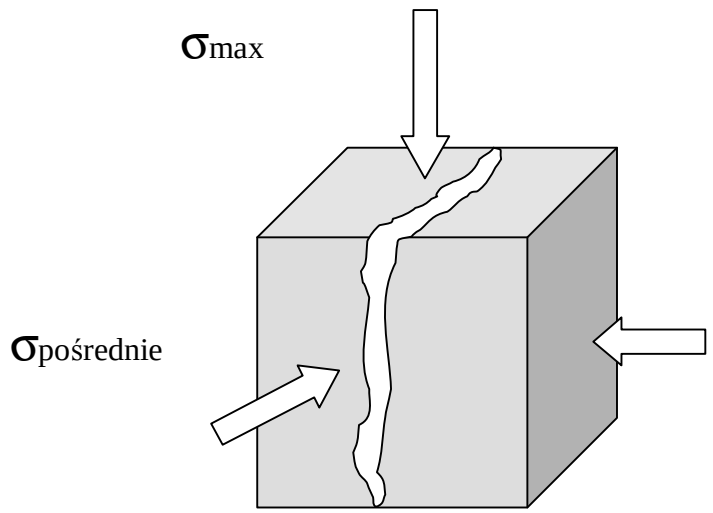
Powstanie szczeliny następuje w wyniku wytworzenia w caliźnie skały złożowej naprężeń rozrywających większych od granicy wytrzymałości skały na rozrywanie. Naprężenia te powstają w skutek działania ciśnienia cieczy roboczej wtłaczanej do odwiertu. Ciśnienie to nosi nazwę **ciśnienia szczelinowania,** a ciecz robocza nosi nazwę **ciecz szczelinująca**. Lepkość cieczy szczelinującej musi być na tyle duża, aby skały złożowe były dla niej praktycznie nieprzepuszczalne.

Układ naprężeń działających w danym punkcie (niezależnie od kierunku działania i ilości naprężeń) można zastąpić równoważnym układem trzech naprężeń nazywanych naprężeniami głównymi. Naprężenia te są wzajemnie prostopadłe a dla dowolnego układu naprężeń istnieje tylko jeden równoważny układ naprężeń głównych (rys. 1).



Rys. 1. Naprężenia główne [3]

Na rysunku 1 w ramce przedstawiono możliwe wzajemne zależności pomiędzy naprężeniami głównymi. Dwie pierwsze zależności są typowe, trzecia z nich występuje rzadko i dotyczyć może odwiertów płytkich. Szczelina otwiera się prostopadle do kierunku minimalnych naprężeń a to z kolei ma wpływ na orientację szczeliny (szczelina pozioma, szczelina pionowa) co ilustruje rysunek 2.



Rys. 2. Przykład układu trzech naprężeń głównych w skale i powstanie szczeliny [4, s. 8]

Ponieważ rzadko spotyka się jednakową wytrzymałość kilku warstw szczelinowanego złoża, dlatego najczęściej w rezultacie zabiegu otrzymujemy jedną szczelinę, a dalsze powiększanie ciśnienia szczelinowania powiększa rozwarcie i zasięg powstałej szczeliny.

Ciśnienie szczelinowania zależne jest od:

- rodzaju skał złożowych,
- własności wytrzymałościowych skał złożowych,
- porowatości i szczelinowatości,
- stopnia nasycenia por płynem złożowym,
- głębokości zalegania złoża.

W chwili obecnej do wyliczania ciśnienia szczelinowania używa się specjalistycznych programów komputerowych. Ich zadaniem jest wykonanie projektu zabiegu hydraulicznego szczelinowania. Dla uproszczenia można posłużyć się wzorem podanym przez Crittendona, według którego ciśnienie szczelinowania wynosi:

$$P_s = K \cdot P_g \quad \text{[Pa]}$$

$$K = \frac{1}{2}\left[\left(1+\frac{2m}{1-m}\right)+\left(1-\frac{2m}{1-m}\right)\cos 2j\right]$$

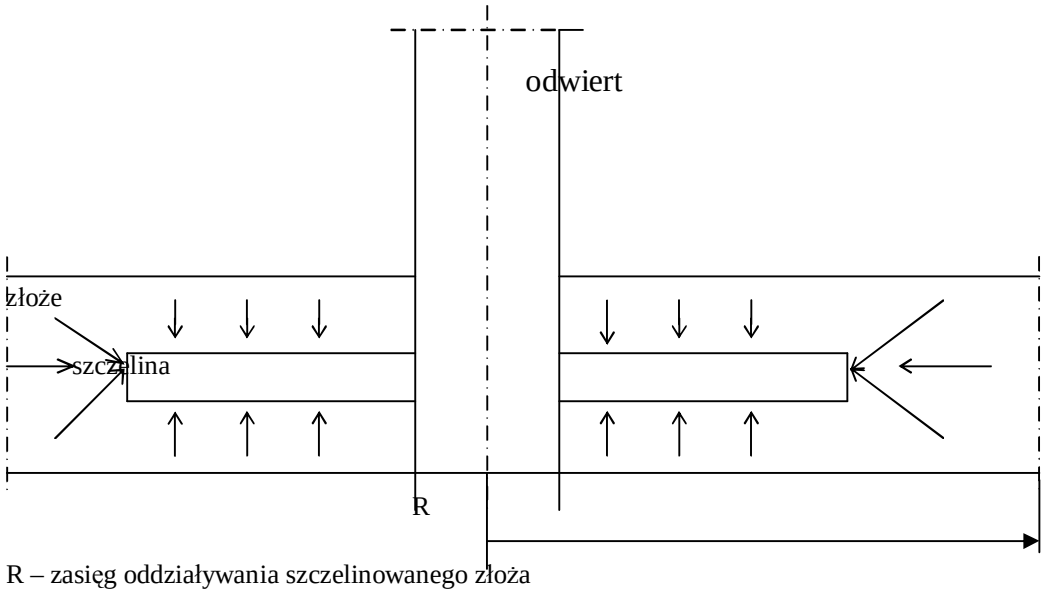
$$P_g = H \cdot r_z \cdot g \quad \text{[Pa]}$$

gdzie:

P_s – ciśnienie szczelinowania [Pa],
P_g – ciśnienie górotworu [Pa],
g – przyśpieszenie ziemskie [m/s^2],
K – współczynnik Crittendona,
r_z – średnia gęstość skał [kg/m^3],
m – moduł Poissona (przyjmujemy od 0,18 do 0,27),
j – przewidywany kąt nachylenia szczeliny,
H – głębokość zalegania złoża [m].

Z powyższych wzorów wynika, że ciśnienie szczelinowania potrzebne do wytworzenia szczeliny pionowej jest mniejsze od ciśnienia szczelinowania potrzebnego do wytworzenia szczeliny poziomej.

Wytworzona szczelina przebija strefę przyodwiertową, w której nastąpił spadek przepuszczalności skał złożowych, a przez to ułatwia przepływ ropy naftowej przez tą strefę. Jednocześnie w obszarze zasięgu szczeliny następuje zmiana kierunku przepływu ropy, co ilustruje rysunek 3



Rys. 3. Wpływ szczeliny na zmianę kierunku przepływu ropy w strefie zasięgu szczelinowanego złoża [1, s. 286]

Wskaźnikiem poprawności wykonania zabiegu szczelinowania jest zwiększenie wydobycia w porównaniu z wydobyciem przed zabiegiem:

$$h = \frac{Q_2}{Q_1}$$

gdzie:

η – współczynnik efektywności zabiegu,
Q_1 – wydobycie ropy przed szczelinowaniem [t/dobę],
Q_2 – wydobycie ropy po zabiegu [t/dobę].

Przed przystąpieniem do wykonania zabiegu szczelinowania należy wyznaczyć ciśnienie tłoczenia cieczy szczelinującej (P_{tg}). Uwzględnia ono oprócz ciśnienia szczelinowania (P_s) również straty ciśnienia podczas przetłaczania cieczy szczelinującej od pomp na spód odwiertu (ΔP_{tr}) oraz ciśnienie hydrostatyczne płynu szczelinującego (P_h):

$$P_{tg} = P_s - P_h + \Delta P_{tr} \quad [Pa]$$

Ciecze stosowane do wykonania zabiegu

Ciecz szczelinująca jest czynnikiem wywierającym na skały złożowe ciśnienie, którego efektem jest powstanie szczeliny. Jednocześnie ciecz ta transportuje do powstałej szczeliny materiał podsadzkowy zwany propantem. Jego zadaniem jest zabezpieczyć szczelinę przed zamknięciem jej przez ciśnienie górotworu oraz umożliwienie ropie naftowej przepływ powstałą szczeliną do odwiertu z odpowiednio dużą wydajnością.

Ciecze stosowane do zabiegów hydraulicznego szczelinowania możemy podzielić na cztery grupy:

1. **Żele** – są to ciecze, których duża lepkość uzyskiwana jest w wyniku dodania do wody środka żelującego (polimer naturalny),
2. **Polimery sieciowe** – są to ciecze, które uzyskują bardzo wysoką lepkość w wyniku sieciowania żeli (sieciowanie jest to proces tworzenia wiązań poprzecznych pomiędzy łańcuchami polimerów przy użyciu boru, tytanu lub cyrkonu),
3. **Emulsje** – to ciecze powstające w wyniku zmieszania wody z węglowodorami płynnymi (np.1/3 wody i 2/3 ropy),
4. **Piany** – powstają w wyniku aeryzacji żeli (70–80% gazu).

Dobrej jakości ciecz szczelinująca powinna charakteryzować się:
- niskimi oporami przepływu w rurach,
- stabilną lepkością,
- wytrzymałością strukturalną,
- małą filtracją w ściany szczeliny,
- dobrymi własnościami transportowymi materiału podsadzkowego.

Powinna również:
- nie uszkadzać podsadzki,
- być tania,
- być bezpieczna.

Z uwagi na posiadane właściwości, obecnie najczęściej stosuje się wodne roztwory polimerów naturalnych sieciowane jonami boru.

Materiały podsadzkowe

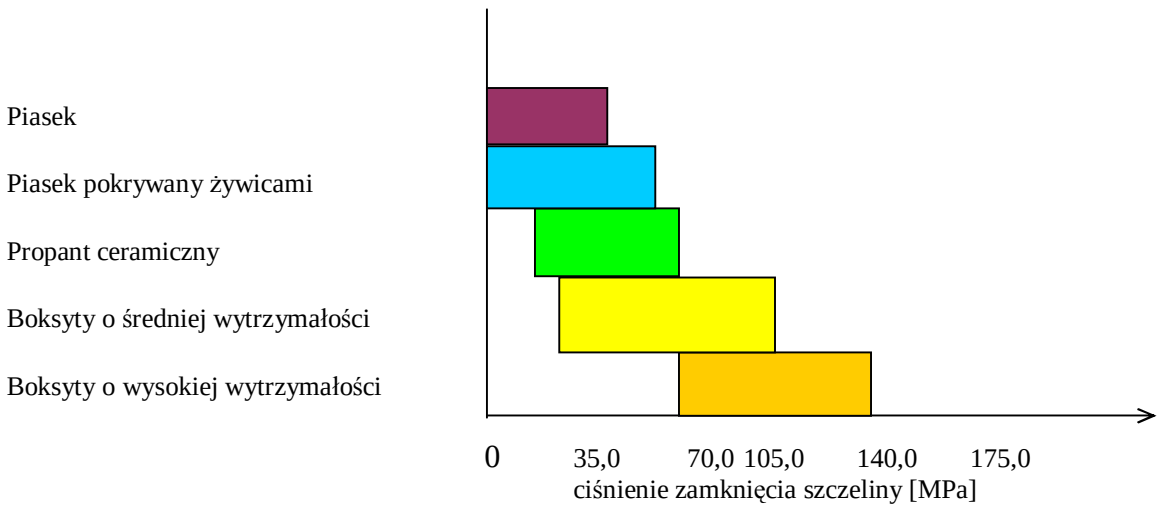
Po zakończeniu zabiegu szczelinowania i odebraniu z odwiertu cieczy szczelinującej, w złożu pozostaje wyłącznie materiał podsadzkowy, którego jakość i rozmieszczenie decyduje o wzroście produkcji złoża.

Dlatego też przy doborze materiału na podsadzkę należy zwracać uwagę, aby cechował się on następującymi właściwościami fizycznymi:
- dużą wytrzymałością na zgniatanie,
- odpowiednią wielkością ziaren,
- jednorodnością ziaren,
- kulistością i gładkością ziaren,
- odpowiednim ciężarem właściwym.

Wybór materiału na podsadzkę uzależniony jest od:
- ciśnienia zamknięcia szczeliny (ciśnienia górotworu),
- temperatury panującej w złożu.

Obecnie jako materiał podsadzkowy stosuje się:
- piasek,
- piasek pokryty żywicami,
- materiały ceramiczne,
- boksyty.

Na rysunku 4 przedstawiony jest zalecany rodzaj materiału podsadzkowego w zależności od ciśnienia zamknięcia szczeliny.



Rys. 4. Wybór propantu w zależności od ciśnienia zamknięcia szczeliny [4, s. 10]

Wykonywanie zabiegu hydraulicznego szczelinowania

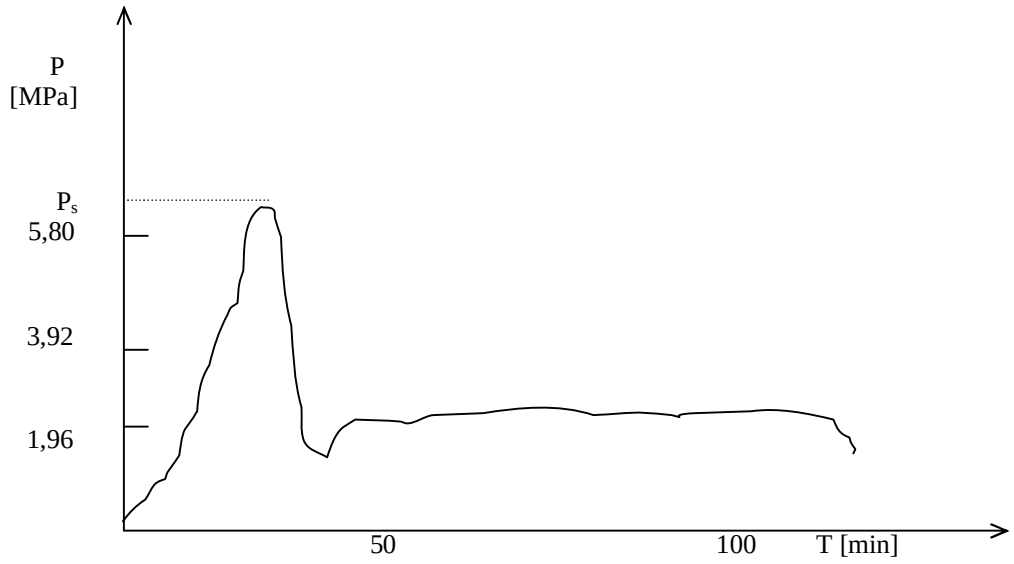
Przed przystąpieniem do szczelinowania należy zapoznać się z dokumentacją odwiertu i sprawdzić, czy zawiera niezbędne dane do prawidłowego wykonania zabiegu. W razie potrzeby należy wykonać niezbędne pomiary. Konieczna jest znajomość konstrukcji odwiertu (w tym sposób zarurowania i zacementowania oraz stan rur i płaszcza cementowego), głębokość zalegania złoża oraz jego miąższość, porowatość i przepuszczalność skał złożowych, rodzaj skał złożowych, ciśnienie złożowe i ciśnienie denne. Należy również usunąć ewentualne osady parafiny ze ścian odwiertu czy też usunąć ewentualne zasypy z dna odwiertu. Bardzo ważne jest również, aby grupa serwisowa wykonująca zabieg dysponowała sprzętem sprawnym, gwarantującym wykonanie zabiegu z pożądanymi wydajnościami i przy odpowiednim ciśnieniu tłoczenia. Także uzbrojenie powierzchniowe odwiertu musi spełniać odpowiednie wymagania wytrzymałościowe.

Zabieg szczelinowania można podzielić na trzy etapy (pamiętając jednocześnie, że powinny przechodzić płynnie jeden w drugi):

1) wytworzenie szczeliny,
2) podparcie wytworzonej szczeliny,
3) usunięcie cieczy szczelinującej.

Wykonując pierwszy etap zabiegu szczelinowania należy w sposób ciągły rejestrować ciśnienie tłoczenia, gdyż daje to możliwość określenia momentu powstania szczeliny. Moment ten zaznacza się spadkiem ciśnienia tłoczenia, przy jednoczesnym wzroście chłonności odwiertu.

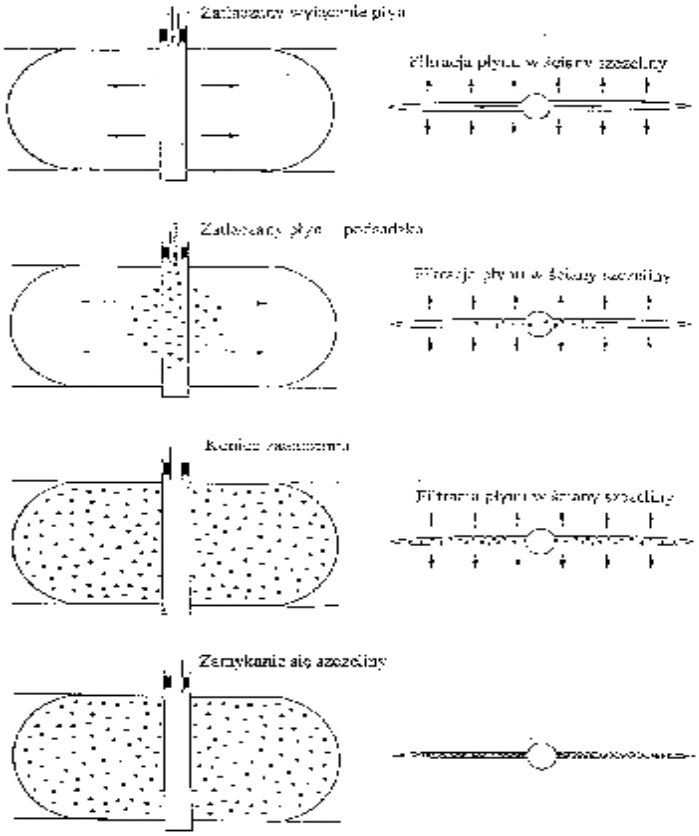
Typowy wykres zmian ciśnienia tłoczenia przedstawia rysunek 5.



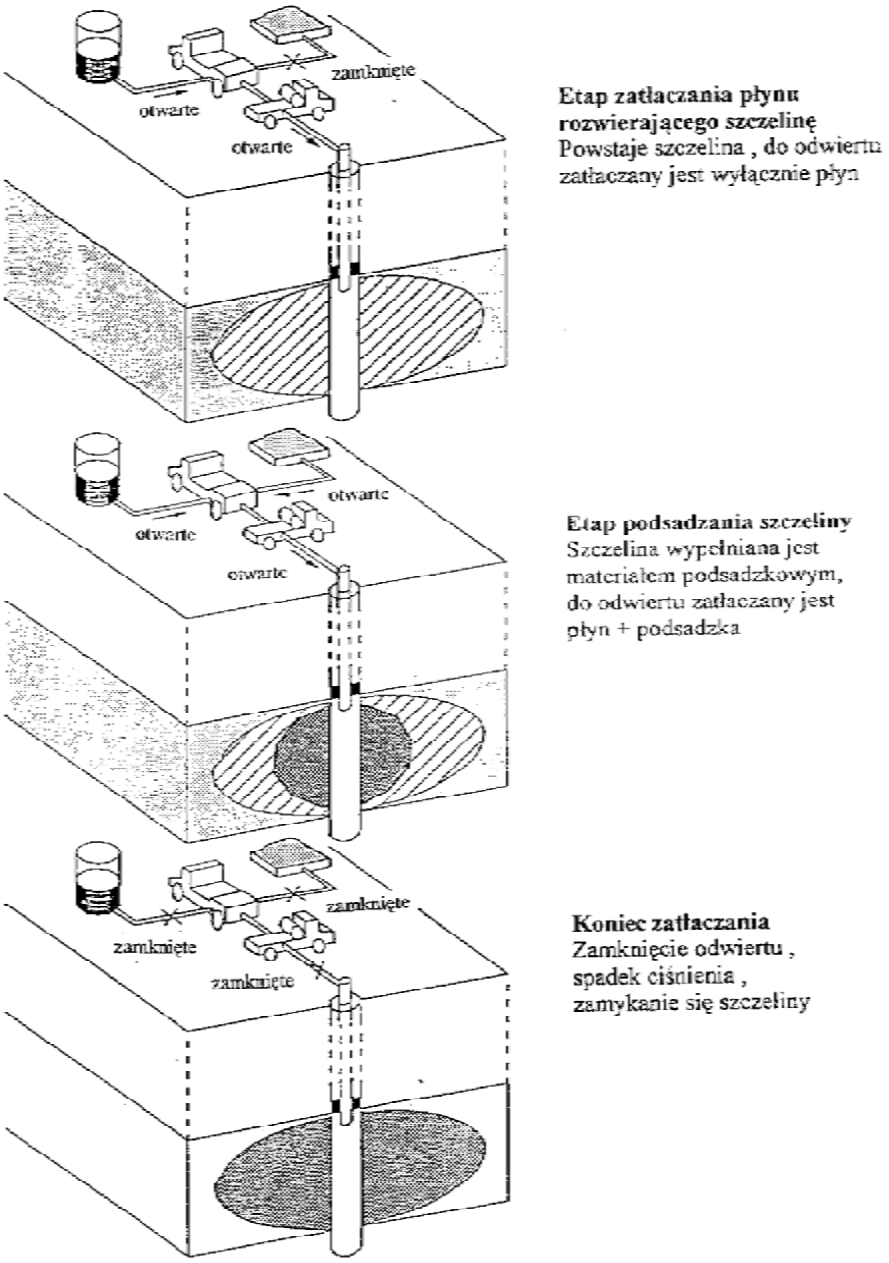
Rys. 5. Zmiana ciśnienia tłoczenia cieczy szczelinującej w trakcie zabiegu [1, s. 288]

Pierwszy etap zabiegu wykonuje się wtłaczając samą ciecz szczelinującą. Po utworzeniu się szczeliny, nie przerywając tłoczenia, należy zacząć wtłaczać ciecz szczelinującą wraz z podsadzką. Ilość materiału podsadzkowego (propantu) wyliczana jest i podawana w projekcie hydraulicznego szczelinowania. Ogólnie przyjmuje się, że ilość materiału podsadzkowego wzrasta wraz ze wzrostem lepkości cieczy szczelinującej i może wynosić od 240 kg/m^3 do 480 kg/m^3. W praktyce ilość ta, jak i inne parametry zabiegu szczelinowania wyliczana jest przy opracowywaniu schematu zabiegu przy pomocy programu komputerowego.

Po wtłoczeniu do odwiertu odmierzonej ilości cieczy szczelinującej wraz z materiałem podsadzkowym wtłacza się przybitkę, której zadaniem jest wtłoczyć ciecz z propantem w złoże, a po jej wtłoczeniu zamyka się głowicę. Po pewnym okresie, gdy ciśnienie na głowicy spadnie o około 20% należy powoli otworzyć zawór na głowicy i odpuścić panujące w odwiercie ciśnienie. Umożliwi to spłynięcie cieczy szczelinującej (bez propantu) ze szczeliny. Jednocześnie nastąpi zamykanie szczeliny, któremu ma przeciwdziałać odpowiednio dobrany materiał podsadzkowy (patrz rys. 4). Żeby ułatwić spływ cieczy szczelinującej ze szczeliny dodaje się do cieczy środki zmniejszające jej lepkość. Są to tzw. „łamacze wiskozy”, które muszą działać z opóźnieniem, tak by zmniejszenie lepkości nastąpiło po wykonaniu i podparciu szczeliny. Ciecz szczelinującą można zatłaczać albo całym przekrojem rur eksploatacyjnych, albo przez rurki wydobywcze przy jednoczesnym wykorzystaniu pakera, którego zadaniem jest izolowanie stref odwiertu znajdujących się nad pakerem od oddziaływania cieczy szczelinującej. W tym wypadku można dokładnie zlokalizować miejsce, w którym ma być utworzona szczelina.



Rys. 6. Proces podsadzania szczeliny [3]



Rys. 7. Etapy zabiegu szczelinowania hydraulicznego [3]

4.2.2 Pytania sprawdzające

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

1. Co to jest i od czego zależy ciśnienie szczelinowania?
2. Co to jest ciecz szczelinująca?
3. Co to jest propant?
4. Jaka jest zależność pomiędzy orientacją szczeliny a wielkością i kierunkiem naprężeń głównych?
5. W jaki sposób wyznacza się ciśnienie szczelinowania?
6. Co powoduje, że wytworzona szczelina zwiększa dopływ ropy naftowej do odwiertu?
7. Co to jest ciśnienie tłoczenia i jakie czynniki mają na nie wpływ?
8. Jakie rodzaje cieczy wykorzystuje się jako ciecze szczelinujące i jakie powinny one posiadać właściwości?
9. Od czego uzależniony jest wybór materiału podsadzkowego oraz jakimi właściwościami fizycznymi powinien się on charakteryzować?
10. Jakie materiały podsadzkowe są stosowane przy wykonywaniu zabiegu hydraulicznego szczelinowania?
11. Na co należy zwrócić uwagę przed przystąpieniem do wykonania zabiegu szczelinowania?
12. Z jakich etapów składa się zabieg hydraulicznego szczelinowania?
13. Jaką ilość materiału podsadzkowego powinna zawierać ciecz szczelinująca?
14. Co to jest „łamanie wiskozy”?
15. Jakie powinno być uzbrojenie wgłębne odwiertu przy wykonywaniu zabiegu szczelinowania z użyciem pakera?

4.2.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Biorąc pod uwagę wzajemną zależność naprężeń głównych (przedstawioną poniżej), określ jaką orientację będą miały szczeliny powstałe w tych trzech przypadkach.

$$\sigma_r > \sigma_H > \sigma_h$$
$$\sigma_H > \sigma_r > \sigma_h$$
$$\sigma_H > \sigma_h > \sigma_r$$

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) do każdego z trzech przedstawionych przypadków narysować schemat rozkładu naprężeń głównych,
2) zaznaczyć na schematach wielkość poszczególnych naprężeń,
3) stosując zależność pomiędzy wielkością naprężeń a orientacją szczeliny zaznaczyć jej przebieg na poszczególnych schematach.

Wyposażenie stanowiska pracy:

– zeszyt,
– literatura z rozdziału 6 poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 2

Na podstawie wzoru Crittendona wyprowadź wzór na wartość ciśnienia szczelinowania przy tworzeniu się szczeliny pionowej.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) napisać wzór Crittendona,
2) napisać wzór na współczynnik K,
3) znaleźć w tablicach logarytmicznych wartość cosinusa danego kąta φ,
4) wstawić znalezioną wartość cos do wzoru na współczynnik K,
5) doprowadzić wzór na współczynnik K do najprostszej postaci,
6) wstawić tak uzyskany wynik do wzoru na ciśnienie szczelinowania.

Wyposażenie stanowiska pracy:

– zeszyt
– tablice logarytmiczne,
– literatura z rozdziału 7.

Ćwiczenie 3

Na podstawie wzoru Crittendona wyprowadź wzór na ciśnienie szczelinowania przy tworzeniu się szczeliny poziomej.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) napisać wzór Crittendona,
2) napisać wzór na współczynnik K,
3) znaleźć w tablicach logarytmicznych wartość cos odpowiadającą danemu kątowi,
4) wstawić znalezioną wartość cosinus do wzoru na współczynnik K,
5) doprowadzić wzór na współczynnik K do najprostszej postaci,
6) wstawić tak uzyskany wynik do wzoru na ciśnienie szczelinowania.

Wyposażenie stanowiska pracy:

– zeszyt,
– tablice logarytmiczne,
– literatura z rozdziału 6 poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 4

Oblicz ciśnienie szczelinowania gdy:
głębokość zalegania złoża H = 1000 m,
średni ciężar właściwy skał γ_z = 23,54 kN/m^3,
moduł Poissona m = 0,2,
przewidywany kąt nachylenia szczeliny $\varphi = 45^0$.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) napisać wzór, z którego będziesz korzystał,
2) sprawdzić, czy posiadasz wszystkie dane do wykonania obliczenia,

3) wyszukać brakującej danej w tablicach logarytmicznych,
4) sprawdzić, czy dane posiadają prawidłowo zapisane jednostki,
5) uzgodnić jednostki,
6) wyliczyć ciśnienie górotworu,
7) wyliczyć współczynnik K,
8) wstawić wyliczone wielkości do głównego wzoru i wyliczyć ciśnienie szczelinowania.

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

Ćwiczenie 5

Przed zabiegiem szczelinowania wydobywano z odwiertu 20 t ropy naftowej na dobę. Po zabiegu wydobycie wynosi 2 m^3/h. Wylicz współczynnik efektywności zabiegu, oraz podaj o jaką wartość procentową wzrosło lub zmalało wydobycie. Ciężar właściwy ropy γ_R = 0,9352 G/cm^3.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:
1) napisać wzór na współczynnik efektywności wydobycia,
2) sprawdzić, czy posiadasz wszystkie dane do jego wyliczenia,
3) sprawdzić, czy są uzgodnione jednostki,
4) wielkość wydobycia po zabiegu przeliczyć z wydobycia godzinnego na wydobycie dobowe,
5) wielkość wydobycia w m^3 przeliczyć na wydobycie w t,
6) wyliczyć wielkość współczynnika efektywności wydobycia,
7) wyznaczyć wielkość wzrostu lub spadku wydobycia w procentach.

Wyposażenie stanowiska pracy:
– zeszyt,
– kalkulator.

Ćwiczenie 6

Narysuj przykładowy wykres typowego rozkładu ciśnienia szczelinowania i zaznacz na nim charakterystyczne punkty. Nazwij te punkty, a następnie opisz przebieg hydraulicznego szczelinowania przedstawiony na tym wykresie.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:
1) przejrzeć literaturę pomocniczą i znaleźć przykładowy wykres, lub narysować go posługując się wiedzą z rozdziału „Materiał nauczania”,
2) zaznaczyć na wykresie charakterystyczne punkty: 1 – początek tłoczenia cieczy bez podsadzki; 2 – wytworzenie szczeliny; 3 – początek tłoczenia cieczy z podsadzką; 4 – zamknięcie głowicy, 5 – zakończenie zabiegu,
3) po zaznaczeniu wszystkich punktów, napisać jak przebiegał przedstawiony na wykresie zabieg hydraulicznego szczelinowania w określonym czasie.

Wyposażenie stanowiska pracy:
- zeszyt,
- literatura z rozdziału 6 poradnika dla ucznia,
- plansza z przykładowym wykresem.

Ćwiczenie 7

Narysuj przykładowy schemat uzbrojenia powierzchniowego i wgłębnego odwiertu do wykonania zabiegu hydraulicznego szczelinowania przy użyciu pakera.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:
1) przypomnieć sobie schematy odwiertów eksploatacyjnych z zastosowaniem pakera,
2) dobrać odpowiedni do zabiegu paker,
3) narysować zaproponowany przez siebie schemat uzbrojenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:
- zeszyt,
- plansze ze schematami uzbrojenia odwiertów ropnych,
- literatura z rozdziału 6 poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 8

Porównaj właściwości fizyczne cieczy szczelinujących.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:
1) przygotować tabelę, w której zapiszesz wyniki badań,
2) wykonać badanie ciężaru właściwego,
3) porównać lepkości badanych cieczy,
4) określić wytrzymałość strukturalną,
5) określić przeźroczystość i barwę cieczy,
6) zbadać zapach cieczy.

Wyposażenie stanowiska pracy:
- zeszyt,
- waga Baroid,
- lejek Marsha,
- szirometr,
- źródło światła (np. latarka, lampka itp.).

Ćwiczenie 9

Dobierz materiał podsadzkowy biorąc pod uwagę ciśnienie zamknięcia szczeliny oraz oblicz ilość materiału podsadzkowego dla szczeliny o rozwartości 1 mm, zasięgu 20 m i szerokości 10 m.

Dane dodatkowe: ciężar właściwy skał γ_z = 2,1 G/cm^3,
głębokość zalegania warstwy szczelinowanej H = 1000 m,
koncentracja materiału w cieczy szczelinującej = 300 g/l.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) napisać wzór na ciśnienie zamknięcia szczeliny, które będzie równe ciśnieniu górotworu,
2) sprawdzić, czy ma wszystkie dane,
3) sprawdzić, czy ma uzgodnione jednostki,
4) wstawić dane i wyliczyć poszukiwane ciśnienie,
5) korzystając z rysunku 4 dobrać odpowiedni materiał,
6) wyliczyć pojemność szczeliny i przedstawić tę wielkość w litrach,
7) znając pojemność szczeliny wyliczyć ilość materiału podsadzkowego.

Wyposażenie stanowiska pracy:

– zeszyt,
– kalkulator,
– literatura z rozdziału 6 poradnika dla ucznia.

4.2.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	**Nie**
1) scharakteryzować zabieg hydraulicznego szczelinowania?	☐	☐
2) obliczyć ciśnienie szczelinowania?	☐	☐
3) obliczyć ciśnienie tłoczenia?	☐	☐
4) dobrać ciecz szczelinującą?	☐	☐
5) dobrać materiał podsadzkowy do warunków panujących w odwiercie?	☐	☐
6) obliczyć ilość materiału podsadzkowego?	☐	☐
7) wskazać elementy uzbrojenia odwiertu niezbędne do wykonania szczelinowania?	☐	☐
8) interpretować wykres ciśnienia tłoczenia cieczy szczelinującej?	☐	☐
9) odczytać ciśnienie szczelinowania?	☐	☐
10) wykonać uproszczony projekt hydraulicznego szczelinowania?	☐	☐

4.3. Kwasowanie odwiertów eksploatacyjnych

4.3.1. Materiał nauczania

Celem zabiegu kwasowania odwiertów, jest zwiększenie przepuszczalności skał złożowych w strefie przyodwiertowej w rezultacie częściowego rozpuszczenia calizny skał przez ciecz kwasującą zatłoczoną do złoża oraz powiększenie znajdujących się w skale por i szczelin.

Podstawy teoretyczne zabiegu

Jako ciecz kwasującą stosuje się kwas solny (HCL) o stężeniu od 7% do 15% z dodatkiem szeregu związków chemicznych zapewniających prawidłowy przebieg zabiegu. Zabieg ma zastosowanie w skałach węglanowych, a reakcja między skałą a kwasem ma następujący przebieg:

a) dla wapieni: $2HCl + CaCO_3 \rightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2$

b) dla dolomitów: $4HCl + CaMg(CO_3)_2 \rightarrow CaCl_2 + MgCl_2 + 2H_2O + 2CO_2$

Wykonywany jest również zabieg kwasowania przy użyciu mieszanki kwasu fluorowodorowego (HF) i solnego. Celem tego zabiegu, zwanego również kwasowaniem matrycy, jest usunięcie uszkodzenia spowodowanego iłem. Zabieg ten wykonuje się w piaskowcach. Piaskowce zazwyczaj zawierają cząstki ilaste, które pęcznieją blokując pory i zmniejszają przepuszczalność skały.

Brak produktów reakcji nierozpuszczalnych w wodzie i wytrącających się z niej w postaci osadów jest jednym z podstawowych warunków pozytywnego rezultatu zabiegu. Produkty takie mogą powstać w wyniku reakcji kwasu solnego lub zawartych w nim zanieczyszczeń z innymi minerałami. Aby temu zapobiec, stosuje się obróbkę chemiczną cieczy kwasującej polegającą na dodaniu do niej związków chemicznych zapobiegających niepożądanym reakcjom ubocznym.

Związki chemiczne dodawane do cieczy kwasujących

Do cieczy kwasujących mogą być dodawane:

1) inhibitory.
2) odczynniki stabilizujące.
3) antyemulgatory.
4) opóźniacze reakcji.
5) środki powierzchniowo czynne.
6) dodatki zagęszczające roztwór kwasu.

Inhibitory

Są to środki zmniejszające korozyjne działanie kwasu w stosunku do stali. Ich działanie opiera się na zmniejszeniu koncentracji jonów kwasu na powierzchni metalu, co prowadzi do zahamowania procesów elektrochemicznych, powodujących korozję.

Odczynniki stabilizujące

Są to środki przeciwdziałające ponownemu wytrącaniu się z roztworu, w porach poziomu produktywnego, rozpuszczonych produktów reakcji. Posiadają one zdolność tworzenia połączeń chemicznych rozpuszczalnych w wodzie z wodorotlenkami i tlenkami metalu.

Na przykład przy kwasowaniu możliwe jest wtłaczanie razem z kwasem związków żelaza, które przedostały się do kwasu jako zanieczyszczenia podczas produkcji, transportu i magazynowaniu. Przy reakcji kwasu solnego z tlenkiem lub wodorotlenkiem żelaza

powstaje chlorek żelaza, który po przereagowaniu kwasu ze skałą przechodzi w środowisku wodnym w tlenek lub wodorotlenek żelaza i wytrąca się.

Antyemulgatory

Zapobiegają tworzeniu się emulsji z kwasu i cieczy złożowych. Emulsje takie stanowią poważną przeszkodę w usunięciu z por skały złożowej produktów poreakcyjnych i dopływie ropy do odwiertu

Opóźniacze reakcji

Stosowane są w celu umożliwienia głębszego wniknięcia nie zneutralizowanej cieczy kwasującej w złoże, dzięki regulacji prędkości reakcji kwasu ze skałą. Przykładem naturalnego opóźniacza reakcji jest ropa naftowa znajdująca się w złożu, gdyż utrudnia ona kontakt cieczy kwasującej ze skałą złożową.

Środki powierzchniowo czynne

Dodaje się do cieczy kwasujących aby ułatwić przenikanie tej cieczy w skałę złożową.

Dodatki zagęszczające roztwór kwasu

Stosowane są gdy ciecz kwasująca ma być wykorzystana jako ciecz szczelinująca przy hydraulicznym szczelinowaniu skał.

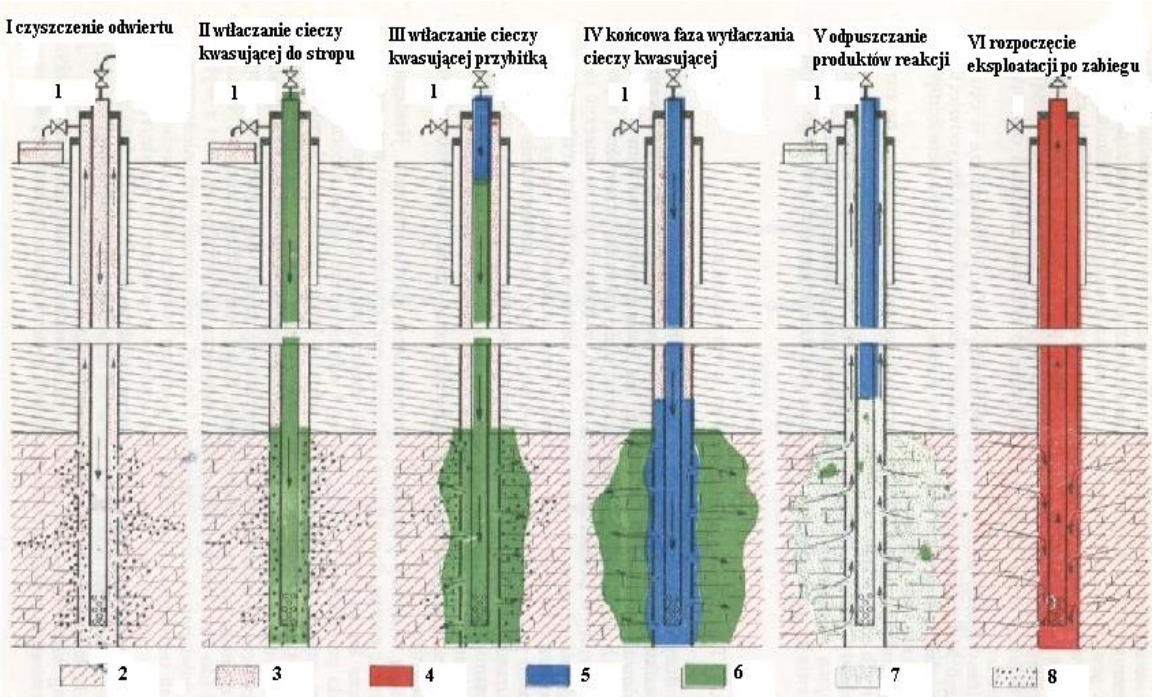
Technologia kwasowania

Zabiegi kwasowania można wykonać jako niekontrolowane lub selektywne.

Kwasowanie niekontrolowane

Kwas wtłaczany jest do całej miąższości złoża i w razie zróżnicowania jego przepuszczalności wnika on w najbardziej chłonne warstwy, co w wielu przypadkach nie jest korzystne gdyż powoduje powiększenie już istniejących niejednorodności w złożu. Na rysunku 8 przedstawione są poszczególne etapy kwasowania niekontrolowanego.

Zabieg właściwy powinno poprzedzić wyczyszczenie dna odwiertu i zatłoczenie go cieczą roboczą (patrz punkt 4.1.1.). Następnie do odwiertu wtłacza się ciecz kwasującą w takiej ilości aby jej poziom w przestrzeni rurowej sięgnął stropu warstwy złożowej. Jednocześnie z odwiertu odpuszcza się ciecz roboczą (etap II). Gdy ciecz kwasująca dojdzie do stropu warstwy złożowej zamyka się zawór na wylocie z przestrzeni (etap III), wtłacza się pozostałą ilość cieczy kwasującej a następnie wtłaczając przybitkę zaczyna się wytłaczać ciecz kwasującą w złoże (etap IV). Po wtłoczeniu wcześniej wyliczonej ilości przybitki, która daje gwarancję, że cała ilość cieczy kwasującej znalazła się w złożu, zamyka się odwiert i zostawia się go pod ciśnieniem na okres niezbędny do przereagowania cieczy kwasującej ze złożem. Okres ten może wynosić od kilku do kilkudziesięciu godzin. Po tym czasie przystępuje się do usunięcia z odwiertu przybitki a następnie przereagowanej cieczy kwasującej (etap V). Następnym etapem jest wznowienie eksploatacji ropy naftowej (etap VI).



Rys. 8. Etapy kwasowania niekontrolowanego: 1 – zawór na wylocie z przestrzeni, 2 – ropa w złożu, 3 – ciecz robocza, 4 – ropa wydobywana, 5 – przybitka, 6 – ciecz kasująca, 7 – produkty kasowania, 8 – pozostałości płuczki i cementu [7, s. 360]

Stężenie użytego do zabiegu kwasu oraz jego ilość zależna jest od współczynnika przepuszczalności skał złożowych oraz od ciśnienia złożowego. I tak:

a) przy niskim ciśnieniu i dużym współczynniku stosuje się ciecz kwasującą o stężeniu od 7% do 12% HCl, a ilość cieczy wynosi od 1,0 m^3 do 1,5 m^3 na 1 m miąższości złoża,
b) przy wysokim ciśnieniu i małej przepuszczalności stosuje się ciecz kwasującą o stężeniu od 12% do 15% HCl, a ilość cieczy wynosi od 0,4 m^3 do 0,8 m^3 na 1 m miąższości złoża.

W odwiertach, w których w przestrzeni pierścieniowej między ścianą odwiertu a rurkami wydobywczymi zapięty jest paker zabieg kwasowania niekontrolowanego przeprowadza się w oparciu o tę samą zasadę.

Kwasowanie selektywne ma na celu obróbkę ściśle określonej warstwy złoża. Do jego wykonania można użyć pakera, który będzie izolował od siebie warstwy o różnej przepuszczalności. Można również użyć materiały przejściowo zatykające pory warstw złożowych. Przy tego rodzaju kwasowaniu w pierwszej kolejności kwasowaniu ulegają strefy złoża o dużej przepuszczalności. Następnie wtłacza się substancje (blokatory), które wnikając w pory strefy bardziej przepuszczalnej zatykają je, przez co umożliwiają wnikanie cieczy kwasującej w strefy złoża o mniejszej przepuszczalności. Warunkiem stosowania blokatorów jest, aby były one łatwo usuwalne po zakończeniu kwasowania.

Zabieg kwasowania może odbywać się przy:

a) małym ciśnieniu tłoczenia w jednorodnych skałach węglanowych,
b) ciśnieniu tłoczenia niższym od ciśnienia szczelinowania,
c) ciśnieniu większym od ciśnienia szczelinowania.

Ad. a)

Celem tej obróbki jest zwiększenie przepuszczalności skał zalegających bezpośrednio w strefie przyodwiertowej. Ilość rozpuszczonych węglanów zależy od odległości porów od ścian odwiertu, ponieważ zdolność rozpuszczania kwasu zmniejsza się w miarę jego przenikania w skałę.

Promień strefy działania niezużytego kwasu w skałach czysto węglanowych można określić wzorem:

$$r_x = \sqrt{\frac{Q \cdot t}{p \cdot f \cdot h} + r_0^{\,2}}$$

gdzie:

r_x – promień zasięgu działania kwasu [m],
Q – natężenie tłoczenia kwasu [m^3/s],
t – czas zupełnego przereagowania kwasu [s],
r_o – promień odwiertu [m],
h – miąższość poziomu produktywnego [m],
Φ – współczynnik porowatości skały.

Ad. b)

Ten sposób kwasowania stosuje się do obróbki warstw złożowych o naturalnej szczelinowatości wówczas, gdy konieczne jest usunięcie ze szczelin utworzonych tam wytrąceń oraz cząstek rozkruszonej skały, a także poszerzenie szczelin przez działanie kwasu. Ciśnienie tłoczenia nie może przekroczyć ciśnienia szczelinowania.

Ad. c)

W celu osiągnięcia lepszych efektów stosuje się często kwasowanie połączone z hydraulicznym szczelinowaniem. Ciecz kwasująca działa wtedy również jak ciecz szczelinująca.

Urządzenia stosowane do wykonywania zabiegów kwasowania i szczelinowania

Urządzenia, którymi wykonuje się zabiegi kwasowania służą również do wykonania hydraulicznego szczelinowania. W skład zestawu do wykonania zabiegu wchodzą (na przykładzie sprzętu Serwisu Intensyfikacji Wydobycia):

- agregaty pompowe,
- manifold,
- piaskomieszałka (blender),
- transporter materiału podsadzkowego,
- urządzenie sterująco – rejestrujące VAN.

Agregaty pompowe są zdalnie sterowane z odległości do 30 m. Sterowanie ręczne może odbywać się indywidualnie dla każdego agregatu lub grupowo z urządzenia sterująco – rejestrującego VAN. Każdy agregat wyposażony jest w układ bezpieczeństwa, który powoduje jego wyłączenie w przypadku nagłego przekroczenia dopuszczalnego ciśnienia zabiegowego. Maksymalne ciśnienie robocze 105,0 MPa.

Manifold zamontowany jest na samochodzie. Główne jego części to manifold niskiego i manifold wysokiego ciśnienia. Posiada również komplet zaworów zwrotnych i odcinających umożliwiających współpracę z piaskomieszałką. Maksymalne ciśnienie robocze 105,0 MPa. Może jednorazowo obsługiwać sześć agregatów pompowych.

Piaskomieszałka zamontowana jest na samochodzie i posiada możliwość zaprogramowania różnych faz zabiegu koncentracji podsadzki oraz substancji chemicznych ciekłych i suchych.

Zbiornik do transportu materiału podsadzkowego zainstalowany jest na naczepie. Składa się z dwóch komór, w których można pomieścić 25 ton materiału.

Urządzenie kontrolowane jest poprzez układ hydrauliczny, który zapewnia ciągłe i łagodne podawanie materiału do piaskomieszałki

Urządzenie sterująco – rejestrujące VAN zamontowane jest w mikrobusie. Posiada możliwość monitorowania i rejestracji aktualnych danych zabiegowych. Rejestracja odbywa się na taśmie papierowej i dyskietce, a przebieg zabiegu obserwowany jest na monitorach.

Układ pomiarowy rejestruje:

– gęstość płynu zabiegowego,
– koncentrację materiału podsadzkowego,
– kalkulowane ciśnienie na spodzie odwiertu,
– prędkość podawania środków chemicznych,
– ciśnienie w rurach okładzinowych,
– wydajność tłoczenia,
– ilość wtłaczanych płynów.

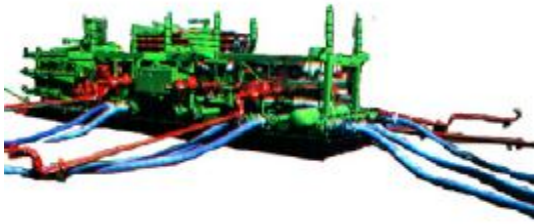
Po zakończeniu zabiegu wszystkie rejestrowane parametry zabiegowe poddawane są analizie i przedstawiane w formie wykresów.

Poniżej przedstawiono zdjęcia urządzeń wykonujących zabieg szczelinowania i kwasowania.

Rys. 9. Agregat pompowy [3]

Rys. 10. Piaskomieszałka [3]

Rys. 11. Manifold na samochodzie [3]



Rys. 12. Manifold gotowy do pracy [3]

Rys. 13. Transporter piasku [3]

Rys. 14. Urządzenie sterujące VAN [3]

Rys. 15. Przykład rozmieszczenia urządzeń do hydraulicznego szczelinowania lub kwasowania na odwiercie [3]

Omawiane zabiegi mogą być też wykonane przy użyciu Jednostki z Elastycznym Przewodem (Coiled Tubing Unit).

4.3.2. Pytania sprawdzające

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

1. Co jest celem zabiegu kwasowania odwiertu?
2. Jak przebiega reakcja kwasu solnego z wapieniami?
3. Jak przebiega reakcja kwasu solnego z dolomitami?
4. Co to jest kwasowanie matrycy?
5. Jakie związki chemiczne tworzą z kwasem ciecz kwasującą?
6. Co rozumiesz pod pojęciem kwasowania niekontrolowanego?
7. Co rozumiesz pod pojęciem kwasowania selektywnego?
8. Od czego zależy stężenie kwasu w cieczy użytej do zabiegu kwasowania?
9. Z jakiego wzoru można wyliczyć zasięg działania kwasu w skałach węglanowych?
10. Jakie urządzenia wchodzą w skład zestawu do kwasowania odwiertu?

4.3.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Oblicz, ile cieczy kwasującej należy użyć do zabiegu kwasowania przy założeniu, że zabieg odbywa się w skałach o dużym współczynniku przepuszczalności i małym ciśnieniu złożowym ? Miąższość warstwy złożowej wynosi 20 m.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) odnaleźć w literaturze lub materiale nauczania zasadę doboru ilości cieczy kwasującej,
2) dokonać wyliczenia cieczy kwasującej,
3) przedstawić ich wynik w postaci zapisu „od .... – do .....”.

Wyposażenie stanowiska pracy:

– zeszyt,
– kalkulator,
– literatura z rozdziału 6 poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 2

Z jaką ilością dolomitu przereaguje 1000 kg czystego kwasu solnego?

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) napisać reakcję kwasu solnego z dolomitem,
2) uzgodnić tą reakcję,
3) z tablicy pierwiastków wypisać masy atomowe pierwiastków wchodzących w skład związków chemicznych biorących udział w reakcji,
4) obliczyć masy cząsteczkowe związków biorących udział w reakcji,
5) na zasadzie proporcji obliczyć szukaną wartość.

Wyposażenie stanowiska pracy:

– zeszyt,
– kalkulator,
– tablica pierwiastków.

Ćwiczenie 3

Oblicz ile kwasu solnego należy użyć, aby przereagował zupełnie z 1000 kg węglanu wapnia.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) napisać reakcję kwasu solnego z węglanem wapnia,
2) uzgodnić tą reakcję,
2) z tablicy pierwiastków wypisać masy atomowe pierwiastków wchodzących w skład związków chemicznych biorących udział w reakcji,
3) obliczyć masy cząsteczkowe związków biorących udział w reakcji,
4) na zasadzie proporcji obliczyć szukaną wartość.

Wyposażenie stanowiska pracy:
- zeszyt,
- kalkulator,
- tablica pierwiastków,
- literatura z rozdziału 6 poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 4

Przedstaw schemat rozmieszczenia urządzeń napowierzchniowych biorących udział w zabiegu hydraulicznego szczelinowania przy użyciu kwasu.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:
1) analizując materiał nauczania lub literaturę pomocniczą wypisać urządzenia niezbędne do wykonania zabiegu,
2) przypomnieć sobie ich przeznaczenie oraz ich wzajemne współdziałanie,
3) przy pomocy schematu blokowego rozrysować ich rozmieszczenie na odwiercie oraz poprzez połączenie poszczególnych bloczków kolorowymi liniami zobrazować ich wzajemne współdziałanie.

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

4.3.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

		Tak	Nie
1)	przedstawić cel zabiegu kwasowania?	□	□
2)	napisać reakcje zachodzące pomiędzy kwasem solnym a skałą węglanową?	□	□
3)	wymienić rodzaje związków chemicznych dodawanych do cieczy kwasującej?	□	□
4)	scharakteryzować przeznaczenie związków chemicznych dodawanych do cieczy kwasującej?	□	□
5)	wskazać podstawowe różnice pomiędzy kwasowaniem niekontrolowanym a kwasowaniem selektywnym?	□	□
6)	określić etapy kwasowania niekontrolowanego?	□	□
7)	obliczyć ilość cieczy kwasującej?	□	□
8)	wymienić rodzaje kwasowania w zależności od ciśnienia tłoczenia?	□	□
9)	wymienić urządzenia napowierzchniowe stosowane przy zabiegu kwasowania i zabiegu hydraulicznego szczelinowania kwasem?	□	□
10)	rozróżnić na zdjęciach urządzenia powierzchniowe używane do zabiegu kwasowania i hydraulicznego szczelinowania kwasem?	□	□

4.4. Intensyfikacja wydobycia przy pomocy materiałów wybuchowych

4.4.1. Materiał nauczania

Wykorzystując materiał wybuchowy intensyfikację wydobycia można przeprowadzać stosując torpedowanie odwiertów i szczelinowanie odwiertów przy użyciu prochowych generatorów ciśnienia

W pierwszej metodzie wykorzystuje się zjawisko wybuchu (detonacji), które wywołuje falę uderzeniową, a wysokie ciśnienie przewyższa wytrzymałość skał doprowadzając do ich rozkruszenia i popękania.

W drugiej metodzie wykorzystuje się spalanie materiału wybuchowego (deflagrację). Charakteryzuje się powolnym, egzotermicznym rozkładem materiału wybuchowego. W procesie tym nie jest konieczne doprowadzanie tlenu do materiału wybuchowego. Efektem tego zjawiska jest obfite wydzielanie się gazów, ale nie tworzy się fala uderzeniowa. Wydzielanie się gazów powoduje wzrost ciśnienia w odwiercie do takich wartości, które przewyższają wytrzymałość skały (przewyższają ciśnienie szczelinowania).

Torpedowanie odwiertów

Celem torpedowania jest wytworzenie w skałach złożowych wokół odwiertu sieci spękań i szczelin. W wyniku tego zabiegu wokół odwiertu powstają następujące strefy:

- strefa druzgotu – calizna skały zostaje podzielona na drobne okruchy,
- strefa skruszenia – calizna skały zostaje podzielona na oddzielne, duże bloki,
- strefa spękań – w caliźnie skały powstaje wiele różnokierunkowych szczelin.

Najistotniejszą, z punktu widzenia poprawy przepuszczalności, jest strefa spękań. Promień tej strefy zależny jest od warunków złożowych oraz od ilości użytego materiału wybuchowego. Zazwyczaj nie przekracza kilkunastu metrów.

Materiał wybuchowy, który detonowany jest na dnie odwiertu, dostarczany jest tam w postaci torpedy elastycznej lub sztywnej. W torpedzie elastycznej ładunek wybuchowy wraz z zapalnikiem przymocowany jest do kabla i osłonięty tkaniną jutową. Torpeda sztywna posiada osłonę metalową.

W związku z faktem, że materiał wybuchowy może spowodować uszkodzenie rur okładzinowych ich stosowanie ograniczone jest do interwałów nieorurowanych.

Dla ochrony górnej części odwiertu przed działaniem fali uderzeniowej stosuje się przybitkę czyli słup cieczy o odpowiednim ciężarze właściwym. Ilość materiału wybuchowego zależna jest od planowanego zasięgu strefy skruszenia oraz od głębokości odwiertu. Wielkość tą można wyliczyć z następującego wzoru:

$$C = 8{,}3 \cdot \frac{r^3}{K \cdot g \cdot m \cdot n} \quad [kg]$$

gdzie:

- C – ilość materiału wybuchowego [kg],
- r – promień strefy skruszenia [m],
- K – współczynnik zależny od rodzaju użytego materiału wybuchowego; np. dla dynamitu skalnego K=1,2, a dla amonitu K=0,8,
- g – współczynnik charakteryzujący skały złożowe; przyjmuje się go w granicach od 0,5 dla skał zbitych do 0,3 dla skał słabo zwięzłych,

m – współczynnik zależny od różnicy pomiędzy średnicą odwiertu i średnicą torpedy; np. dla różnicy 50 mm wynosi on 0,85, a dla różnicy 12,5 mm wynosi on 0,98,

n – współczynnik zależny od rodzaju torpedy; dla torpedy sztywnej n = 0,85.

Po obliczeniu ilości materiału wybuchowego należy jeszcze sprawdzić, czy może być ona zastosowana ze względu na potrzebną ilość przybitki obliczaną ze wzoru

$$h_p = 12700 \cdot \frac{C \cdot V_o}{r_p \cdot h_t \cdot D^2} \quad [m]$$

gdzie:

h_p – wysokość przybitki [m],
C – ilość użytego materiału wybuchowego [kg],
V_0 – objętość gazowych produktów reakcji [nm^3],
ρ_p – gęstość przybitki [kg/m^3],
D – średnica odwiertu [m],
h_t – miąższość złoża poddanego działaniu torpedy [m].

Wyliczona wysokość słupa przybitki nie może być większa niż głębokość zapuszczenia torpedy. Jeżeli ta wysokość jest większa należy skorygować ilość wyliczonego uprzednio materiału wybuchowego lub dobrać odpowiedni ciężar właściwy przybitki.

Dodatkowym czynnikiem powodującym wzrost wydajności odwiertu jest oddziaływanie cieplne na złoże, gdyż gazowe produkty wybuchu mają wysoką temperaturę. Oddziaływanie to jest szczególnie ważne w przypadku odwiertów z ropą parafinową, gdyż powoduje stopienie osadów parafinowych.

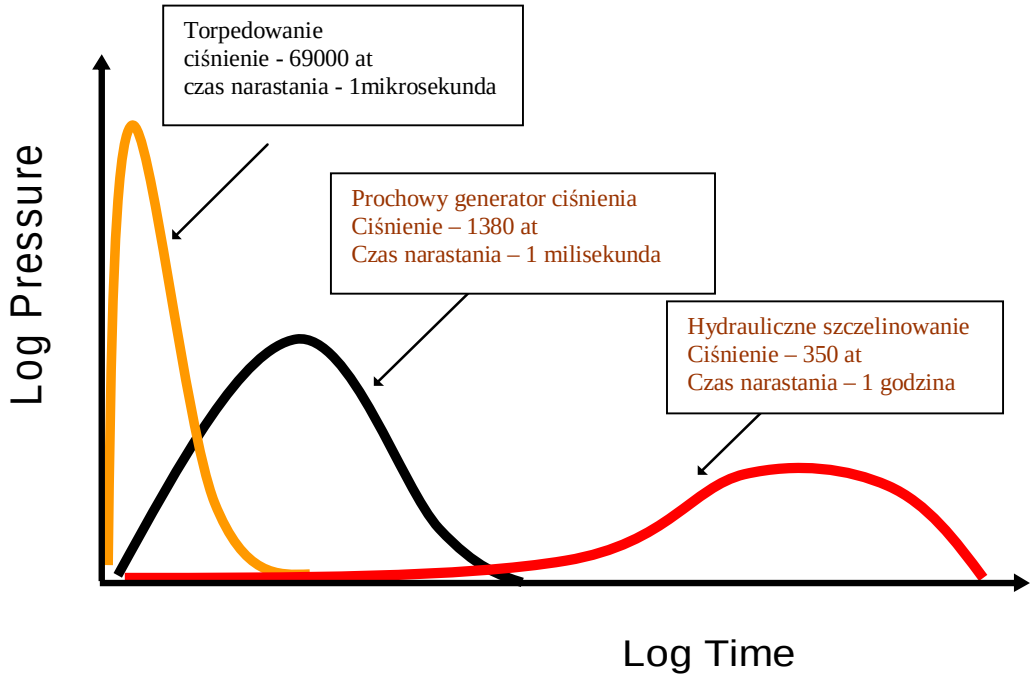
W zależności od celu wykonania zabiegu torpedowanie dzielimy na:

- torpedowanie badawcze – ma na celu otwarcie połączeń między odwiertem a złożem; stosuje się w przypadku gdy perforacja okazała się niewystarczająca,
- torpedowanie eksploatacyjne – jest to metoda intensyfikacji wydobycia ropy,
- torpedowanie instrumentacyjne – jest jedną z metod instrumentacji stosowaną w czasie wiercenia.

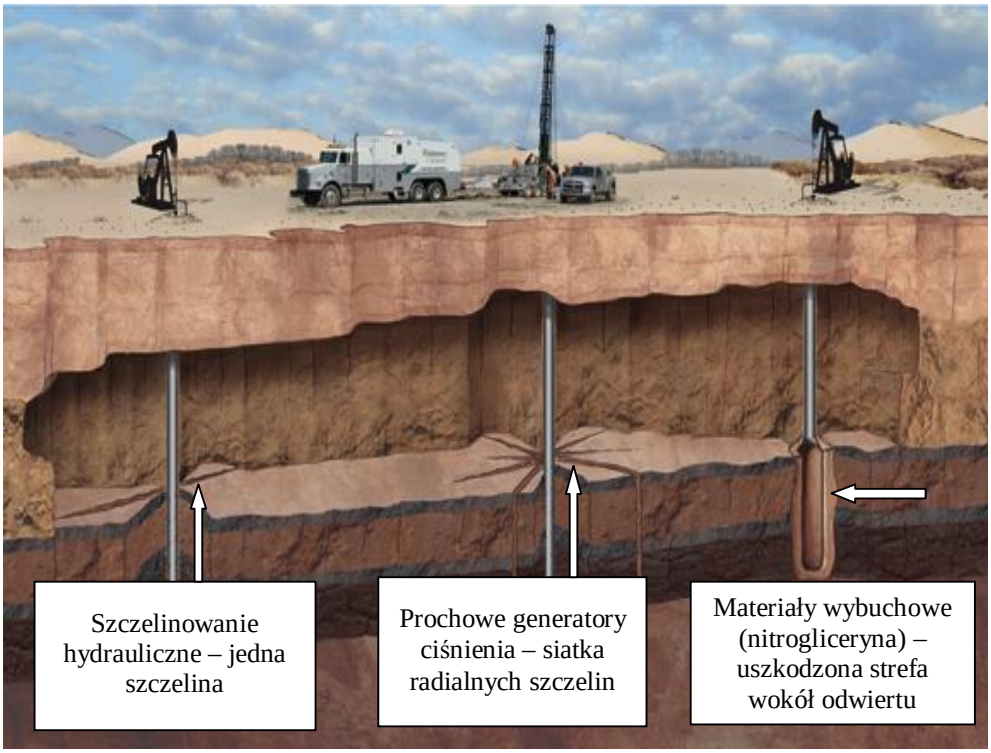
Aktualnie jedynie torpedowanie instrumentacyjne jest jeszcze stosowane. Torpedowanie eksploatacyjne zostało zastąpione bardziej wydajnym i bezpieczniejszym zabiegiem hydraulicznego szczelinowania, a torpedowanie badawcze zostało wyeliminowane przez bardziej nowoczesne metody perforacji. Niemniej była to metoda bardzo rozpowszechniona, która dawała bardzo dobre efekty. Dlatego omawiając metody intensyfikacji należy wspomnieć też o torpedowaniu i poznać teorię tej metody.

Szczelinowanie odwiertów przy pomocy prochowych generatorów ciśnienia

W prochowych generatorach ciśnienia wykorzystuje się materiały wybuchowe, które ulegają deflagracji. Od klasycznych materiałów wybuchowych różnią się składem chemicznym i szybkością uwalniania energii oraz tym, że materiał zastosowany w generatorach jest bardziej odporny na działanie wysokich temperatur i ciśnień występujących w odwiercie. Dłuższy czas narastania ciśnienia w porównaniu z klasycznym materiałem wybuchowym jest przyczyną powstania siatki szczelin (rys. 17). Na rysunku 16 przedstawiona jest różnica szybkości narastania ciśnienia podczas zabiegu hydraulicznego szczelinowania, szczelinowania przy użyciu prochowych generatorów ciśnienia i torpedowania.



Rys. 16. Narastanie ciśnienia w funkcji czasu [8]



Rys. 17. Porównanie stref przyodwiertowych po zabiegach torpedowania, hydraulicznego szczelinowania i po użyciu prochowych generatorów ciśnienia [8]

Prędkość narastania ciśnienia przy zabiegu szczelinowania prochowymi generatorami ciśnienia zależy od formacji złożowej, uzbrojenia odwiertu, właściwości chemicznych generatorów prochowych, ciśnienia wywartego przez słup cieczy w odwiercie, średnicy otworów perforacyjnych i ich rozmieszczenia.

Aby omawiany zabieg był efektywny muszą być spełnione następujące warunki:

- powstające ciśnienie musi być wystarczające do zeszczelinowania skały złożowej, nie powodując jednocześnie uszkodzenia wgłębnego odwiertu,
- prędkość narastania ciśnienia musi być odpowiednia do powstania siatki szczelin,
- objętość generowanego gazu musi być wystarczająca do powiększania szczelin tak, aby osiągnęły efektywną długość.

Szacuje się, że średnia rozwartość powstającej szczeliny wynosi 1 mm, wysokość szczeliny równa jest długości użytych generatorów prochowych a zasięg szczeliny uzależniony jest od ilości powstających gazów. Aby gaz mógł wydostać się poza rury okładzinowe przy dużym ciśnieniu, które powstaje podczas zabiegu, musi być wykonana odpowiednia ilość otworów perforacyjnych. Szacuje się, że niezbędne minimum to 12 otworów na 1 metr i średnica otworów 12,5 mm.

Prochowe generatory ciśnienia produkowane są w postaci sprasowanych lasek materiału wybuchowego (rysunek 18) lub też w obudowie metalowej (rysunek 19).

Rys. 18. Prochowy generator w postaci prasowanej laski

Rys. 19. Uzbrajanie korpusu

Prochowe generatory ciśnienia zapuszczane są do odwiertu przy użyciu wyciągu geofizycznego. Aby uniknąć wyrzucenia płynu z odwiertu podczas spalania materiału wybuchowego należy obniżyć poziom płynu tak, aby pozostawić kilkadziesiąt metrów poduszki gazowej stanowiącej rodzaj amortyzatora.

4.4.2. Pytania sprawdzające

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

1. Jaka jest podstawowa różnica między torpedowaniem odwiertu a szczelinowaniem odwiertu przy użyciu prochowych generatorów ciśnienia?
2. W jakim celu, podczas torpedowania odwiertu, stosuje się przybitkę?
3. W jaki sposób wylicza się ilość materiału wybuchowego, którą należy użyć przy torpedowaniu odwiertu?
4. Jaka wielkość ogranicza ilość materiału wybuchowego użytego do torpedowania odwiertu?
5. Co jest przyczyną powstania siatki szczelin podczas zabiegu z użyciem prochowych generatorów ciśnienia?
6. Jakie warunki muszą być spełnione, aby zabieg z użyciem generatora ciśnienia był efektywny?
7. Od czego zależą rozmiary powstających szczelin podczas zabiegu z użyciem generatora ciśnienia?

4.4.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Narysuj schemat strefy przyodwiertowej odwiertu poddanego zabiegowi torpedowania.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) wypisać strefy jakie powstają podczas torpedowania odwiertu,
2) naszkicować odwiert eksploatacyjny oraz zaznaczyć strefę przyodwiertową,
3) na szkicu strefy przyodwiertowej zaznaczyć obszary różniące się sposobem zniszczenia skał złożowych.
4) zaznaczone obszary wyróżnić kolorystycznie i opisać je zgodnie z zestawieniem wykonanym w pkt. 1.

Wyposażenie stanowiska pracy:

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

Ćwiczenie 2

Określ ilość materiału wybuchowego, jaką należy użyć do torpedowania odwiertu, jeżeli chcemy uzyskać strefę skruszenia o promieniu 20m. Do zabiegu użyjemy amonitu a torpeda zostanie zapuszczona na głębokość 1000 m. Podczas wybuch powstanie około 10 nm^3 gazów, jako przybitka zostanie użyta ciecz o γ_p= 1,25 g/cm^3, miąższość warstwy złożowej wynosi 10 m, a średnica otworu jest równa 144 mm.

Pozostałe dane:
współczynnik charakteryzujący skały złożowe g = 0,5,
współczynnik zależny od różnicy średnicy odwiertu i średnicy torpedy m = 0,98,
współczynnik zależny od rodzaju torpedy n = 0,85.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) wypisać wzory z których będziesz korzystał,
2) sprawdzić, czy dysponujesz wszystkimi danymi,
3) sprawdzić jednostki i jeżeli jest taka konieczność uzgodnić je,
4) wyliczyć ilość materiału wybuchowego,
5) wyliczyć wysokość przybitki,
6) porównać wysokość przybitki z głębokością zapuszczenia torpedy,
7) jeżeli te dwie wielkości nie będą takie same należy tak dobrać ciężar właściwy przybitki aby jej wysokość była taka sama jak głębokość odpalenia torpedy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

– zeszyt,
– kalkulator,
– literatura z rozdziału 6 poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 3

Narysuj i zinterpretuj wykres narastania ciśnienia w funkcji czasu dla zabiegu torpedowania, hydraulicznego szczelinowania i szczelinowania przy użyciu generatora ciśnienia.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) narysować wykres, o którym mowa w temacie ćwiczenia,
2) wyjaśnić wielkość powstającego ciśnienia oraz czas jego narastania pod kontem zjawisk fizyko-chemicznych wykorzystanych w omawianych zabiegach intensyfikacji.

Wyposażenie stanowiska pracy:

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

Ćwiczenie 4

Porównaj zabieg hydraulicznego szczelinowania z zabiegiem szczelinowania przy użyciu generatora ciśnienia.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) wykonać tabelę składającą się z trzech kolumn,

Cechy charakterystyczne	Hydrauliczne szczelinowanie	Generator ciśnienia

2) korzystając z literatury pomocniczej w kolumnie pierwszej wypisywać cechy charakterystyczne zabiegów,
3) w kolumnach 2 i 3 przy pomocy znaków:„ +’’ i „ –’’ zaznaczać, w którym z zabiegów dane cechy występują.

Wyposażenie stanowiska pracy:

– zeszyt,
– literatura z rozdziału 6 poradnika dla ucznia.

4.4.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz

	Tak	**Nie**
1) dokonać podziału metod z wykorzystaniem materiałów wybuchowych?	□	□
2) nazwać strefy zniszczenia powstałe wokół odwiertu przy zabiegu torpedowania?	□	□
3) rozróżnić torpedę miękką od sztywnej?	□	□
4) wyliczyć ilość materiału wybuchowego potrzebną do wykonania zabiegu torpedowania?	□	□

5) podać cechy charakterystyczne hydraulicznego szczelinowania i szczelinowania z użyciem generatorów ciśnienia? ☐ ☐
6) wyjaśnić zjawiska powodujące powstawanie dużych ciśnień w odwiertach w poznanych zabiegach intensyfikacji? ☐ ☐
7) wymienić warunki efektywnego wykonania zabiegu z użyciem generatora ciśnienia? ☐ ☐
8) wyjaśnić w jakim celu w odwiercie obniża się poziom płynu przed zabiegiem z użyciem generatora ciśnienia? ☐ ☐

4.5. Metody termiczne intensyfikacji wydobycia ropy naftowej

4.5.1. Materiał nauczania

Zabiegi termiczne (zwane też wygrzewaniem odwiertów) stosuje się w odwiertach produkujących ropę parafinową, o dużej lepkości. Celem tego zabiegu jest zmniejszenie lepkości ropy znajdującej się w odwiercie i w skałach złożowych strefy przyodwiertowej, jak również stopienie występujących osadów parafinowych. Wynikiem tego zabiegu jest zwiększenie przepuszczalności skał złożowych strefy przyodwiertowej oraz zmniejszenie lepkości ropy, co z kolei zmniejsza opory przepływu.

Wygrzewanie odwiertu może być wykonywane metodą termochemiczną, elektryczną i przy użyciu pary wodnej.

Wygrzewanie termochemiczne

W metodzie tej jako źródło ciepła wykorzystywana jest reakcja egzotermiczna, którą przeprowadza się na dnie odwiertu. Warunkiem prawidłowo przeprowadzonego zabiegu jest to, aby podczas reakcji wydzieliła się odpowiednio duża ilość ciepła. Produkty reakcji muszą być rozpuszczalne w wodzie oraz użyte związki chemiczne muszą być tanie. W praktyce znalazły zastosowanie następujące reakcje:

1) $Mg + 2HCl \rightarrow MgCl_2 + H_2 + Q$

2) $NaOH + HCl \rightarrow NaCl + H_2O + Q$

W czasie pierwszej, z wymienionych reakcji, wytwarza się ciepło w ilości 19 518,861 kJ/kg na 1 kg Mg, a w trakcie trwania drugiej reakcji wytwarza się ciepło w ilości 13 816,440 kJ/kg na 1 kg NaOH. W każdym przypadku produkty reakcji są rozpuszczalne w wodzie.

W przypadku stosowania zabiegu wygrzewania termochemicznego w skałach węglanowych wskazane jest użyć do reakcji więcej HCl niż wynika to z równania reakcji. Ta nadwyżka przereaguje ze skałą złożową co podniesie efektywność zabiegu. Będzie to połączenie zabiegu wygrzewania z zabiegiem kwasowania.

Wygrzewanie parą wodną

Parę wodną tłoczy się do odwiertu, pobierając ją na przykład z kotłowni kopalnianej. Zabieg ten, mimo swojej prostoty, obarczony jest kilkoma wadami. Po pierwsze, podczas tłoczenia pary wodnej do odwiertu występują duże straty ciepła skutkiem jego przenikania w warstwy nadkładu. Po drugie, powstaje kondensat wodny na dnie odwiertu, który powoduje zmniejszenie przepuszczalności efektywnej dla ropy skał strefy przyodwiertowej. Dlatego też po zakończeniu wygrzewania parą wodną należy szybko usunąć wodę kondensacyjną z odwiertu.

Wygrzewanie elektryczne

Zabieg ten polega na wytworzeniu w odwiercie ciepła przy pomocy wgłębnego grzejnika elektrycznego. Grzejnik taki może być zapuszczony do odwiertu na linie lub na rurach pompowych. Wygrzewanie elektryczne może być prowadzone w sposób ciągły lub okresowy.

Dla zapewnienia należytej efektywności wygrzewania należy ropę podgrzać do temperatury, która będzie wyższa od temperatury topnienia parafiny, a jednocześnie nie będzie powodowała odparowywania lekkich węglowodorów. Przyjmuje się, że optymalna temperatura to 60–65°C.

Przy wygrzewaniu okresowym czas pracy grzejnika zależy od temperatury wygrzewania, mocy grzejnika oraz wydajności odwiertu. Bilans cieplny będzie przedstawiał się następująco:

$$Q_G = Q_R + Q_P + Q_S \text{ [J]}$$

gdzie:

Q_G – ilość ciepła wytworzona przez grzejnik,
Q_R – ilość ciepła zużyta na ogrzanie ropy w odwiercie,
Q_P – ilość ciepła zużyta na stopienie parafiny,
Q_S – ilość ciepła zużyta na ogrzanie skał złożowych.

przy czym:

$$Q_R = c_R \cdot (t_2 - t_1) \cdot (q_o + q_T) \text{ [J]}$$
$$Q_P = c_P \cdot q_P \text{ [J]}$$

gdzie:

c_R – ciepło właściwe ropy, średnio 2093,4 [J/kg],
c_P – ciepło topnienia parafiny, średnio 209340 [J/kg],
t_1 – temperatura ropy w odwiercie przed wygrzewaniem [K],
t_2 – temperatura ropy w odwiercie po wygrzewaniu [K],
q_o – masa ropy znajdująca się w odwiercie przed wygrzewaniem [kg],
q_T – masa ropy, która dopłynęła do odwiertu w czasie wygrzewania [kg],
q_P – masa parafiny znajdująca się w odwiercie [kg].

Ilość ciepła, jaka jest potrzebna do ogrzania skał złożowych jest trudna do wyliczenia, dlatego przyjmuje się, że moc grzejnika potrzebna do wytworzenia tej ilości ciepła wynosi około 200 W na 1 metr wysokości słupa ropy h_R w odwiercie w czasie jego wygrzewania

$$N_S = 200 \cdot h_R \text{ [W]}$$

Natomiast moc grzejnika potrzebna do wytworzenia ciepła Q_R oraz Q_P w czasie T [h] wynosi:

$$N_1 = \frac{Q_R + Q_P}{T} \text{ [W]}$$

stąd całkowitą moc grzejnika można wyliczyć z równania:

$$N = N_s + N_1 \text{ [W]}$$

Potrzebną moc grzejnika można wyznaczyć również w przybliżeniu z empirycznego wzoru:

$$N = 0{,}04 \cdot q \text{ [kW]}$$

gdzie:

q – wydajność odwiertu [kg/dobę].

4.5.2. Pytania sprawdzające

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

1. Jakimi metodami można wykonać zabieg wygrzewania odwiertów ropnych?
2. Jakie substancje chemiczne używa się w czasie wykonywania zabiegów wygrzewania termochemicznego?
3. Jakie wady posiada zabieg wygrzewania odwiertów ropnych parą wodną?
4. Do jakiej temperatury należy podgrzać ropę naftową podczas wygrzewania elektrycznego?
5. Jak wykorzystywane jest ciepło wytwarzane przez grzejnik przy zabiegu wygrzewania elektrycznego?

4.5.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Jaka ilość magnezu przereaguje ze 100 kg kwasu solnego podczas zabiegu wygrzewania termochemicznego? Jaka ilość ciepła wydzieli się podczas tej reakcji?

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) napisać reakcję magnezu z kwasem solnym,
2) wyliczyć masy atomowe i cząsteczkowe substancji chemicznych biorących udział w reakcji chemicznej,
3) ułożyć proporcję, z której obliczysz interesującą Cię wielkość,
4) obliczyć ilość wydzielonego ciepła biorąc pod uwagę ilość ciepła jaka wydziela się przy reakcji 1 kg magnezu.

Wyposażenie stanowiska pracy:

– zeszyt,
– kalkulator,
– tablice okresowe pierwiastków,
– literatura z rozdziału 6 poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 2

Jaką ilość ciepła należy zużyć do podgrzania znajdującej się w odwiercie ropy naftowej podczas zabiegu wygrzewania elektrycznego? Temperatura ropy przed zabiegiem wynosiła $30^{o}C$, a po zabiegu $60^{o}C$. Przed zabiegiem w odwiercie znajdowało się 100 kg ropy, a po zabiegu ta ilość wzrosła o 50%.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) napisać wzór, który musi zastosować,
2) sprawdzić, czy posiada wszystkie dane,
3) sprawdzić, czy dane posiadają prawidłowe jednostki,
4) wyliczyć brakujące wielkości,
5) podstawić dane do wzoru i wyliczyć.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zeszyt,
- kalkulator,
- literatura z rozdziału 6 poradnika dla ucznia.

4.5.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz

	Tak	Nie
1) określić cel zabiegów wygrzewania odwiertów ropnych?	☐	☐
2) napisać reakcje chemiczne, które wykorzystuje się w wygrzewaniu termochemicznym?	☐	☐
3) opisać połączenie zabiegu wygrzewania termochemicznego z zabiegiem kwasowania odwiertów?	☐	☐
4) podać wady i zalety zabiegu wygrzewania odwiertu ropnego parą wodną?	☐	☐
5) uzasadnić, dlaczego przy wygrzewaniu elektrycznym należy podgrzać ropę do temperatury około $65^{o}C$?	☐	☐
6) napisać równanie bilansu cieplnego dla wygrzewania elektrycznego odwiertów?	☐	☐
7) obliczyć moc grzejnika elektrycznego stosowanego w metodzie wygrzewania elektrycznego?	☐	☐

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 30 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 stosunkowo 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

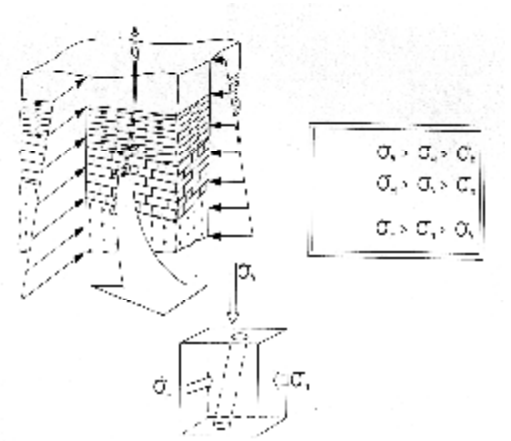
1. Intensyfikacja wydobycia są to prace wykonywane w odwiercie wydobywczym w celu zwiększenia wydobycia
   a) bez zmiany stanu energetycznego złoża.
   b) przez zwiększenie ciśnienia złożowego.
   c) i zmniejszenie ciśnienia złożowego.
   d) przez wymianę uzbrojenia wgłębnego odwiertu.

2. Zmniejszenie lepkości ropy naftowej w strefie przyodwiertowej uzyskujemy przez
   a) hydrauliczne szczelinowanie.
   b) hydrauliczne szczelinowanie połączone z kwasowaniem.
   c) wygrzewanie termochemiczne.
   d) torpedowanie.

3. Deflagracja jest to
   a) reakcja kwasu solnego z dolomitem.
   b) reakcja kwasu fluorowodorowego z iłem.
   c) zjawisko związane ze skokowym wzrostem ciśnienia.
   d) spalanie materiału wybuchowego bez potrzeby dostarczania tlenu.

4. Ciecz szczelinująca to ciecz
   a) wtłaczana do odwiertu przy wykonywaniu hydraulicznego szczelinowania.
   b) stosowana do wykonania próby chłonności.
   c) stosowana do wywarcia przeciwciśnienia w odwiercie.
   d) stosowana przy kwasowaniu odwiertu.

5. Poniższy rysunek przedstawia naprężenia
   a) zgniatające.
   b) zginające.
   c) główne.
   d) skręcające.



6. Ciśnienie szczelinowania na głębokości H = 1000 m, dla K=1 i ρ_z=2,0 g/cm^3 wynosi
   a) 15,0 MPa.
   b) 100 kg/cm^2.
   c) 180 bar.
   d) 200 N/m^2.

7. Dla Q_1=100 t/dobę i Q_2=10t/h współczynnik efektywności $h = \frac{Q_2}{Q_1}$ wynosi
   a) 2,4.
   b) 10.
   c) 1.
   d) 1,5.

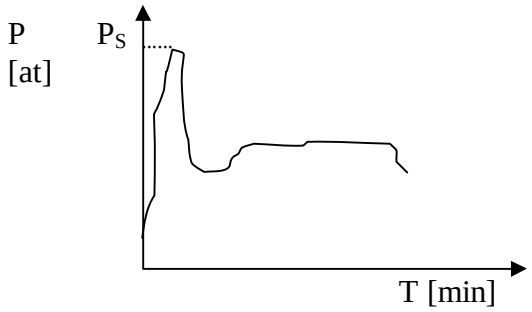
8. We wzorze na ciśnienie tłoczenia cieczy szczelinującej $P_{tg} = P_S - P_H + \Delta P_{tr}$ symbol ΔP_{tr} oznacza straty na ciśnieniu przetłaczania
   a) w rurkach wydobywczych.
   b) od pomp do głowicy odwiertu.
   c) od pomp do spodu odwiertu.
   d) w przestrzeni pierścieniowej.

9. Ciecz, która stosowana jest jako ciecz szczelinująca to
   a) woda słodka.
   b) płuczka.
   c) solanka.
   d) wodny roztwór polimeru sieciowego.

10. Materiały podsadzkowe stosowane przy zabiegu szczelinowania hydraulicznego służą do
   a) zabezpieczenia wytworzonej szczeliny przed zamknięciem po wykonaniu zabiegu.
   b) wytworzenia szczeliny.
   c) zwiększenia ciśnienia szczelinowania.
   d) zwiększenia rozmiarów szczeliny.

11. Łamacze wiskozy są to środki chemiczne dodawane do cieczy szczelinujących w celu
   a) zmniejszenia lepkości cieczy szczelinującej przed wytworzeniem szczeliny.
   b) zmniejszenia lepkości cieczy szczelinującej po wytworzeniu szczeliny.
   c) zwiększenia lepkości cieczy szczelinującej przed wytworzeniem szczeliny.
   d) zwiększenia lepkości cieczy szczelinującej po wytworzeniu szczeliny.

12. Na przedstawionym wykresie tłoczenia punkt oznaczony symbolem P_S oznacza



a) moment zamknięcia szczeliny po zakończeniu zabiegu.
b) moment powstania szczeliny.
c) awarię spowodowaną wypłukaniem rurek wydobywczych.
d) rozszczelnienie rurociągu tłoczącego między pompami a głowicą.

13. Jeżeli koncentracja materiału podsadzkowego w cieczy szczelinującej wynosi 300 kg/m^3 to w 1000 dm^3 cieczy szczelinującej znajduje się następująca ilość materiału podsadzkowego
a) 30 000 g.
b) 300 kg.
c) 3 t.
d) 300 N.

14. Do wykonania zabiegu kwasowania stosuje się kwas
a) azotowy.
b) solny.
c) siarkowy.
d) mrówkowy.

15. Zabieg kwasowania może być wykonywany w
a) dolomitach.
b) granitach.
c) sjenitach.
d) iłowcach.

16. Inhibitory są to związki chemiczne dodawane do cieczy kwasujących w celu
a) zwiększenia korozyjnego działania na stal.
b) zmniejszenia korozyjnego działania na stal.
c) zapobiegania tworzeniu się emulsji kwasu i cieczy złożowej.
d) opóźnienia rozpoczęcia reakcji kwasu ze skałą złożową.

17. Przy kwasowaniu selektywnym blokatory stosuje się w celu
a) zatykania porów skał w strefie bardziej przepuszczalnej.
b) zatykania porów skał w strefie mniej przepuszczalnej.
c) blokowania kwasu w porach i szczelinach skał złożowych.
d) zmniejszania szybkości reakcji kwasu ze skałą złożową.

18. Czas reakcji cieczy kwasującej ze skałą złożową może wynosić od kilku
   a) do kilkunastu minut.
   b) minut do kilkudziesięciu godzin.
   c) do kilkudziesięciu godzin.
   d) do kilkunastu dni.

19. Jeżeli na jeden metr miąższości warstwy złożowej należy użyć 1,5 m^3 cieczy kwasującej to na 10 m miąższości warstwy złożowej należy użyć
   a) 15 000 litrów.
   b) 1500 litrów.
   c) 150 litrów.
   d) 15 litrów.

20. Urządzenie sterująco – rejestrujące VAN służy do sterowania i rejestracji
   a) parametrów wydobycia ropy naftowej.
   b) zabiegu kwasowania lub hydraulicznego szczelinowania.
   c) parametrów wiercenia.
   d) parametrów zabiegu szczelinowania przy użyciu prochowych generatorów ciśnienia

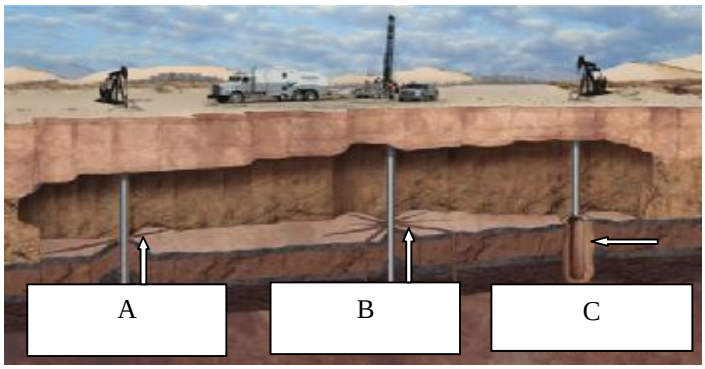
21. Zdjęcie obok przedstawia
   a) manifold.
   b) agregat pompowy.
   c) piaskomieszałkę.
   d) transporter piasku.

22. Zjawiskiem wykorzystywanym przy wykonywaniu zabiegu torpedowania jest
   a) deflagracja.
   b) wybuch.
   c) rozpuszczanie.
   d) wydzielanie ciepła.

23. Przy wykonywaniu zabiegu torpedowania przybitkę stosuje się w celu
   a) zabezpieczenia górnej części odwiertu przed falą uderzeniową.
   b) przemieszczenia fali uderzeniowej do górnej części odwiertu.
   c) zabezpieczenia dolnej części odwiertu przed falą uderzeniową.
   d) przemieszczenia fali uderzeniowej do dolnej części odwiertu.

24. Torpedowanie eksploatacyjne stosuje się
   a) przy likwidacji otworu wiertniczego.
   b) w pracach ratunkowych na otworze wiertniczym.
   c) do otwarcia połączeń miedzy odwiertem a złożem.
   d) jako jedną z metod intensyfikacji przypływu.

25. Na rysunku literą B zaznaczono efekt



a) hydraulicznego szczelinowania.
b) kwasowania.
c) szczelinowania przy użyciu prochowych generatorów ciśnienia.
d) torpedowania.

26. Wysokość szczeliny powstałej podczas zabiegu szczelinowania z użyciem prochowych generatorów ciśnienia jest równa
a) ½ długości generatora ciśnienia.
b) podwójnej długości generatora.
c) długości generatora.
d) 10 m.

27. Przy wygrzewaniu odwiertu metodą termochemiczną wykorzystuje się reakcję
a) endotermiczną.
b) redukcji i utlenienia.
c) egzotermiczną.
d) spalania.

28. Podczas reakcji przy zabiegu wygrzewania termochemicznego z udziałem magnezu i kwasu solnego wytwarza się ciepło w ilości 19518,861 kJ/1 kg Mg.
Z reakcji 0,5 kg magnezu otrzymamy
a) 9759430 J.
b) 9759,43 J.
c) 97,5943 J.
d) 9,75943 J.

29. Podczas wygrzewania elektrycznego podgrzewa się ropę naftową w odwiercie do około 65°C w celu
a) odparowania wody złożowej ze złoża.
b) odgazowania ropy naftowej.
c) nie dopuszczenia do tworzenia się emulsji ropy z wodą.
d) roztopienia parafiny.

30. Zapis $Q_G = Q_R + Q_P + Q_S$ przedstawia
a) ilość gazu w poduszce gazowej.
b) ilość gazu rozpuszczonego w ropie naftowej.
c) bilans ciepła przy wygrzewaniu elektrycznym.
d) wykładnik ropno-gazowy.

KARTA ODPOWIEDZI

Imię i nazwisko .....

Wykonywanie zabiegów intensyfikacji wydobycia 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	
26	a	b	c	d	
27	a	b	c	d	
28	a	b	c	d	
29	a	b	c	d	
30	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. Raczkowski R.: Zabiegi intensyfikacji wydobycia. Pokaz multimedialny. OSZGNiG, Sanok
4. Raczkowski R., Kasza P., Król A.: Badania laboratoryjne, projektowanie i wykonanie zabiegów stymulacyjnych z zastosowaniem nowoczesnych technologii. II Konferencja Naukowo-Techniczna PGNiG S.A.o/ZRG Krosno, SITPNiG o/Krosno, Bóbrka 2001
5. Szostak L.: Dowiercanie i udostępnianie złóż ropy i gazu. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1971
6. Uliasz M., Herman Z.: Ciecze robocze do zatłaczania odwiertów przed zabiegami intensyfikacyjnymi. II Konferencja Naukowo-Techniczna PGNiG S.A. o/ZRG Krosno, SITPNiG o/Krosno, Bóbrka 2001
7. Wilk Z.: Eksploatacja złóż płynnych surowców mineralnych. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1969
8. www.thegasgun.com/index.htm