MINISTERSTWO EDUKACJI
NARODOWEJ

Henryk Rospond

Wydobywanie soli kamiennej i siarki otworami wiertniczymi 311[14].Z1.07

Poradnik dla ucznia

Wydawca
Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy
Radom 2007

„Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego”

Recenzenci:
doc. dr inż. Zdzisław Herman
dr inż. Wacław Chrząszcz

Opracowanie redakcyjne:
mgr inż. Henryk Rospond

Konsultacja:
mgr inż. Teresa Sagan

Poradnik stanowi obudowę dydaktyczną programu jednostki modułowej 311[14].Z1.07 „Wydobywanie soli kamiennej i siarki otworami wiertniczymi”, zawartego w modułowym programie nauczania dla zawodu technik górnictwa otworowego.

Wydawca
Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2007

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie 3
2. Wymagania wstępne 5
3. Cele kształcenia 6
4. Materiał nauczania 7
4.1. Warunki występowania oraz właściwości soli kamiennej i solanki 7
4.1.1. Materiał nauczania 7
4.1.2. Pytania sprawdzające 14
4.1.3. Ćwiczenia 14
4.1.4. Sprawdzian postępów 15
4.2. Warunki występowania i właściwości siarki 16
4.2.1. Materiał nauczania 16
4.2.2. Pytania sprawdzające 20
4.2.3. Ćwiczenia 20
4.2.4. Sprawdzian postępów 21
4.3. Konstrukcja otworów do wydobywania siarki i soli kamiennej 22
4.3.1. Materiał nauczania 22
4.3.2. Pytania sprawdzające 26
4.3.3. Ćwiczenia 26
4.3.4. Sprawdzian postępów 27
4.4. Technologia ługowania soli kamiennej z wysadów solnych 28
4.4.1. Materiał nauczania 28
4.4.2. Pytania sprawdzające 35
4.4.3. Ćwiczenia 35
4.4.4. Sprawdzian postępów 36
4.5. Technologia eksploatacji siarki metodą otworową 38
4.5.1. Materiał nauczania 38
4.5.2. Pytania sprawdzające 42
4.5.3. Ćwiczenia 42
4.5.4. Sprawdzian postępów 43
5. Sprawdzian osiągnięć 44
6. Literatura 49

1. WPROWADZENIE

Poradnik ten pomoże Ci w przyswajaniu wiedzy i kształtowaniu umiejętności z zakresu eksploatacji soli kamiennej i siarki za pomocą otworów wiertniczych, ujętych w modułowym programie nauczania dla zawodu technik górnictwa otworowego.

Do nauki otrzymujesz Poradnik, który zawiera:

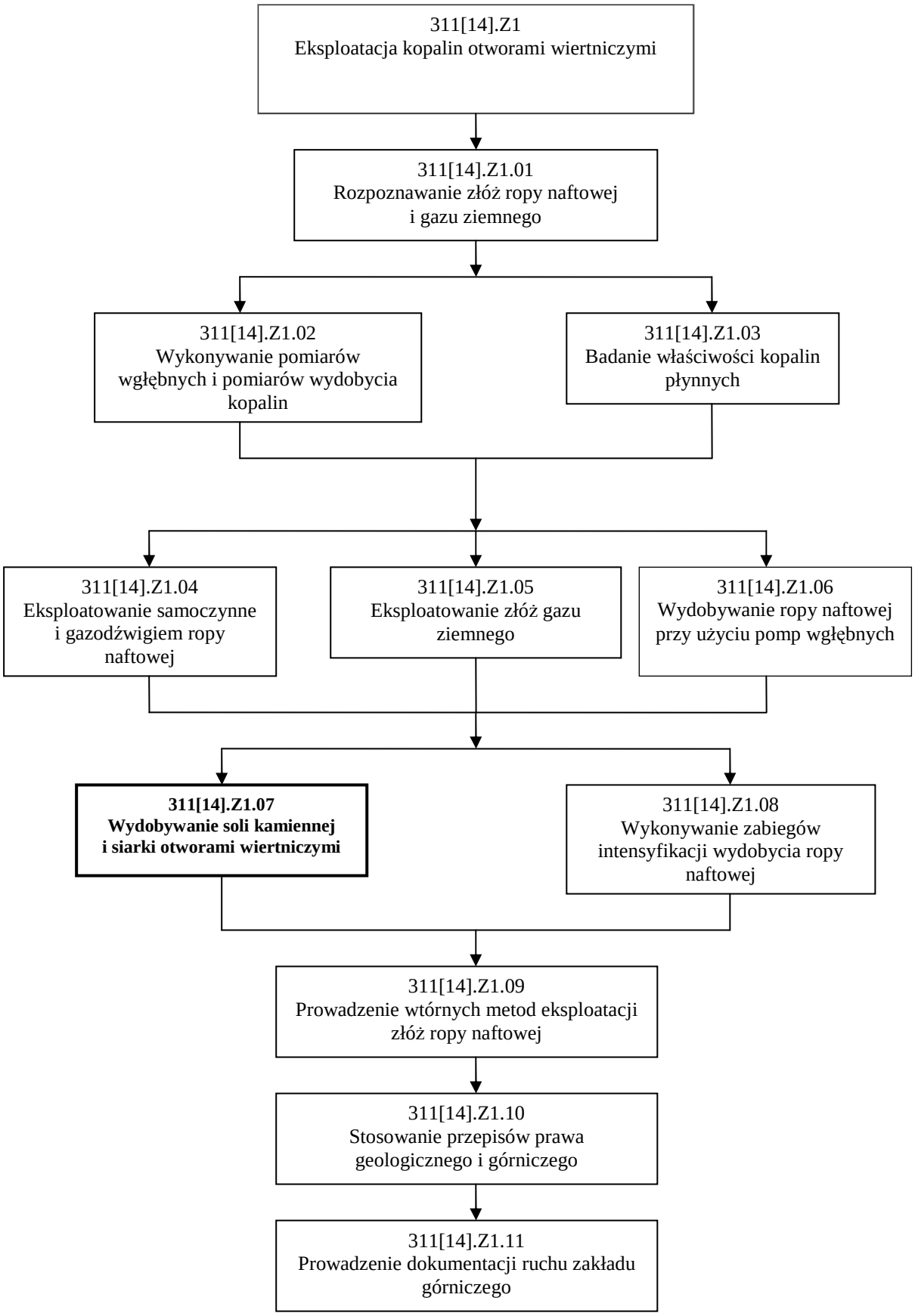
- wymagania wstępne – wykaz umiejętności, jakie powinieneś posiadać przed przystąpieniem do nauki w tej jednostce modułowej,
- cele kształcenia – wykaz umiejętności jakie ukształtujesz podczas pracy z tym poradnikiem,
- materiał nauczania – czyli zestaw wiadomości, które powinieneś posiadać, aby samodzielnie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

W materiale nauczania zostały przedstawione zagadnienia dotyczące:

- warunków występowania złóż soli kamiennej i siarki w aspekcie ich eksploatacji za pomocą otworów wiertniczych, właściwości soli kamiennej, solanki i siarki, a także zastosowania soli kamiennej i siarki w gospodarce,
- konstrukcji otworów wiertniczych, umożliwiających ługowanie soli kamiennej z wysadów solnych oraz wydobywanie siarki w postaci płynnej,
- technologii wydobywania soli kamiennej i siarki, jako surowców stałych, za pomocą otworów wiertniczych.

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

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



Schemat układu jednostek modułowych

2. WYMAGANIA WSTĘPNE

Przystępując do realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- posłużyć się podstawowymi pojęciami z zakresu górnictwa otworowego,
- posłużyć się podstawowymi pojęciami z zakresu mineralogii i geologii złożowej,
- posłużyć się podstawowymi pojęciami z zakresu wiertnictwa,
- rozróżniać konstrukcje odwiertów,
- rozróżniać podstawowe rodzaje struktur geologicznych,
- pisać wzory strukturalne i strukturalne uproszczone związków chemicznych,
- przeliczać jednostki różnych wielkości fizycznych,
- wyrażać i obliczać stężenia roztworów,
- pisać reakcje spalania różnych palnych pierwiastków i związków chemicznych,
- sporządzać zestawienia tabelaryczne,
- sporządzać wykresy liniowe, słupkowe, diagramy kołowe, itp.,
- korzystać z nomogramów z wykorzystaniem interpolacji,
- wykonywać podstawowe obliczenia z zakresu hydrostatyki i hydrauliki,
- zinterpretować podstawowe prawa hydrauliki,
- posługiwać się dokumentacją techniczną,
- przestrzegać zasad bezpieczeństwa i higieny pracy, ochrony przeciwpożarowej i ochrony środowiska,
- korzystać z różnych źródeł informacji,
- oceniać własne możliwości w działaniach indywidualnych i zespołowych,
- zastosować zasady współpracy w grupie,
- uczestniczyć w dyskusji i prezentacji.

3. CELE KSZTAŁCENIA

W wyniku realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- określić warunki ługowania soli kamiennej otworami wiertniczymi,
- rozpoznać na przekrojach geologicznych wysady solne,
- scharakteryzować konstrukcję odwiertu do eksploatacji solanki z wysadów solnych,
- określić właściwości solanki,
- wyjaśnić budowę głowicy odwiertu do ługowania soli kamiennej,
- sklasyfikować systemy eksploatacji soli kamiennej otworami wiertniczymi,
- zinterpretować schematy ługowania ze względu na obieg cieczy w otworze,
- scharakteryzować technologię ługowania komór pojedynczych, pionowych,
- obliczyć ciśnienie głowicowe tłoczenia wody do odwiertu oraz opory przepływu w rurach,
- określić sposoby rozmieszczenia odwiertów na złożu (wysadzie solnym),
- określić rodzaje urządzeń napowierzchniowych do ługowania soli kamiennej,
- określić warunki eksploatacji siarki otworami wiertniczymi,
- rozróżnić rodzaje otworów do eksploatacji siarki,
- scharakteryzować uzbrojenie odwiertu do podziemnego wytopu siarki,
- scharakteryzować technologię podziemnego wytopu siarki (PWS),
- objaśnić schemat pola górniczego podczas wytopu siarki,
- określić parametry technologiczne procesu PWS,
- wskazać zagrożenia dla człowieka i środowiska naturalnego związane z eksploatacją soli kamiennej i siarki,
- określić zasady postępowania w razie wypadku podczas ługowania soli kamiennej i eksploatacji siarki,
- zastosować przepisy bezpieczeństwa, higieny pracy i ochrony środowiska przy wydobywaniu siarki i soli kamiennej.

4. MATERIAŁ NAUCZANIA

4.1. Warunki występowania oraz właściwości soli kamiennej i solanki

4.1.1. Materiał nauczania

Sól kamienna jest skałą osadową pochodzenia chemicznego, która powstała w wyniku wytrącania się halitu (chlorku sodu) podczas odparowania (ewaporacji) wody z mórz i słonych jezior. Często występuje razem z gipsem, anhydrytem oraz solami potasowo-magnezowymi.

W Polsce sole kamienne o znaczeniu przemysłowym należą do dwóch geologicznych formacji solonośnych:

- cechsztyńskiej (górny perm),
- mioceńskiej (trzeciorzęd).

Utwory solne cechsztynu występują na obszarze Niżu Polskiego, gdzie zalegają również na głębokościach dających możliwość ich eksploatacji. Są to rejony:

1) środkowopolski, obejmujący przede wszystkim Kujawy, gdzie sole występują na głębokości kilkuset metrów,
2) przedsudecki, rozciągający się od okolic Nowej Soli do Głogowa i Legnicy,
3) nadbałtycki, rozciągający się od Łeby po Zatokę Pucką.

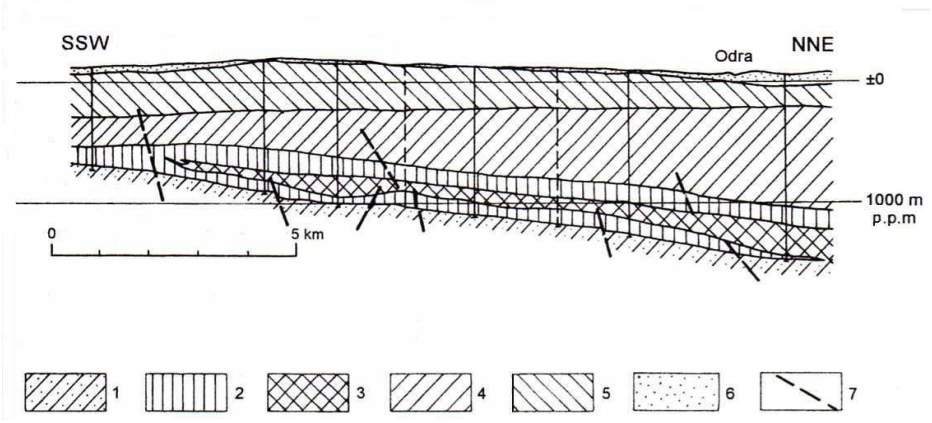
Utwory miocenu występują na Przedgórzu Karpat, gdzie rozciągają się od Baryczy i Wieliczki na zachodzie, po Bochnię i Tarnów na wschodzie.

Ze względu na przestrzenne ukształtowanie złoża oraz jego tektoniczny stosunek do otaczających skał, złoża soli kamiennej można podzielić na dwie grupy [5]:

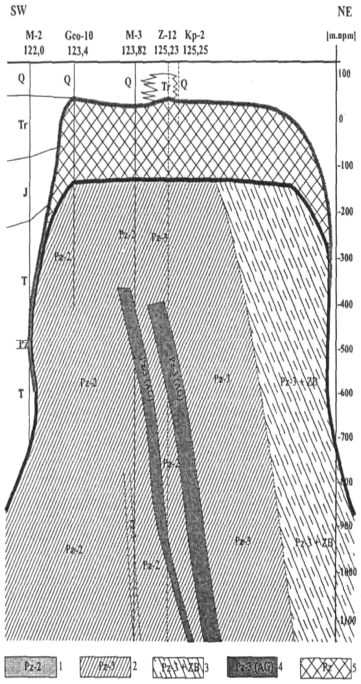
1) złoża zalegające zgodnie pośród otaczających skał – są to złoża pokładowe, np.: złoże Sieroszowice z Monokliny Przedsudeckiej, które występuje w nadkładzie złoża rud miedzi (rys. 1), a także złoża Łeba i Zatoka Pucka,
2) złoża występujące niezgodnie pośród otaczających skał, gdy utwory solne uległy silnym deformacjom tektonicznym, takim jak sfałdowania czy diapiryzm. Do tej grupy zaliczamy:
   - złoża pokładowe zaburzone tektonicznie (miocen), do których zaliczamy złoże Barycz, Wieliczka, Bochnia,
   - wysady solne, występujące na Kujawach, które tworzą złoża Kłodawa, Mogilno (rys. 2), Góra, Wapno (rys. 3).

Wysad solny (diapir, egzemat solny) – jest to forma występowania złoża, które powstało pod wpływem ruchów tektonicznych przez wciśnięcie skał starszych w leżące nad nimi utwory młodsze. Wysady solne tworzą wyłącznie skały, które pod wpływem wysokich ciśnień staję się plastyczne: przeważnie jest to sól lub ił. Często górna partia wysadów przykryta jest czapą, powstałą w wyniku wyługowania rozpuszczalnych związków. Dla wysadów solnych czapę tworzą głównie gipsy (rys. 2).

Obecnie sól kamienną wydobywa się z kopalni szybowej Kłodawa, a także z nadkładu złoża rudy miedzi Sieroszowice. Pozostałe kopalnie wydobywają solankę, z której poprzez odsalanie uzyskuje się sól kamienną. W zagłębiu mioceńskim na Przedgórzu Karpat eksploatację złóż soli wstrzymano całkowicie.

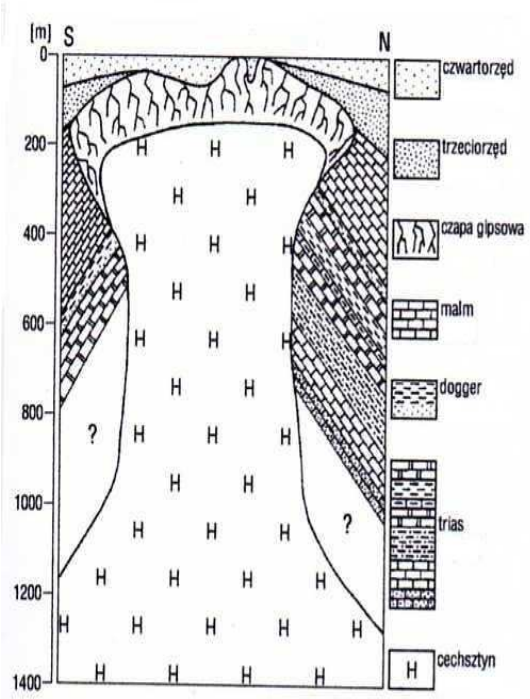


Rys. 1. Przekrój przez pokładowe złoże soli kamiennej Sieroszowice:
1 – czerwony spągowiec, 2 – formacja cechsztyńska, 3 – pokład najstarszej soli kamiennej, 4 – trias, 5 – trzeciorzęd, 6 – czwartorzęd, 7 – dyslokacje uskokowe [5, s. 20]



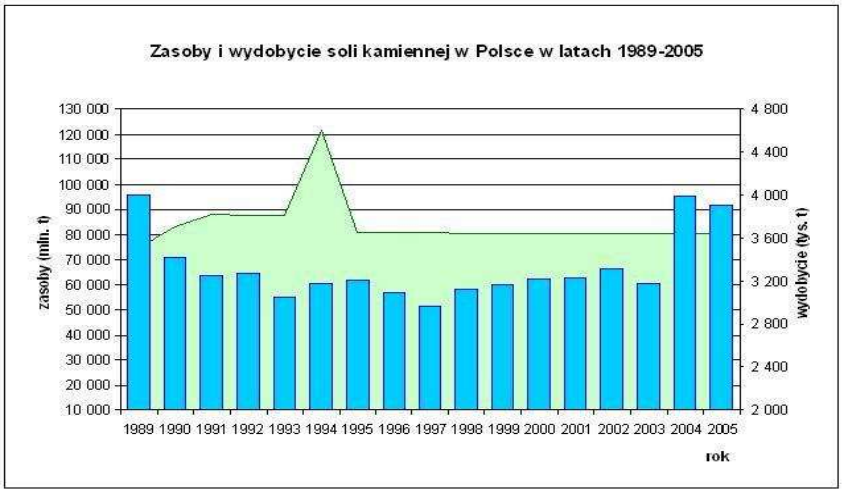
Rys. 2. Przekrój przez wysad solny Mogilno [12]

1 – Pz-2 – sole starsze, 2 – Pz-3 – sole młodsze, 3 – Pz-3+ZB – sole młodsze + zubry, 4 – Pz-3(AG) – sole młodsze (anhydryt górny), 5 – Pz – czapa i płaszcz wysadu



Rys. 3. Przekrój przez wysad solny Wapno [7, s. 65]

W 2005 r. łączne wydobycie w Polsce soli kamiennej wyniosło ok. 3 900 tys. ton (rys. 4). Ponadto z odsalania wód złożowych, pochodzących z odwadniania kopalń węgla kamiennego, produkuje się ok. 65 tys. ton warzonej soli kamiennej rocznie (Zakład Odsalania Dębieńsko).



Rys. 4. Zasoby i wydobycie soli kamiennej w Polsce [12]

Skały solonośne są zespołami minerałów solnych, które powstały pierwotnie w procesie sedymentacji chemicznej poprzez odparowanie naturalnych roztworów solnych. Pod względem składu chemicznego minerały te stanowią głównie chlorki i siarczany sodu, potasu, magnezu i wapnia. Spośród kilkudziesięciu minerałów solnych, największe znaczenie, jako solne minerały skałotwórcze, ma zaledwie kilka z nich (tabela 1).

Tabela 1. Pospolite skałotwórcze minerały solne [5, s.14]

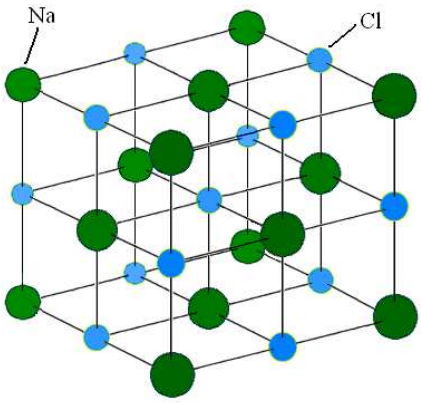
Nazwa i wzór chemiczny	**Barwa**	**Twardość wg. skali Mohsa**	**Gęstość [kg/m^3]**	**Rozpuszczalność**	**Uwagi**
Halit NaCl	Bezbarwny, szary, żółtawy, pomarańczowy, czerwony	2,0	2,17	Łatwo rozpuszczalny	Smak słony
Sylwin KCl	Bezbarwny, czerwony, biały	2,2	1,99	Łatwo rozpuszczalny	Smak słono-gorzki
Karnalit $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$	Biały, żółtawy, czerwony	2,7	1,60	Bardzo łatwo rozpuszczalny	Smak ostro-gorzki Higroskopijny
Kizeryt $MgSO_4 \cdot H_2O$	Bezbarwny, biały, bladożółty	3,7	2,57	Rozpuszcza się powoli	Higroskopijny
Anhydryt $CaSO_4$	Bezbarwny, szary, niebieskawy	3,8	2,96	Nierozpuszczalny	
Gips $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Bezbarwny, biały, szary, żółty	2,0	2,32	Bardzo trudno rozpuszczalny	
Polihalit $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot$ 2H2O	Bezbarwny, szary, żółtawy, czerwony	3,6	2,76	Bardzo trudno rozpuszczalny	
Kainit $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$	Biały, czerwony, żółtawy	3,0	2,13	Rozpuszczalny	Smak słono-gorzki

W solach, obok skałotwórczych minerałów solnych, występują minerały akcesoryczne oraz minerały niesolne, jako domieszki. Najczęstszą grupę domieszek stanowią minerały ilaste.

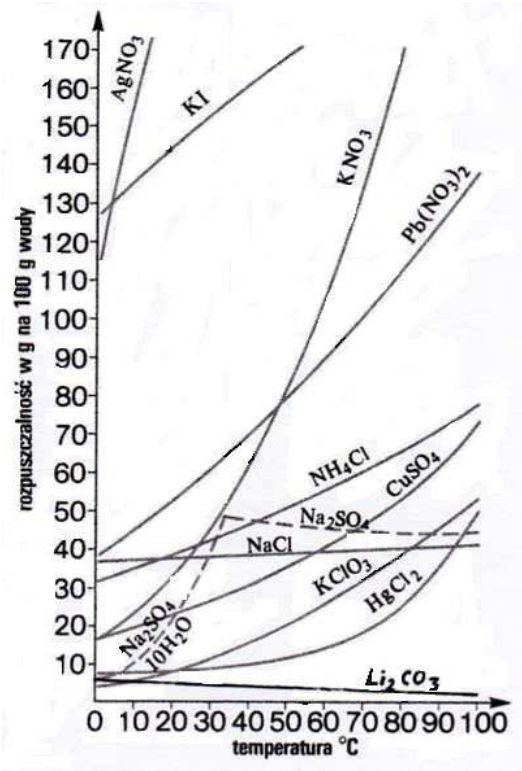
W zależności od proporcji objętości halitu i iłu w skale, wyróżnia się [5]:

- iły solne, które zawierają od kilku do 15% halitu,
- zubry, zawierają 15 – 85% halitu
- sole ilaste, zawierają ponad 85% halitu.

Sól kamienna składa się głównie z minerału o nazwie halit, który jest prawie czystym chlorkiem sodu – 99,1%. Halit jest minerałem, który krystalizuje w układzie regularnym (rys. 5), posiada łupliwość trójkierunkową, przełam muszlowy, rysę białą i połysk szklisty, który słabnie po wchłonięciu wody. Sól kamienna ma strukturę ziarnistą, jest skałą bardzo miękką, plastyczną. [10].



Rys. 5. Układ krystalograficzny NaCl [11]



Rys. 6. Krzywe rozpuszczalności soli [1, s. 121]

Chlorek sodu – NaCl

Chlorek sodu jest nieorganicznym związkiem chemicznym, solą kwasu chlorowodorowego i sodu, która powstaje wg. reakcji:

$$2Na + 2HCl \rightarrow 2\ NaCl + H_2$$

Jest związkiem bardzo dobrze rozpuszczalnym w wodzie, jednak osiąga stosunkowo niewielkie stężenie. Rozpuszczalność NaCl w niewielkim stopniu zależy od temperatury, co oznacza, że rozpuszcza się dobrze zarówno w ciepłej jak i zimnej wodzie (rys. 6). Rozpuszczalność wybranych związków chemicznych w wodzie przedstawia tabela 2. Właściwości chlorku sodu przedstawia tabela 3.

Tabela 2. Rozpuszczalność związków chemicznych w wodzie [6, s. 21]

Substancja rozpuszczana		Rozpuszczalność substancji [g/100 g wody]					
Nazwa	**Wzór**	**0°C**	**20°C**	**40°C**	**60°C**	**80°C**	**100°C**
Azotan srebra	$AgNO_3$	127	210	318	446	585	719
Wodorotlenek wapnia	$Ca(OH)_2$	0,17	0,16	0,13	0,11	0,09	0,07
Chlorek potasu	KCl	28,1	34,2	40,2	45,9	51,2	56,2
Węglan litu	Li_2CO_3	1,53	1,35	1,17	1,00	0,85	0,72
Chlorek sodu	NaCl	35,6	35,9	36,4	37,1	38,0	39,0
Wodorowęglan sodu	$NaHCO_3$	6,89	9,60	12,7	16,2	19,9	23,8
Siarczan sodu	Na_2SO_4	10,8	57,1	48,2	45,2	43,3	42,2
Sacharoza	$C_{12}H_{22}O_{11}$	179	204	238	288	363	488
Glukoza	$C_6H_{12}O_6$	49	91	161	277	441	-

Tabela 3. Właściwości chlorku sodu [11]

Nazwa systematyczna	Chlorek sodu
Wzór chemiczny	NaCl
Masa molowa	58,44 g/mol
Stan skupienia	Ciało stałe
Gęstość	2170 kg/m^3 (2,17 g/cm^3)
Rozpuszczalność w wodzie	360 g/dm^3
Temperatura topnienia	801°C

Stężenie i gęstość solanki

Solanką nazywamy roztwór chlorku sodu w wodzie o dużym lub bardzo dużym stężeniu. W hydrogeologii i balneologii solanką nazywamy roztwór soli mineralnych w wodzie o zawartość soli powyżej 35 g/dm^3.

Stężenie solanki otrzymywanej w procesie ługowania soli kamiennej za pomocą otworów wiertniczych określa się jako:

1) stężenie masowo – objętościowe, które określa masę soli zawartej w objętości solanki i wyraża się go za pomocą wzoru:

$$C = \frac{m_s}{V_r}$$

gdzie:

C – stężenie masowo-objętościowe [kg/m^3],

m_s – masa rozpuszczonej soli (z domieszkami) [kg],

V_r – objętość roztworu (solanki) [m^3],

2) stężenie masowe procentowe, określa masę rozpuszczonej soli w stosunku do masy solanki i wyrażone jest wzorem:

$$C_p = \frac{m_s}{m_r} \cdot 100\%$$

gdzie:

C_p – stężenie masowe procentowe [wielkość bezwymiarowa – lub w %]],

m_s – masa rozpuszczonej soli (z domieszkami) [kg],

V_r – masa roztworu (solanki) [kg].

Skład roztworu wodnego określa się również poprzez stężenie molowe. Jest to liczba moli (gramocząsteczek) substancji, jaka jest rozpuszczona w 1 dm^3 rozpuszczalnika. Stężenie molowe wyraża się wzorem:

$$c_m = \frac{n}{V}$$

gdzie:

c_m – stężenie molowe [mol/dm^3],

n – liczba moli substancji,

V – objętość rozpuszczalnika [dm^3].

Gęstość solanki

Gęstość solanki wyraża masę jej objętości, którą określamy ze wzoru:

$$\rho = \frac{m_r}{V_r}$$

gdzie:

ρ – gęstość solanki [kg/m^3],

m_r – masa roztworu (solanki) [kg],

V_r – objętość roztworu (solanki) [m^3].

Gęstość solanki zależy od:

- ilości rozpuszczonej w niej soli (chlorku sodu),
- temperatury – ze wzrostem temperatury gęstość solanki maleje (rośnie jej objętość),
- ciśnienia – ze wzrostem ciśnienia gęstość solanki nieznacznie rośnie ze względu na jej ściśliwość,
- zawartości i rodzaju rozpuszczonych domieszek, np.: soli potasu i magnezu.

Gęstość solanki jest zawsze większa od gęstości wody i wynosi powyżej 1000 kg/m^3.

Zjawisko kontrakcji

Zjawisko to występuje podczas procesu ługowania skał solnych i polega na tym, że woda i skała solna mają większą łączną objętość niż powstała z nich solanka. Rozpuszczona sól zajmuje w solance mniejszą objętość niż miała poprzednio w strukturze skały solnej. Efektem kontrakcji jest fakt, że w procesie ługowania komór solnych objętość uzyskanej solanki jest o kilka procent mniejsza od sumy objętości wody technologicznej wtłaczanej do komory i skały solnej, co można wyrazić równaniem [5]:

Objętość rozpuszczonej soli + objętość wody > objętość powstałej solanki

W związku ze zjawiskiem kontrakcji stosuje się pojęcie gęstości soli rozpuszczonej w solance, która określa masę rozpuszczonej soli przypadającej na jednostkę objętości, jaką sól pozornie zajmuje w roztworze [5];

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_r - V_w}$$

gdzie:

ρ_s – gęstość soli rozpuszczonej w solance [kg/m^3],

m_s – masa rozpuszczonej soli (z domieszkami) [kg],

V_r – objętość roztworu (solanki) [m^3],

V_w – objętość wody [m^3].

Zależności między gęstością i stężeniem solanki

Pomiędzy stężeniem i gęstością solanki istnieją następujące zależności [5]:

$$C = 0{,}01 \cdot \rho \cdot C_p$$

$$C = \rho_s \frac{\rho - \rho_w}{\rho_s - \rho_w}$$

$$\rho = \rho_w + C\left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}\right)$$

$$\rho_s = \frac{\rho_w}{1 - \frac{100}{C_p}\left(1 - \frac{\rho_w}{\rho}\right)}$$

gdzie:

C, C_p, ρ, ρ_s – jak w powyższych wzorach,

ρ_w – gęstość wody, którą w przybliżonych obliczeniach przyjmuje się 1000 kg/m^3.

Zastosowanie soli kamiennej

Sól kamienna (sól kuchenna) jest głównym źródłem jonów Na^+ i Cl^- dla ludzi i organizmów zwierzęcych. Jony sodu odgrywają bardzo ważną rolę w wielu procesach fizjologicznych, od gospodarki wodnej, przez utrzymywanie stałego ciśnienia krwi, po działanie układu nerwowego. Roztwór 0,9% chlorku sodu w wodzie, nazywany solą fizjologiczną, jest używany w medycynie jako płyn infuzyjny.

W przemyśle spożywczym sól kamienna stosowana jest jako przyprawa i konserwant wielu wyrobów, w tym produktów mięsnych.

Stosowana jest też na szeroką skalę w przemyśle chemicznym do produkcji:

- kwasu solnego, sody i chloru,
- tworzyw sztucznych,

a także w przemyśle włókienniczym, skórzanym, perfumeryjnym, rafineryjnym.

Sole potasowe zużywane są w 90% do produkcji nawozów sztucznych, a także w przemyśle farmaceutycznym, fotografice, pirotechnice.

4.1.2. Pytania sprawdzające

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

1. Jakiego pochodzenia jest sól kamienna?
2. W jakich rejonach Polski występują złoża soli kamiennej?
3. Co to są i w jaki sposób powstają wysady solne?
4. Jaką metodą można eksploatować sól kamienną z wysadów solnych?
5. Jakie minerały zaliczamy do skałotwórczych minerałów solnych?
6. Kiedy skały zaliczamy do iłów solnych, zubrów i soli ilastych?
7. Jakie właściwości posiada minerał halit?
8. Od czego zależy rozpuszczalność soli w wodzie?
9. Jaki jest wpływ temperatury na rozpuszczalność soli kamiennej w wodzie?
10. Jak definiuje się stężenie masowo-objętościowe, a jak procentowe solanki?
11. W jakich jednostkach wyraża się stężenia roztworów?
12. Od czego i w jaki sposób zależy gęstość solanki?
13. Ile wynosi gęstość solanki?
14. Co to jest i na czym polega zjawisko kontrakcji?
15. Jakie jest zastosowanie soli kamiennej?

4.1.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Korzystając ze Szkolnego poradnika chemika, małych tablic chemicznych a także z informacji zawartych w niniejszym Poradniku sporządź, dla 10 wybranych soli, wykresy – krzywe rozpuszczalności soli w wodzie.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) wybrać, w porozumieniu z nauczycielem, 10 soli, które są rozpuszczalne w wodzie,
2) zamieścić dane rozpuszczalności w przygotowanej w zeszycie tabeli rozpuszczalności dla wybranych substancji,
3) sporządzić na dwóch oddzielnych kartkach dwa układy współrzędnych zależności rozpuszczalności od temperatury,
4) wykonać wykresy – po 5 krzywych na każdym układzie współrzędnych,
5) zaprezentować wyniki swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- Szkolny poradnik chemika,
- Poradnik dla ucznia,
- małe tablice chemiczne,
- przybory do rysowania i pisania,
- zeszyt.

Ćwiczenie 2

Korzystając z informacji zawartych w Poradniku, a także z tablic chemicznych i Szkolnego poradnika chemicznego oblicz:

- stężenie masowo-objętościowe, procentowe i molowe roztworu chlorku sodu w wodzie,
- gęstość solanki,

dla wodnego roztworu, powstałego po rozpuszczeniu 30 kg soli kamiennej w 150 litrach wody. Temperatura roztworu wynosi 20^oC. Gęstość wody w temperaturze 20^oC wynosi 998,23 kg/m^3.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) obliczyć kolejno stężenie masowo-objętościowe roztworu i stężenie procentowe,
2) obliczyć liczbę moli chlorku sodu,
3) obliczyć stężenie molowe roztworu,
4) określić gęstość soli rozpuszczonej w wodzie,
5) obliczyć na podstawie powyższych danych, gęstość solanki (roztworu NaCl),
6) zaprezentować wyniki swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- Szkolny poradnik chemika,
- Poradnik dla ucznia,
- małe tablice chemiczne,
- przybory do pisania,
- kalkulator,
- zeszyt.

4.1.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) wskazać na mapie Polski rejony występowania soli kamiennej?	☐	☐
2) nazwać minerały tworzące złoża soli, podać ich wzory sumaryczne, a także określić ich właściwości?	☐	☐
3) określić właściwości chlorku sodu?	☐	☐
4) wykazać różnicę między wysadem solnym a złożem pokładowym soli?	☐	☐
5) sporządzić krzywe rozpuszczalności soli w wodzie?	☐	☐
6) podać przykłady soli dobrze i trudno rozpuszczalnych w wodzie?	☐	☐
7) obliczyć stężenie wodnego roztworu soli kamiennej?	☐	☐
8) obliczyć gęstość solanki?	☐	☐
9) wyjaśnić, na czym polega zjawisko kontrakcji?	☐	☐
10) podać przykłady zastosowania soli kamiennej?	☐	☐

4.2. Warunki występowania i właściwości siarki

4.2.1. Materiał nauczania

Siarka występuje w skorupie ziemskiej zarówno jako siarka rodzima, jak i w postaci wielu minerałów. Zaliczamy do nich:

1) siarczki – wśród których najważniejszymi są:
   - galena – PbS,
   - piryt – FeS_2,
   - chalkopiryt – $CuFeS_2$,
   - sfaleryt – ZnS,
2) siarczany – wśród których największe znaczenie posiadają:
   - gips – $CaSO_4 \cdot 2H_20$,
   - anhydryt – $CaSO_4$,
   - baryt – $BaSO_4$,
   - kizeryt – $MgSO_4 \cdot H_20$.

Siarka pod względem rozpowszechnienia pierwiastków w skorupie ziemskiej zajmuje 16 miejsce [11]. W stanie rodzimym bogate złoża siarki występują w Polsce (okolice Tarnobrzega), na Sycylii, w USA (Luizjana i Teksas), w Japonii, w Turkmenistanie i Uzbekistanie.

Wyróżnia się dwie grupy genetyczne złóż siarki rodzimej [2]:

1) endogeniczne (wulkanogeniczne), związane z działalnością gazów zawierających H_2S, SO_2 oraz pary siarki, które wskutek łączenia się, utleniania i krystalizacji przy powierzchni ziemi, tworzą wulkaniczne siarkowe masywy autochtoniczne,
2) endogeniczne, które można podzielić na: wietrzeniowe, termogeniczne i biochemiczne.

Duże znaczenie mają zwłaszcza złoża biochemiczne, które powstały w wyniku redukcji siarczanów wapnia (gipsu) przez mikroorganizmy, przy udziale węglowodorów, bądź w wyniku metasomatozy gipsu [12]. Metasomatoza jest to częściowe lub całkowite zastąpienie substancji mineralnej w skale przez inną pod działaniem cieczy lub gazów przenikających porami skalnymi.

Zawartość siarki w skale może maksymalnie dochodzić do 70%, średnio 25 – 30%. Ze względu na stopień siarkowania, rudy siarkowe można podzielić na [2]:

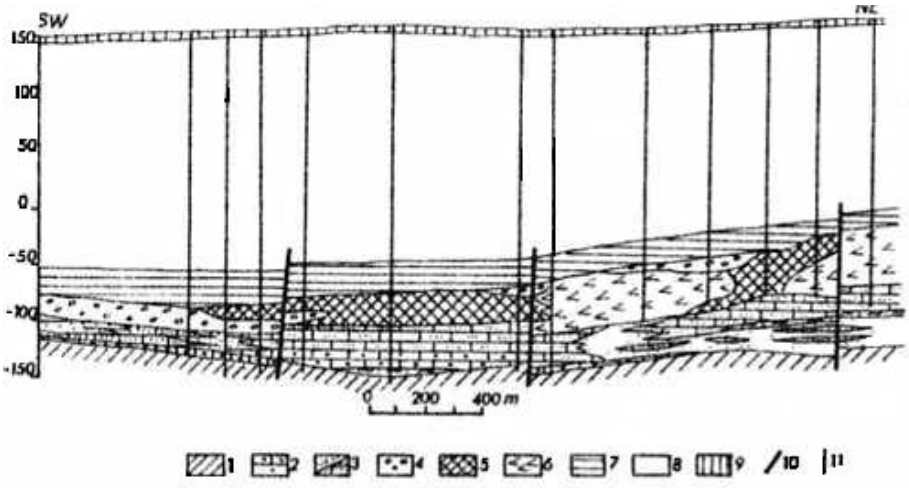
- bogate, gdy zawierają ponad 25% siarki,
- średnie, o siarkowaniu od 10 – 25%,
- ubogie, siarkowanie poniżej 10%,
- nieprzemysłowe, zawartość siarki poniżej 6%.

Z punktu widzenia eksploatacji otworowej rudy siarkowe powinny charakteryzować się, co najmniej 20 % zawartością siarki.

Polskie złoża siarki rodzimej są związane z występowaniem gipsów i wapieni, z których powstały i zalegają na głębokości od 70 do 370 m, tworząc pokłady o miąższości do 13 m. Złoża siarki występują w północnej części zapadliska przedkarpackiego w rejonie Tarnobrzega (złoża: Machów, Jeziórko, Baranów, Osiek), Staszowa (złoża: Solec, Grzybów) oraz w rejonie Lubaczowa (złoże Basznia). Są to utwory wieku trzeciorzędowego (miocen, torton), powstałe głównie w wapieniach pogipsowych, w postaci wypełnień drobnych kawern i szczelin.

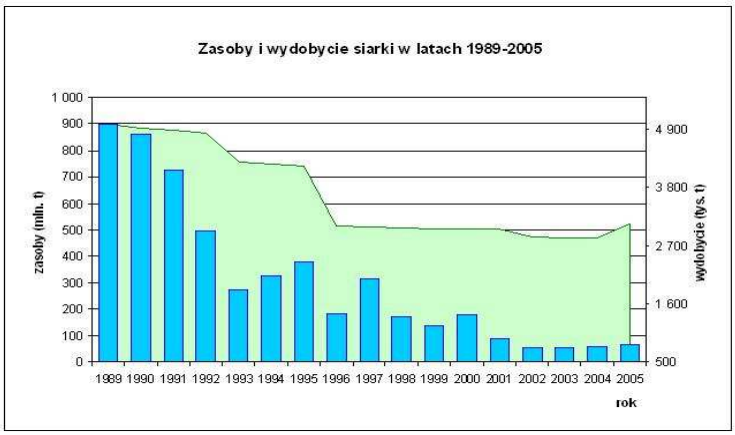
Do niedawna Polska była jednym z głównych światowych producentów siarki. Jednak odzysk siarki z zasiarczonego gazu ziemnego i ropy naftowej (znacznie tańszy niż wydobycie metodą odkrywkową) spowodował duży spadek znaczenia złóż siarki rodzimej. Stąd

konieczność likwidacji większości polskich kopalń siarki (kopalnia odkrywkowa „Machów” i inne). W chwili obecnej wydobycie siarki rodzimej w Polsce prowadzone jest tylko ze złoża Osiek (pomiędzy Staszowem a Baranowem Sandomierskim), gdzie eksploatacja odbywa się metodą otworową (rys 7). Prowadzony jest również odzysk siarki ze złóż gazu ziemnego na Niżu Polskim (złoża: Zielin, BMB – Barnówko-Mostno-Buszewo, Cychry), który wynosi ok. 21 tys. ton rocznie.



Rys. 7. Przekrój geologiczny przez złoże siarki Osiek
1 – prekambr, 2 – miocen: wapienie litotamniowe, 3 – miocen: piaski i piaskowce, 4 – miocen: wapienie pogipsowe, 5 – miocen: wapienie siarkowane, 6 – miocen: gipsy, 7 – miocen: margle ilaste, 8 – miocen: osady ilasto-margliste, 9 – czwartorzęd: pospółki, piaski, muły, 10 – uskoki, 11 – otwory wiertnicze [2, s. 63]

Wydobycie siarki w 2005 r. wyniosło ok. 823 tys. ton. Zmiany wydobycia w latach 1989 – 2005 przedstawia rysunek 8.



Rys. 8. Wielkość zasobów i wydobycie siarki w Polsce [12]

Właściwości siarki

Siarka jako pierwiastek chemiczny jest niemetalem, który posiada kilka odmian alotropowych, z których dwie podstawowe stanowią siarka rombowa i jednoskośna. Stabilne izotopy siarki to: ^{32}S, ^{33}S, ^{34}S i ^{36}S, przy czym izotop ^{32}S stanowi 95,02% wszystkich izotopów siarki. W zwykłej temperaturze siarka jest mało aktywna: łatwo łączy się tylko z fluorem, trudniej z chlorem. Z metalami po ogrzaniu reaguje gwałtownie, z niektórymi metalami (Cu, Ag, Hg) reaguje tworząc siarczki, przy czym reakcje te są silnie egzotermiczne. Podstawowe dane i właściwości siarki przedstawia tabela 4.

Tabela 4. Dane i właściwości siarki [11]

Nazwa, symbol, l.atom.	Siarka, S, 16
Masa atomowa	32,065
Własności	Niemetal
Gęstość	1960 kg/m^3
Twardość, wg. Mohsa	2
Stopień utlenienia	-2, +2, 4, 6
Struktura krystaliczna	Rombowa, jednoskośna lub plastyczna
Stan skupienia	Ciało stałe
Temperatura topnienia (jednoskośna)	119°C
Temperatura wrzenia	444,7^{o}C
Ciepło właściwe	710 J/kg·K

Ważniejsze związki siarki to:

- kwas siarkowy (VI) H_2SO_4
- kwas siarkowy (IV) H_2SO_3
- siarkowodór H_2S
- dwutlenek siarki SO_2
- trójtlenek siarki SO_3
- siarczany $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, $CaSO_4$, $BaSO_4$,
- siarczki FeS_2, PbS, ZnS

Siarka po ogrzaniu spala się tworząc dwutlenek siarki SO_2. Palny jest również siarkowodór H_2S, gdzie w wyniku reakcji spalania powstaje dwutlenek siarki i woda (para wodna).

Siarka rombowa jest trwała do temperatury 95,5^{o}C i w tej temperaturze, pod ciśnieniem swej własnej pary, przekształca się w siarkę jednoskośną. W temperaturze 119°C siarka jednoskośna topi się i przechodzi w jasnożółtą, ruchliwą ciecz. Wraz z podwyższeniem temperatury ciecz gęstnieje i zabarwia się na kolor ciemnobrązowy. W temperaturze 187°C osiąga swą maksymalną lepkość, która wielokrotnie przekracza wartość początkową. Przy dalszym ogrzewaniu siarka staje się znów łatwo płynna i osiąga punkt wrzenia w temperaturze 444,7^{o}C.

Ciekła siarka typu „m”, którą szybko ostudzi się, uzyskuje plastyczność podobną do kauczuku. Jest to kolejna odmiana alotropowa siarki. Rozciągana mechanicznie siarka plastyczna uzyskuje strukturę włóknistą.

Zastosowanie siarki

Siarka i jej związki są cennymi surowcami w przemyśle chemicznym, farmaceutycznym, drzewnym i papierniczym, szklarskim, przemyśle środków grzybobójczych i nawozów sztucznych. Większość siarki służy do produkcji kwasu siarkowego, a także dwusiarczku węgla (CS_2). Dużych ilości siarki plastycznej zużywa się w procesie wulkanizacji, w którym kauczuk zmienia się w gumę.

Ze względu na niski punkt zapłonu stosowana jest do wyrobu czarnego prochu i ogni sztucznych. Niewielkie ilości siarki zużywa się do produkcji leków, pestycydów, zapałek, papieru. W medycynie stosowana jest siarka koloidalna przy chorobach skóry; wstrzyknięta podskórnie wywołuje silne bóle mięśni i podwyższenie temperatury do 39°C [11].

Zagrożenia związkami siarki

Siarka w postaci pyłu działa drażniąco na błony śluzowe oczu i górnych dróg oddechowych. Nie powoduje ona silnych zatruć. Natomiast wiele związków siarki wykazuje działanie toksyczne, np.: siarkowodór H_2S, SO_2, kwas siarkowy H_2SO_4.

Dwutlenek siarki posiada ostry, przenikliwy zapach. Jest gazem niepalnym, cięższym od powietrza – gęstość względna wynosi 2,26. Działa toksycznie w przypadku narażenia drogą oddechową, wywołuje oparzenia. Reaguje z wodą, tworząc kwas siarkowy (IV), powodując zakwaszenie środowiska. Obecny w powietrzu działa szkodliwie na rozwój roślin.

Siarkowodór jest substancją bardzo toksyczną, skrajnie łatwo palną, niebezpieczną dla środowiska. Jest nieznacznie cięższy od powietrza – gęstość względna 1,2. Z powietrzem tworzy mieszaninę wybuchową – granice wybuchowości 4,3 – 45%. Przy niższych stężeniach posiada silny, bardzo nieprzyjemny zapach (zgniłych jaj). Przy wyższych stężeniach siarkowodoru, ze względu na jego toksyczne działanie, następuje porażenie organów powonienia, przez co staje się on niewyczuwalny.

Siarkowodór działa bardzo toksycznie w przypadku narażenia drogą oddechową. W stężeniach nieznacznie przekraczających 10 mg/m^3 wywołuje łzawienie, kaszel, w większych obrzęk i przekrwienie spojówek oczu; mogą wystąpić zawroty głowy, wymioty, bóle brzucha. W stężeniach przekraczających 300 mg/m^3 siarkowodór może powodować obrzęk płuc. Pod wpływem siarkowodoru o stężeniu we wdychanym powietrzu ok. 750 mg/m^3 w ciągu kilku minut następuje utrata przytomności z zaburzeniami oddechu, zaburzeniami akcji serca, sinicą, drgawkami i zgonem.

Postępowanie w razie wypadku zatrucia H_2S

W przypadku zatrucia siarkowodorem, gdy poszkodowany jest przytomny, należy zapewnić mu spokój w pozycji półleżącej lub siedzącej (wysiłek fizyczny może wyzwolić obrzęk płuc). Podać przez maskę tlen do oddychania i wezwać lekarza.

Gdy poszkodowany jest nieprzytomny, należy wynieść go z miejsca narażenia i ułożyć w pozycji bocznej ustalonej. Usunąć z jamy ustnej ruchome protezy i inne obce ciała. Odessać przez cewnik strzykawką wydzielinę z nosa i jamy ustnej. Jeśli zatruty oddycha, podać przez maskę tlen. Jeżeli nie oddycha zastosować sztuczne oddychanie metodą usta – usta albo za pomocą aparatu. Natychmiast wezwać lekarza.

Gdy u poszkodowanego występuje łzawienie i zaczerwienienie oczu, obrzęk i przekrwienie powiek należy wykonać płukanie oczu zimna wodą, najlepiej bieżącą. Chronić oczy przed światłem.

4.2.2. Pytania sprawdzające

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

1. W jakich minerałach występuje siarka w skorupie ziemskiej?
2. Na jakie grupy dzieli się rudy siarkowe ze względu na zawartość siarki?
3. W jakich rejonach Polski występują złoża siarki?
4. Jakimi metodami eksploatuje się złoża siarki?
5. Co zaliczamy do właściwości chemicznych siarki?
6. Jakie są najważniejsze związki chemiczne siarki?
7. Na jakich stopniach utleniania występuje siarka w związkach chemicznych?
8. Na czym polega zjawisko alotropii siarki?
9. W jakiej temperaturze topi się siarka jednoskośna?
10. Jakie są produkty spalania siarki oraz siarkowodoru?
11. W jakich gałęziach przemysłu znalazła zastosowanie siarka i jej związki?
12. Które związki siarki są szkodliwe dla człowieka?

4.2.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Przedstaw wzory strukturalne 10 typowych związków siarki: tlenków, kwasów, soli, siarczków oraz siarkowodoru.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) wypisać listę 10 wybranych związków siarki,
2) określić stopień utlenienia (wartościowość) siarki w poszczególnych związkach,
3) narysować wzory strukturalne poszczególnych związków,
4) dokonać prezentacji wyników pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- przybory rysunkowe: ołówek, gumka,
- Szkolny poradnik chemika,
- układ okresowy pierwiastków,
- zeszyt.

Ćwiczenie 2

Na podstawie reakcji spalania siarki i siarkowodoru, oblicz ilość powstałych produktów zupełnego i całkowitego spalania:

- 2 kg siarki,
- 5 Nm^3 (normalnych m^3) siarkowodoru.

Ilość powstałych gazowych produktów spalania podaj w jednostkach objętościowych.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) napisać reakcje spalania siarki i siarkowodoru,
2) skorzystać z prawa Avogadra przy obliczaniu objętości produktu spalania siarki,

3) przeliczyć ilość siarkowodoru na jego masę,
4) obliczyć masy molowe i masy powstałych produktów spalania H_2S,
5) przeliczyć ilości produktów spalania H_2S na podstawie prawa Avogadra,
6) zaprezentować wyniki swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:
- Szkolny poradnik chemika,
- małe tablice chemiczne,
- kalkulator,
- zeszyt.

4.2.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) nazwać minerały siarki i podać ich wzory chemiczne?	☐	☐
2) wskazać rejony występowania siarki w Polsce i na świecie?	☐	☐
3) scharakteryzować właściwości chemiczne siarki?	☐	☐
4) określić właściwości fizyczne siarki, które decydują o możliwości jej eksploatacji metodą otworową?	☐	☐
5) wymienić najważniejsze związki siarki oraz napisać ich wzory sumaryczne i strukturalne?	☐	☐
6) napisać reakcje spalania siarki i siarkowodoru?	☐	☐
7) wymienić gałęzie przemysłu, w których jako surowiec stosuje się siarkę lub jej związki?	☐	☐
8) wymienić szkodliwe dla człowieka związki siarki oraz określić ich charakter szkodliwości?	☐	☐

4.3. Konstrukcja otworów do eksploatacji siarki i soli kamiennej

4.3.1. Materiał nauczania

Eksploatacja siarki oraz soli kamiennej, zwłaszcza z wysadów solnych, może odbywać się za pomocą otworów wiertniczych, wykonywanych z powierzchni ziemi. W przypadku eksploatacji soli jest to metoda ługowania, która polega na fizykochemicznym procesie rozpuszczania soli w złożu, a następnie eksploatacji otworami wiertniczymi solanki. Eksploatacja siarki metodą otworową polega na podziemnym wytopie siarki (PWS) i wydobywaniu na powierzchnię siarki w stanie płynnym.

Wyeksploatowane komory w wysadach solnych mogą służyć jako podziemne zbiorniki magazynowe, w których magazynuje się głównie gaz ziemny oraz ropę naftową. Komory magazynowe w kawernach solnych są specjalnie przygotowane, aby spełnić wymagania stawiane tego typu zbiornikom.

W obu przypadkach eksploatacja kopaliny odbywa się z wykorzystaniem otworów o specjalnej konstrukcji, odwierconych z powierzchni terenu.

Konstrukcja otworów do eksploatacji soli kamiennej

Konstrukcja i uzbrojenie otworów przeznaczonych do eksploatacji soli kamiennej mogą być różne w zależności od przeznaczenia otworu, właściwości magazynowych substancji i technologii magazynowania.

Wiercenie otworów z przeznaczeniem na komory magazynowe wykonywane jest z zachowaniem szeregu szczególnych warunków, m.in. [5]:

- stosowane są większe średnice otworu i kolumn rur okładzinowych,
- wymagane jest zachowanie pionowości otworu, które nie może przekroczyć 1% głębokości otworu,
- wymagany jest wysoki stopień szczelności i hermetyczne zacementowanie eksploatacyjnej kolumny rur.

Otwory wiertnicze przeznaczone do eksploatacji ługowniczej soli kamiennej z wysadów solnych odwiercane są w na ogół w siatce trójkąta równobocznego rozstawem średnio od 80 do 300 m.

Schemat zarurowania otworu wiertniczego przeznaczonego do eksploatacji soli kamiennej na wysadzie solnym „Góra” przedstawia rys. 9. Konstrukcja otworu wiertniczego jest następująca:

- kolumna wstępna o średnicy 24”,
- kolumna prowadnikowa o średnicy 20” lub 18⅝”,
- kolumna eksploatacyjna o średnicy 13⅜”.

Schemat otworu przeznaczonego do budowy komór magazynowych na wysadzie solnym „Mogilno”, odwierconego w siatce trójkąta równobocznego o rozstawie 300 m, przedstawia rys. 10. Otwór rurowany jest następującymi kolumnami rur:

- wstępną o średnicy 32”,
- prowadnikową do czapy gipsowej o średnicy 24” lub 20”,
- techniczną (pośrednią) na ok. 50 m w soli o średnicy 18⅝” lub 16”,
- eksploatacyjną aż do komory o średnicy 13⅜” lub 11¾”.

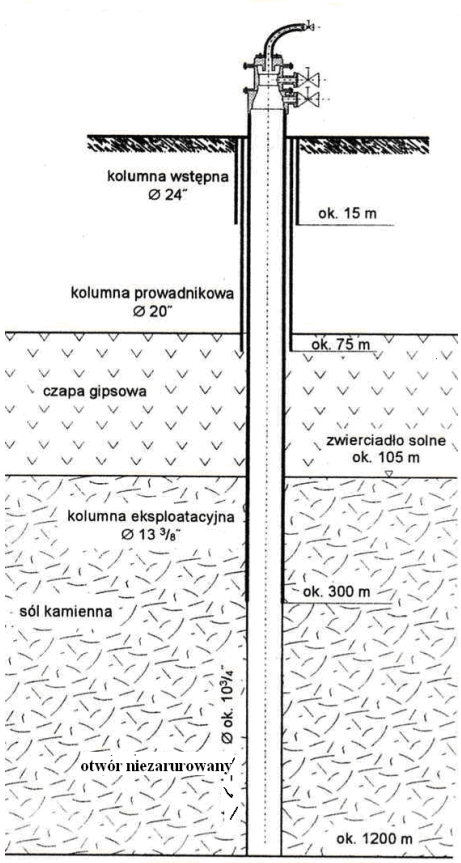
Kolumny rur okładzinowych po zapuszczeniu do otworu są zacementowane.

Dodatkowe uzbrojenie otworu wiertniczego umożliwiającego prowadzenie eksploatacji soli składa się z wyposażenia wgłębnego i uzbrojenia naziemnego.

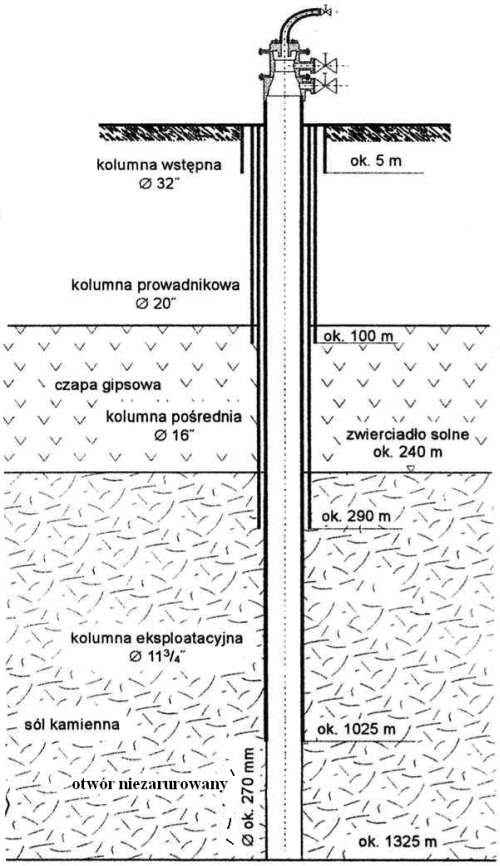
Wyposażenie wgłębne (podziemne) stanowią dwie współśrodkowe eksploatacyjne (ługownicze) kolumny rur wolno wiszących, które podczas ługowania są podnoszone lub opuszczane w otworze. Umieszczone są w zacementowanej kolumnie eksploatacyjnej i podwieszone w głowicy otworu, znajdującej się na powierzchni. Zarówno kolumna zewnętrzna (ochronna-solankowa), jak i wewnętrzna (wodna) służą do doprowadzania wody lub odprowadzania solanki, w zależności od przyjętego sposobu ługowania soli.

Kolumna zewnętrzna jest zapuszczana zawsze do mniejszych głębokości niż kolumna wewnętrzna. Dobrze współpracujące ze sobą pary średnic: kolumna zewnętrzna – kolumna wewnętrzna, przedstawia schemat:

10¾” – 6⅝”
9⅝” – 5½”
8⅝” – 5”
7⅝” – 4½”



Rys. 9. Zabudowa typowego otworu dla komory przeznaczonej do eksploatacji soli Kamiennej [5, s. 34]



Rys. 10. Zabudowa typowego otworu dla komory przeznaczonej do magazynowania gazu ziemnego [5, s. 35]

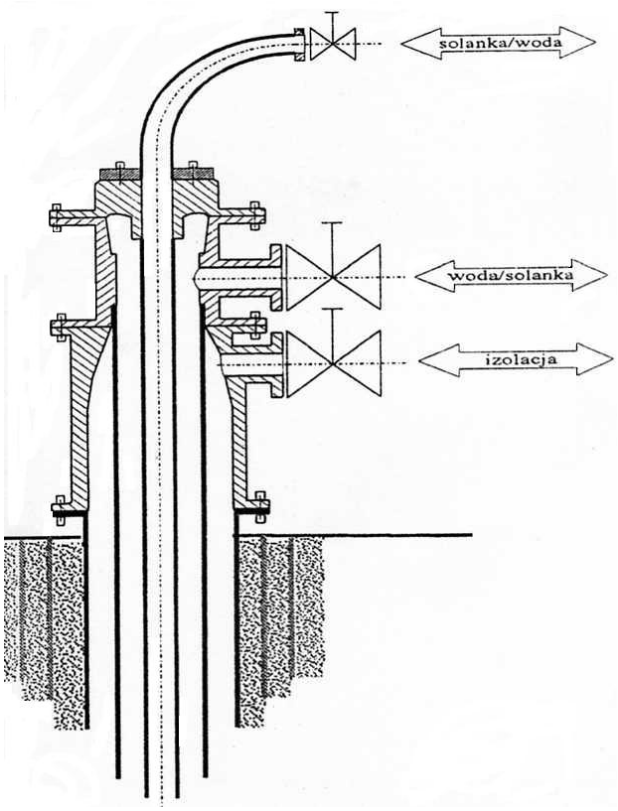
Przestrzeń pozarurowa kolumny zewnętrznej, czyli przestrzeń pierścieniowa pomiędzy tą kolumną a ostatnią kolumną cementowaną (techniczno-eksploatacyjną) jest wypełniona specjalną cieczą izolującą strop komory, np.: olejem solarowym [5].

Wyposażenie (uzbrojenie) naziemne otworów ługowniczych stanowią głowice uszczelniające (rys. 11), których zadaniem jest zamknięcie:

– przestrzeni międzyrurowej pomiędzy eksploatacyjną kolumną rur okładzinowych, a kolumną ługowniczą zewnętrzną,

– przestrzeni międzyrurowej pomiędzy zewnętrzną i wewnętrzną kolumną eksploatacyjną (ługowniczą),
– wewnętrznej kolumny eksploatacyjnej (ługowniczej).

Poprzez głowicę doprowadzane są lub odprowadzane z komory ługowniczej woda, solanka oraz ciecz izolująca – olej solarowy. Konstrukcja głowic pozwala na okresowe przemieszczanie w nich, w trakcie eksploatacji, kolumn ługowniczych z możliwością ponownego uszczelnienia otworu.

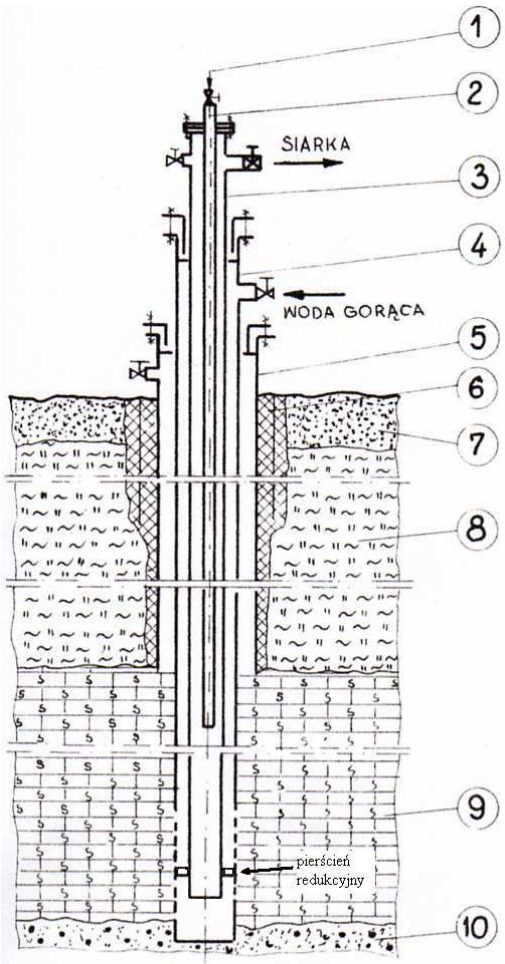


Rys. 11. Schemat głowicy otworu do ługowania soli kamiennej z dwiema kolumnami wolno wiszącymi [5, s. 38]

Konstrukcja otworu do podziemnego wytopu siarki

Eksploatacja siarki metodą podziemnego wytopu PWS wymaga odwiercenia na złożu szeregu otworów, które pełnią rolę otworów eksploatacyjnych i odprężających. Uzbrojenie wgłębne typowego otworu eksploatacyjnego składa z następujących kolumn rur (rys. 12) [2]:

1) okładzinowej wstępnej o średnicy 14”, która służy do zamykania poziomu wód czwartorzędowych podczas przewiercania formacji trzeciorzędowych, aby nie dopuścić do skażenia wód gruntowych wodami złożowymi; długość tej kolumny może wynosić kilkanaście metrów i jest cementowana do wierzchu,
2) okładzinowej technicznej o średnicy 8⅝”, która służy do zamykania naporowego oddziaływania wód trzeciorzędowych; jest cementowana do wierzchu a jej koniec sięga stropu złoża siarki,
3) eksploatacyjnej – wodnej o średnicy 6”, która służy do wtłaczania wody do formacji siarkonośnej,
4) eksploatacyjnej – siarkowej o średnicy 3½”, która służy do wynoszenia płynnej siarki na powierzchnię a jej dolny koniec znajduje się ok. 1 m poniżej pierścienia redukcyjnego,
5) eksploatacyjnej – powietrznej o średnicy 1½”, zakończonej odcinkiem perforowanym, która służy do wtłaczania do otworu sprężonego powietrza.



1 – doprowadzenie powietrza
2 – kolumna powietrzna
3 – kolumna siarkowa
4 – kolumna wodna
5 – kolumna techniczna
6 – kolumna wstępna
7 – piaski i żwiry
8 – iły
9 – seria siarkonośna
10 – piaskowiec

Rys. 12. Schemat uzbrojenia typowego otworu eksploatacyjnego PWS [2, s. 92]

Dolna część kolumny eksploatacyjnej wodnej, w zależności od miąższości serii siarkowej, składa się z:

- rury podfiltrowej o długości od 0,5 do 3 m,
- perforacji dolnej (siarkowej) o długości od 1 do 2 m,
- rury międzyfiltrowej o długości od0,7 do 1 m,
- perforacji górnej (wodnej) o długości od 1 do 2 m.

Na odcinku rury międzyfiltrowej od strony wewnętrznej znajduje się pierścień redukcyjny (rys. 12), na którym posadowiona jest kolumna eksploatacyjna – siarkowa, której but jest umieszczony ok. 1 – 2 m powyżej spągu warstwy siarkonośnej.

Kolumnę eksploatacyjną – powietrzną umieszcza się w otworze po wstępnym okresie grzania złoża, a jej długość powinna sięgać 4/5 głębokości otworu.

Na powierzchni terenu otwór eksploatacyjny zaopatrzony jest w więźbę rurową oraz głowicę eksploatacyjną, umożliwiającą połączenie oraz podwieszenie wszystkich kolumn eksploatacyjnych. Poszczególne przestrzenie międzykolumnowe powinny być uszczelnione w sposób pozwalającym na przemieszczenie rur w pionie względem siebie, z zachowaniem szczelności hydraulicznej.

Współosiowe umiejscowienie rur w otworze, wraz z odpowiedni ukształtowanymi odcinkami rur powiązanymi z zaworami na powierzchni, umożliwiają sprawne podanie wody oraz stwarzają możliwość dokonywania zabiegów technologicznych, zależnie od potrzeb ruchowych.

W trakcie eksploatacji mogą w kolumnach rur występować naprężenia, powodowane czynnikami termicznymi i procesem osiadania nadkładu złoża. Aby skompensować te naprężenia stosuje się odpowiednie więźby rurowe lub teleskopowe konstrukcje kolumn rur.

4.3.2. Pytania sprawdzające

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

1. Co oznacza skrót PWS?
2. Jakie wymagania stawia się otworom wierconym w soli, przeznaczonym na podziemne magazyny?
3. Jaki stosuje się schemat rozmieszczenia otworów wiertniczych na wysadzie solnym?
4. Jakie rodzaje kolumn rur okładzinowych wchodzą w skład konstrukcji odwiertu do eksploatacji soli kamiennej?
5. W jakim celu stosuje się kolumny eksploatacyjne (ługownicze)?
6. Jaką funkcję spełnia głowica odwiertu do eksploatacji soli?
7. Z ilu kolumn rur składa się uzbrojenie otworu do eksploatacji siarki metodą PWS?
8. Z jakich elementów składa się dolna część kolumny eksploatacyjnej wodnej w otworze eksploatacji siarki?
9. Na jaką głębokość do otworu eksploatującego siarkę zapuszcza się kolumnę eksploatacyjną powietrzną?
10. Jaką funkcję spełnia kolumna eksploatacyjna wodna w otworze eksploatacyjnym siarki?
11. W jakim celu w otworze do eksploatacji siarki stosuje się teleskopową konstrukcję rur?

4.3.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Dla określonych warunków geologicznych, związanych z występowaniem soli kamiennej w wysadzie solnym, przedstaw graficznie schemat uzbrojenia wgłębnego odwiertu eksploatacyjnego. Schemat powinien obejmować poszczególne kolumny rur okładzinowych, jak również wolno wiszące kolumny eksploatacyjne (ługownicze). Na schemacie głowicy otworu zaznacz kierunki przepływu mediów. Eksploatacja odbywać się będzie w obiegu (normalnym) prawym.

Warunki geologiczne zalegania złoża nauczyciel przedstawi w treści zadania.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) wykonać uproszczony przekrój geologiczny wysadu solnego,
2) dobrać zestaw kolumn rur okładzinowych,
3) dobrać średnice kolumn rur ługowniczych,
4) wykonać na przekroju geologicznym schemat zarurowania otworu,
5) nanieść na schemacie kierunki przepływu mediów,
6) zaprezentować wyniki swojej pracy,
7) uzasadnić przyjęte rozwiązanie.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- przybory rysunkowe: linijka, ołówek, gumka,
- zestawienie zawierające dane typowych rur okładzinowych,
- kartki papieru milimetrowego,
- kartki papieru A4 (ksero), zeszyt.

Ćwiczenie 2

Dla określonych warunków geologicznych, związanych z występowaniem złoża pokładowego siarki przedstaw graficznie schemat uzbrojenia wgłębnego odwiertu eksploatacyjnego. Schemat powinien obejmować poszczególne kolumny rur okładzinowych, jak również kolumny eksploatacyjne. Na schemacie zaznacz kierunki przepływu cieczy. Określ zadania poszczególnych kolumn rur. Warunki geologiczne zalegania złoża nauczyciel przedstawi w treści zadania.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) wykonać uproszczony przekrój geologiczny złoża,
2) dobrać zestaw kolumn rur okładzinowych,
3) dobrać średnice kolumn rur eksploatacyjnych,
4) wykonać na przekroju geologicznym schemat zarurowania otworu,
5) zaznaczyć kierunki przepływu mediów,
8) zaprezentować wyniki swojej pracy,
9) uzasadnić przyjęte rozwiązanie.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- przybory rysunkowe: linijka, ołówek gumka,
- zestawienie zawierające dane typowych rur okładzinowych i eksploatacyjnych,
- kartki papieru milimetrowego,
- kartki papieru A4 (ksero),
- zeszyt.

4.3.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) określić rodzaje kolumn rur stanowiących konstrukcję otworu do eksploatacji soli kamiennej?	□	□
2) określić cel stosowania wolno wiszących kolumn rur ługowniczych?	□	□
3) podać typowe zestawy średnic kolumn rur ługowniczych?	□	□
4) wykazać różnicę konstrukcji otworu do eksploatacji soli, a otworu przeznaczonego na podziemny magazyn?	□	□
5) wymienić rodzaje i średnicę kolumn rur wchodzących w skład uzbrojenia otworu do eksploatacji siarki?	□	□
6) określić przeznaczenie kolumn rur otworu eksploatacyjnego siarki?	□	□
7) określić głębokość zapuszczenia poszczególnych kolumn rur w otworze eksploatacyjnym siarki?	□	□
8) wskazać elementy uzbrojenia napowierzchniowego odwiertów eksploatacyjnych?	□	□

4.4. Technologia ługowania soli kamiennej z wysadów solnych

4.4.1. Materiał nauczania

Ługowanie soli kamiennej jest metodą eksploatacji, która polega na rozpuszczeniu soli kamiennej w złożu (wysadzie solnym) wodą i wydobywaniu jej na powierzchnię otworem wiertniczym w postaci wodnego roztworu, tzw. solanki. Substancją, która rozpuszcza sól w złożu jest woda słodka lub nienasycony roztwór solny. Produktem eksploatacji jest solanka, czyli stężony roztwór chlorku sodu w wodzie, która jest surowcem dla przemysłu chemicznego i warzelnictwa soli.

Ługowanie złoża solnego może odbywać się w kopalni [5]:

1) podziemnej – w otwartych wyrobiskach dostępnych z chodników lub z komór, poprzez otwory wykonywane z poziomów kopalnianych,
2) odwiertowej – poprzez otwory wiertnicze wykonywane z powierzchni terenu, które sięgają do eksploatowanego złoża.

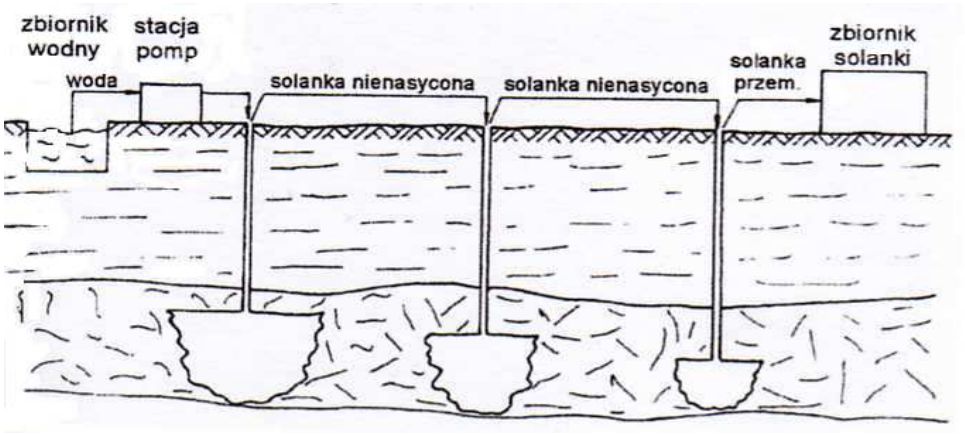
Biorąc pod uwagę tradycyjne systemy eksploatacji, można je charakteryzować i klasyfikować ze względu na [5]:

- kształt wyrobiska eksploatacyjnego,
- sposób podawania medium ługującego do wyrobiska i odbioru solanki,
- kierunek postępu ługowania w komorach,
- sposób przygotowania komór do eksploatacji.

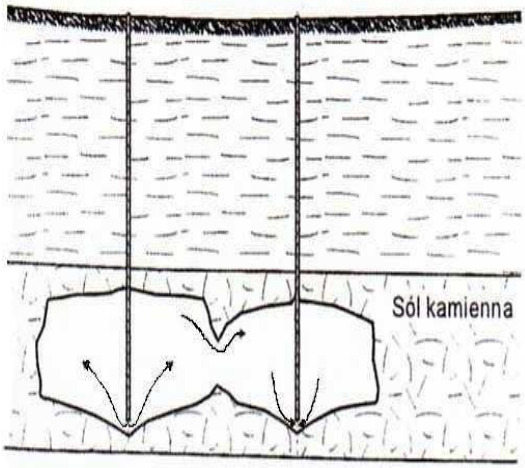
Ze względu na kształt wyrobisk górniczych i związaną z tym miąższością złoża można wyróżnić dwa typy komór ługowniczych:

1) pojedyncze, pionowe – w wysadach solnych i ewentualnie grubych pokładach solnych (rys. 13),
2) połączone lub komory poziome – w złożach pokładowych o niewielkiej miąższości (rys. 14 i rys. 15).

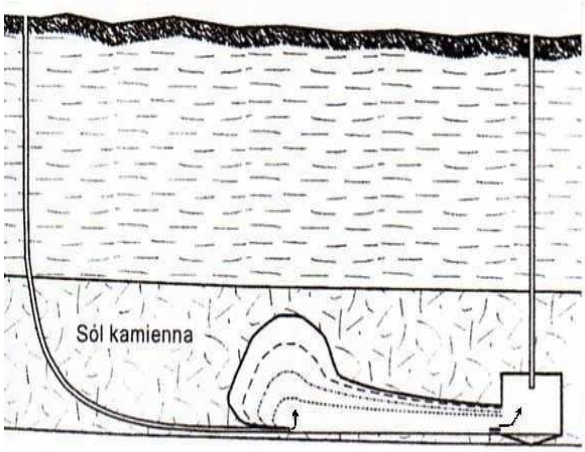
W przypadku eksploatacji soli z wysadów solnych (typowy przypadek) komora ługownicza stanowi samodzielną jednostkę eksploatacyjną, w której może rozwinąć się powierzchnia ługowania dostatecznie duża, aby możliwa była ciągła produkcja solanki. Produkcja solanki odbywa się za pomocą jednego otworu wiertniczego. W przypadku eksploatacji systemem komór pojedynczych, teoretycznie można wyługować dowolny osiowosymetryczny kształt: walec, stożek czy kulę. W praktyce komory najczęściej przybierają nieregularny kształt walcowy, stożkowy lub dzwonowy, a ich oś pionowa zbliżona jest do osi otworu wiertniczego.



Rys. 13. Eksploatacja zespołem trzech komór [5, s. 45]



Rys. 14. Ługowanie w systemie komór Połączonych [5, s. 45]



Rys.15. Ługowanie komorą tunelową [5, s. 45]

Powszechnym sposobem podawania do komór cieczy ługującej jest zatłaczanie ciągłe z zastosowaniem pomp na powierzchni. Pompy tłoczą wodę do otworu, wytłaczając jednocześnie na powierzchnię solankę. Komora jest całkowicie wypełniona solanką, mieszającą się z zatłaczaną cieczą ługującą.

Szybkość ługowania stropu komory jest większa niż szybkość ługowania ściany bocznej. Dlatego też, aby uzyskać komorę o zadanym kształcie, np. walcowym, a nie spowodować zbyt szybkiego wyługowania stropu, stosuje się izolację stropu za pomocą płynu izolującego. Proces taki nazywamy kontrolowanym ługowaniem z izolacją stropu, wykonywanym z użyciem cieczy lżejszej od wody, która zajmuje górną część ługowanej komory (pod stropem).

Jako płyny izolacyjne stosuje się:

- olej, np. olej solarowy,
- olej napędowy, benzynę, ropę naftową lub płynny propan – butan,
- sprężone powietrze,
- sprężony azot.

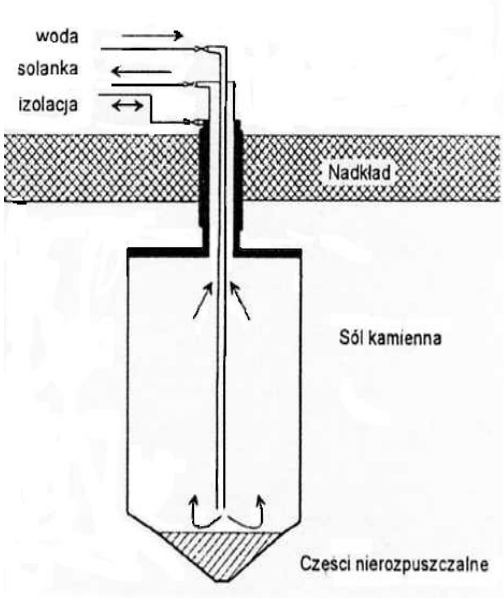
Do komory płyn izolujący podawany jest przestrzenią pierścieniową pomiędzy zacementowaną ostatnią kolumna rur okładzinowych, a zewnętrzną kolumną rur ługowniczych (rys. 16).

W systemie kontrolowanego ługowania z izolacją stropu podawanie cieczy ługującej (wody) do otworu i eksploatacja solanki odbywa się dwiema współśrodkowymi kolumnami rur wolno wiszących. Rury te powinny być umocowane w więźbie rurowej, w sposób uniemożliwiający ich niekontrolowane przesunięcie się względem siebie i wpadnięcie do otworu oraz w sposób ułatwiający manipulację tymi kolumnami [9]

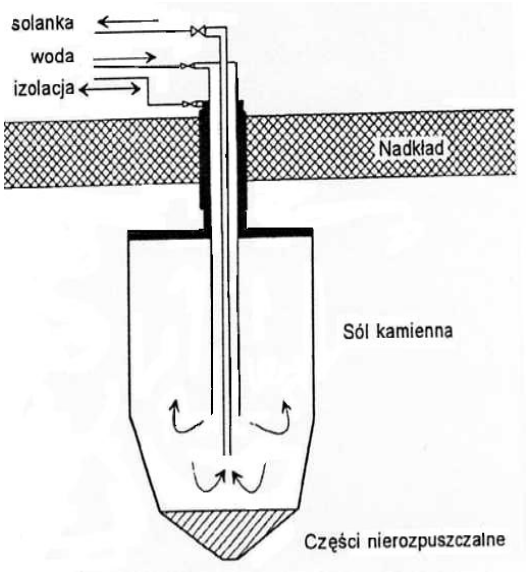
Obieg cieczy w otworze, w którym woda płynie wewnętrzną kolumną rur a solanka przestrzenią pierścieniową pomiędzy kolumnami, nazywa się obiegiem normalnym (prawym) (rys. 16). Przy tym sposobie ługowania część komory pod dolnym butem rur rozwija się regularnie a stężenie solanki jest na ogół niższe od tzw. stężenia przemysłowego.

Natomiast obieg cieczy w otworze, w którym woda tłoczona jest przestrzenią pierścieniową pomiędzy kolumnami ługowniczymi a solanka wypływa wewnętrzną kolumną rur, nazywa się obiegiem odwrotnym (lewym) (rys. 17). W tym przypadku regularnie rozwija się część komory ponad górnym butem rury ługowniczej a pomiędzy butami rur dolnym i górnym ściana komory przybiera kształt odwróconego stożka. Uzyskuje się przy tym wysokie stężenie eksploatowanej solanki.

Zaletą stosowania obiegu normalnego jest regularność kształtu komory a obiegu odwrotnego wyższe stężenie solanki.

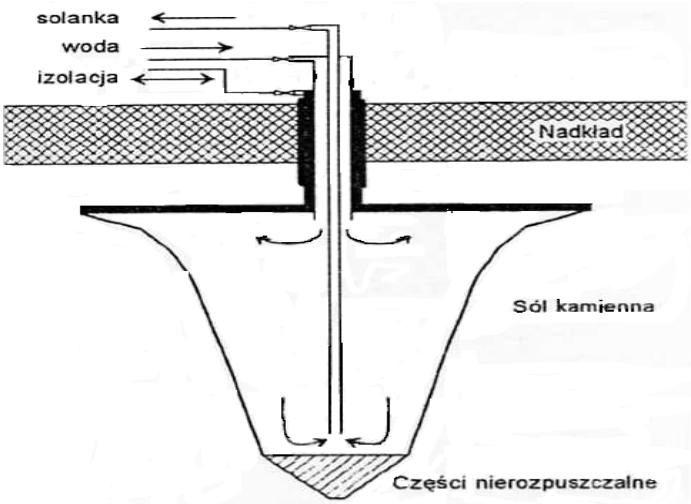


Rys. 16. Schemat ługowania soli w obiegu normalnym (prawym) [5, s. 48]



Rys. 17. Schemat ługowania soli w obiegu odwrotnym (lewym) [5, s. 49]

Możliwe jest również stosowanie tzw. klasycznego obiegu odwrotnego (lewego), który polega na podawaniu pod sam strop komory i odbieraniu solanki z dolnej części ługowanej strefy (rys. 18). Prowadzi to zawsze do utworzenia się komory o niezbyt korzystnym kształcie odwróconego stożka, powodując podcinanie filarów u góry ługowanej strefy a stratę złoża w dolnej części.



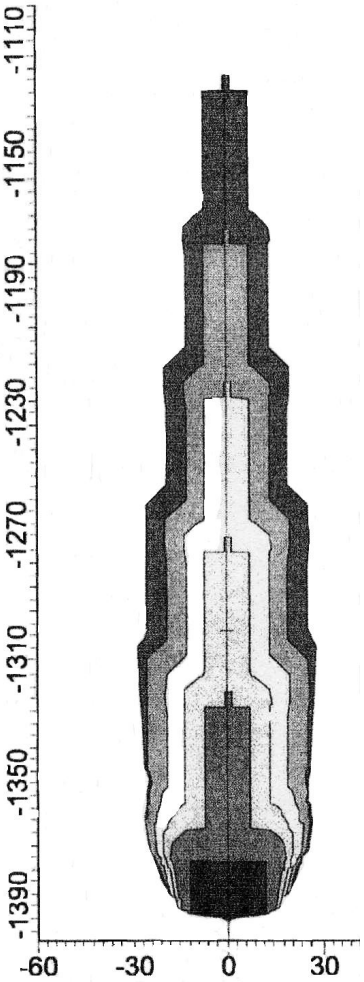
Rys. 18. Schemat ługowania soli w obiegu odwrotnym – klasycznym [5, s. 49]

Postęp ługowania soli kamiennej może mieć kierunek poziomy – boczny lub pionowy ku górze – stropowy. Typowy proces ługowania odbywa się etapami – od ługowania dolnych partii złoża, po partie górne, tzn. rozpoczyna się w spągu komory a kończy w jej stropie. Komory wypełnione do stropu cieczą ługującą (wodą) rozwijają się zawsze w kierunku stropowo – bocznym (rys. 19). Wymaga to stopniowego, okresowego podnoszenia wolno

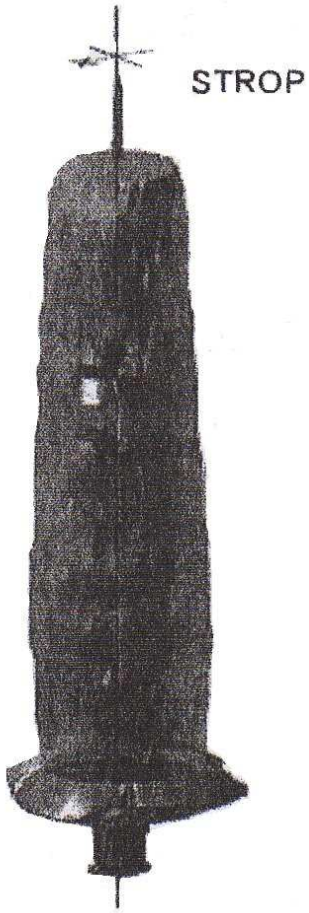
wiszących kolumn rur eksploatacyjnych (ługowniczych) w sytuacji, gdy komora osiągnęła już żądaną średnicę i nie powinna już rozwijać się w kierunku bocznym.

Ługowanie soli otworami, zwłaszcza w wysadach solnych, gdy wysokość komory ma przekraczać 400 m, prowadzi się z olejową ochroną stropu, w systemie ługowania boczno – stropowego. W trakcie eksploatacji otworów wykonuje się pomiary objętości i kształtu ługowanych wyrobisk. Ostateczne rozmiary wyługowanych komór określa się za pomocą echosondy (rys. 20). W razie ługowania danym otworem kilku komór leżących na różnych głębokościach, pomiary te wykonuje się dla każdej z nich.

Przy wydobywaniu soli głębokimi odwiertami, zwłaszcza w wysadach solnych o przewidywanej głębokości komór ponad 1000 m, urządzenia dozujące i kontrolne oleju ekranującego strop powstającej komory powinny być stale czynne a ich prace rejestruje się w sposób ciągły w stacji kontrolno-pomiarowej. [9].



Rys. 19. Poprawny rozwój komory podczas ługowania techniką stropowo-boczną [5, s. 50]



Rys. 20. Kształt komory regularnej zmierzony echosondą [5, s. 46]

Hydraulika ługowania soli

Solanka wypływająca z otworu wiertniczego powinna na głowicy otworu mieć odpowiednio wysokie ciśnienie, które umożliwi jej przepływ do punktu przeznaczenia. A zatem na głowicy otworu ciśnienie tłoczenia wody do ługowania soli musi być na tyle duże, aby zrównoważyć następujące składniki (straty):

– wymagane ciśnienie solanki na głowicy, potrzebne na pokonanie oporów przepływu w rurociągu, od głowicy do punktu przeznaczenia,
– spadek ciśnienia (straty) na pokonanie oporów przepływu wody do komory rurą wewnętrzną,
– spadek ciśnienia (straty) na pokonanie oporów wypływu solanki z komory, poprzez przestrzeń pierścieniową rur,
– statyczną różnicę ciśnień wynikającą z różnicy gęstości wody i solanki na głowicy.

Stratę ciśnienia wynikającą z oporów przepływu cieczy wewnątrz komory możemy pominąć. Ciśnienie w komorze w trakcie ługowania nie może jednak być zbyt wysokie, aby nie doprowadzić do zjawiska szczelinowania górotworu solnego.

Ciśnienie głowicowe tłoczonej do otworu wody, dla obiegu normalnego, można określić ze wzoru [5]:

$$p_{wg} = p_{sg} + \Delta p_{rw} + \Delta p_p + g[\rho_{sg} \cdot h_s - \rho_w \cdot h_w + \rho_{sk}(h_w - h_s)]$$

gdzie:

p_{wg} – ciśnienie tłoczonej wody na głowicy otworu [Pa],
p_{sg} – ciśnienie wypływającej solanki na głowicy otworu [Pa],
Δp_{rw} – spadek ciśnienia (straty) w rurze wewnętrznej (wodnej) [Pa],
Δp_p – spadek ciśnienia (straty) w przestrzeni pierścieniowej (solanki) [Pa],
g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2],
ρ_{sg} – gęstość solanki wypływającej na głowicy [kg/m^3],
ρ_w – gęstość wody [kg/m^3],
ρ_{sk} – gęstość solanki w komorze [kg/m^3],
h_w – głębokość buta rur wodnych [m],
h_s – głębokość buta rur solankowych [m].

Spadek ciśnienia (straty) Δp w prostym odcinku rur można wyznaczyć ze wzoru Darcy'ego-Weisbacha [8]:

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{L \cdot v^2}{2g \cdot d} \cdot \gamma$$

gdzie:

λ – współczynnik liniowych strat ciśnienia [bezwymiarowy],
L – długość odcinka rur [m],
v – średnia prędkość przepływu cieczy w rurach [m/s],
d – średnica wewnętrzna rur [m],
γ – ciężar właściwy przepływającej cieczy [N/m^3].

Znając gęstość przepływającej cieczy (zamiast jej ciężaru właściwego) powyższy wzór przyjmie postać:

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{L \cdot v^2}{2 \cdot d} \cdot \rho$$

gdzie;

ρ – gęstość cieczy [kg/m^3].

Uwzględniając wydajność przepływu Q cieczy w rurach, zamiast prędkości przepływu, po przekształceniach spadek ciśnienia można obliczyć ze wzoru:

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{8L \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot d^5} \cdot \rho$$

Współczynnik strat liniowych λ można obliczyć:

– dla ruchu laminarnego ze wzoru Hagena-Poiseuille'a:

$$\lambda = \frac{64}{\mathrm{Re}}$$

– dla ruchu turbulentnego (najczęstszy przypadek) stosując wzór Colebrooka-White'a [3]:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\log\left(\frac{k}{3{,}7d} + \frac{2{,}51}{\mathrm{Re}\sqrt{\lambda}}\right)$$

gdzie:

k – chropowatość bezwzględna rury [m],
d – średnica wewnętrzna rury [m],
Re- liczba Reynoldsa [bezwymiarowa].

$$\mathrm{Re} = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

gdzie:

v– prędkość średnia cieczy w rurach [m/s],
d – średnica wewnętrzna rury [m],
ν – współczynnik lepkości kinematycznej cieczy [m^2/s].

Współczynnik strat liniowych λ można również wyznaczyć z wykresu Colebrooka-White'a (rys. 21), znając wartość liczby Reynoldsa Re i współczynnik chropowatości względnej rury ε. Przy czym:

$$\varepsilon = \frac{k}{d}$$

gdzie:

k – chropowatość bezwzględna rury [m],
d – średnica wewnętrzna rury [m].

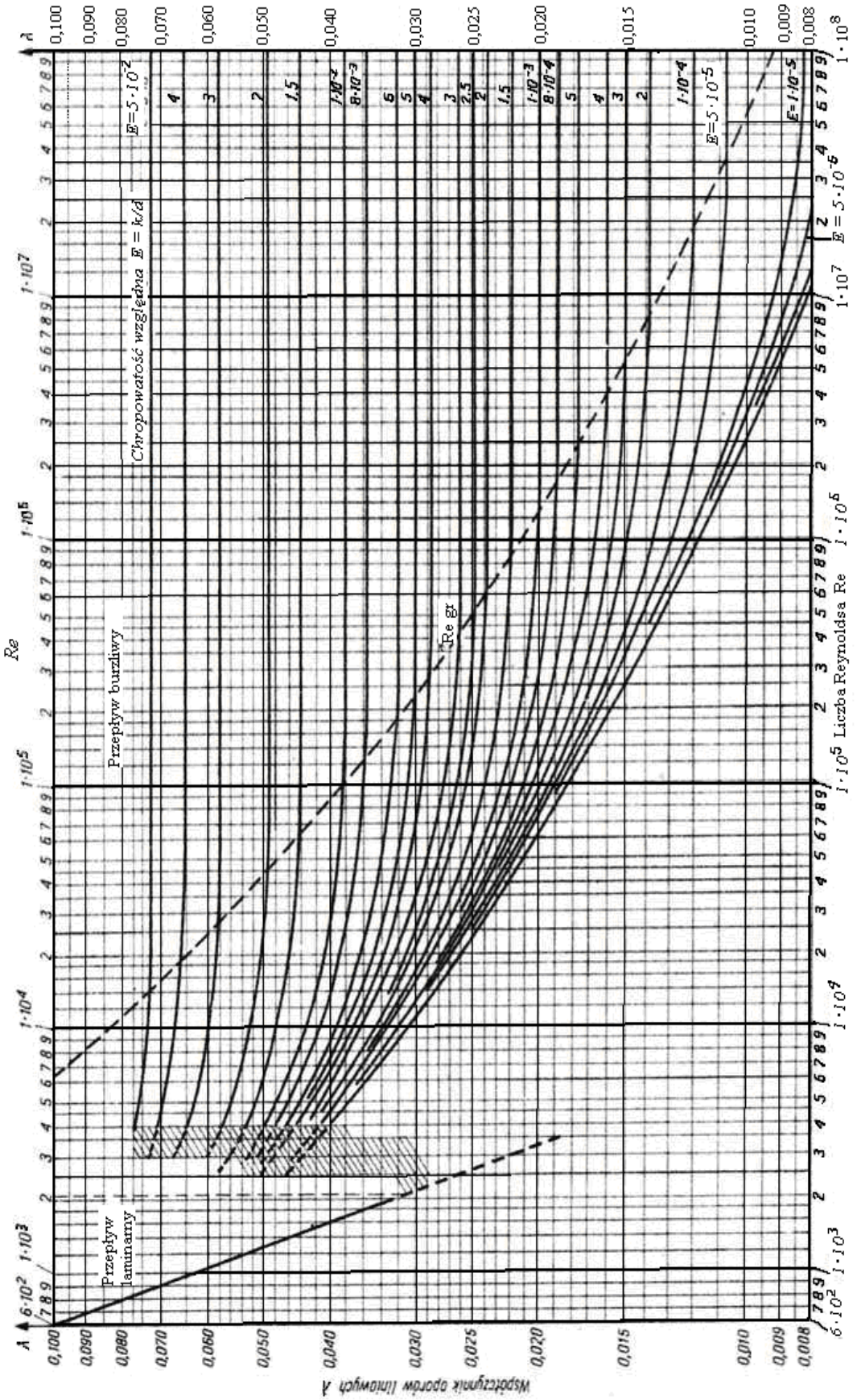
Dla obliczenia spadku (strat) ciśnienia przepływu cieczy przestrzenią pierścieniową (wypływ solanki przy obiegu normalnym) można stosować zaprezentowane wzory, przy czym wewnętrzna średnica rur *d* powinna być zastąpiona przez średnicę hydrauliczną, zastępczą d_z, określaną jako:

$$d_z = D_2 - D_1$$

gdzie:

D_2 – średnica wewnętrzna większej kolumny rur (solankowej) [m],
D_1 – średnica zewnętrzna mniejszej kolumny rur (wodnej) [m].

W czasie przepływu cieczy w rurach występują dodatkowe opory przepływu na połączeniach rur (na złączkach). Przy dokładnych obliczeniach powinny być uwzględniane, natomiast w obliczeniach uproszczonych opory te, ze względu na ich niewielką wartość można pominąć.



Rys. 21. Nomogram Colebrooka-White'a [8, s. 320]

4.4.2. Pytania sprawdzające

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

1. Na czym polega ługowanie soli kamiennej?
2. Jakie są kryteria podziału systemów eksploatacji otworowej soli?
3. Jakie typy i kształty komór powstają w procesie ługowania soli kamiennej?
4. Dlaczego wodę stosuje się jako ciecz do ługowania soli?
5. Na czym polega proces kontrolowanego ługowania z izolacją stropu?
6. W jakim celu stosuje się olej solarowy przy ługowaniu soli?
7. Na czym polega ługowanie soli w obiegu normalnym?
8. Co nazywamy obiegiem odwrotnym ługowania soli?
9. Jaki kształt komory uzyska się przy ługowaniu soli obiegiem klasycznym?
10. Na czym polega proces ługowania boczno-stropowego?
11. W jaki sposób można określić kształt powstałej komory ługowniczej?
12. Od czego zależy wielkość ciśnienia tłoczenia wody, mierzonego na głowicy otworu?
13. Jakie parametry i w jaki sposób wpływają na opory przepływu cieczy w rurach?
14. Od czego zależy wartość współczynnika oporów liniowych dla przepływu cieczy rurociągiem?

4.4.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Oblicz wielkość spadku ciśnienia (strat ciśnienia) wody tłoczonej wewnętrzną kolumną eksploatacyjną (ługowniczą) do komory solnej, jeżeli:

- długość kolumny rur wynosi 800 m,
- zastosowano rury o średnicy 4½”,
- prędkość przepływu wody w rurach 1,2 m/s,
- temperatura wody wynosi 20°C,
- chropowatość bezwzględna rur jest równa 0,2 mm.

Do obliczeń nie uwzględniaj strat ciśnienia na połączeniach rur. Wartość strat ciśnienia należy podać w MPa.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) przyjąć kolejność (schemat) postępowania,
2) ustalić średnicę wewnętrzną rur,
3) określić charakter przepływu wody w rurach,
4) wyznaczyć wartość chropowatości względnej,
5) obliczyć ze wzoru współczynnik liniowych oporów przepływu,
6) wyznaczyć z nomogramu Colebrooka- White'a współczynnik oporów,
7) obliczyć wielkość strat ciśnienia,
8) zaprezentować wyniki swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- tablice matematyczno-fizyczne,
- nomogram Colebrooka-White'a,
- dane techniczne rur,

– literatura z zakresu hydrauliki,
– kalkulator,
– zeszyt.

Ćwiczenie 2

Oblicz ciśnienie tłoczenia wody na głowicy otworu eksploatacyjnego soli kamiennej, jeżeli wymagane ciśnienie solanki na głowicy otworu powinno wynosić 0,3 MPa. Do obliczeń wykorzystaj dane i wyniki otrzymane z poprzedniego ćwiczenia. Wykonując obliczenia przyjmij następujące dane:
– długość wewnętrznej kolumny rury – solankowej wynosi 500 m,
– kolumna zewnętrzna posiada średnicę 7 ⅝”,
– gęstość solanki na wypływie z otworu wynosi 1150 kg/m^3,
– gęstość solanki w komorze 1080 kg/m^3,
– temperatura tłoczonej wody 20°C.

W obliczeniach należy pominąć straty ciśnienia na połączeniach rur. Wartość strat ciśnienia podać w MPa.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:
1) przyjąć kolejność (schemat) postępowania,
2) ustalić średnicę wewnętrzną kolumny rur solankowych i zewnętrzną rur wodnych,
3) wyznaczyć średnicę zastępczą,
4) obliczyć opory przepływu solanki w przestrzeni pierścieniowej,
5) obliczyć ciśnienie tłoczenia wody na głowicy,
6) zaprezentować wyniki obliczeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:
– tablice matematyczno-fizyczne,
– nomogram Colebrooka-White'a,
– dane techniczne rur,
– literatura z zakresu hydrauliki,
– kalkulator,
– zeszyt.

4.4.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) podać typy i rodzaje kształtów komór powstałych w procesie ługowania soli kamiennej?	□	□
2) scharakteryzować sposób ługowania soli w obiegu normalnym?	□	□
3) wykazać różnice w technologii ługowania soli dla poszczególnych rodzajów obiegu?	□	□
4) wyjaśnić cel stosowania płynów izolujących strop ługowanej komory solnej?	□	□
5) podać parametry, jakie mają wpływ na wartość ciśnienia tłoczenia wody do otworu?	□	□
6) obliczyć straty ciśnienia tłoczenia wody w prostym odcinku kolumny rur?	□	□

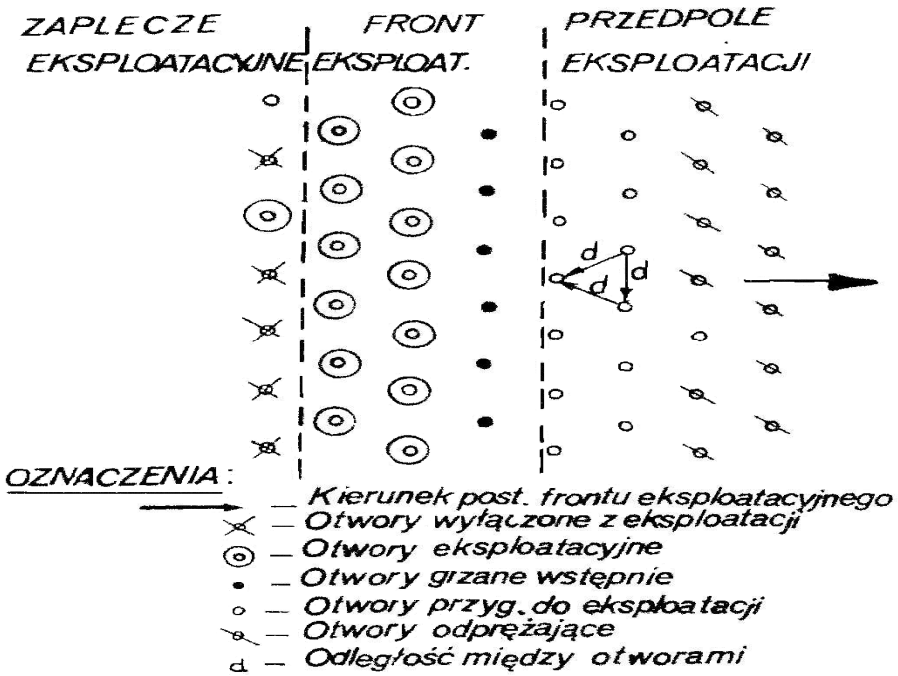
7) scharakteryzować charakter przepływu wody w rurach eksploatacyjnych? ☐ ☐
8) obliczyć wartość współczynnika oporów liniowych dla przepływu cieczy w rurach? ☐ ☐
9) posłużyć się nomogramem Colebrooka-White'a? ☐ ☐
10) obliczyć wartość głowicowego ciśnienia wody, tłoczonej do otworu? ☐ ☐

4.5. Technologia eksploatacji siarki metodą otworową

4.5.1. Materiał nauczania

Eksploatacja siarki metodą otworową odbywa się na polu górniczym, na którym wykonano szereg otworów, gdzie w trakcie eksploatacji złoża pełnią one stopniowo różne funkcje. Otwory powinny być usytuowane w rzędach, przy czym wyprzedzenie wierceń powinno wynosić, co najmniej 3 rzędy w stosunku do otworów eksploatacyjnych. Otwory mogą być wiercone według siatki trójkątnej, o następujących przykładowych modułach: 30 x 30, 45 x 45, 60 x 60, 30 x 60, 45 x 60 m (rys. 22).

Pole górnicze jest tym miejscem, gdzie znajdują się wszystkie rodzaje otworów, niezbędnych do prowadzenia eksploatacji wraz urządzeniami do rozdziału mediów stosowanych w procesie wytopu siarki i urządzeniami pomocniczymi.



Rys. 22. Schemat pola górniczego wraz z siatką otworów [2, s. 93]

Eksploatacja złoża siarkowego odbywa się metodą podziemnego wytopu siarki (PWS), w której siarka w złożu zostaje wytopiona za pomocą gorącej wody tłoczonej z powierzchni a następnie jako płynna wydobywana jest na powierzchnię.

Na polu eksploatacyjnym znajdują się następujące rodzaje otworów (rys. 22):

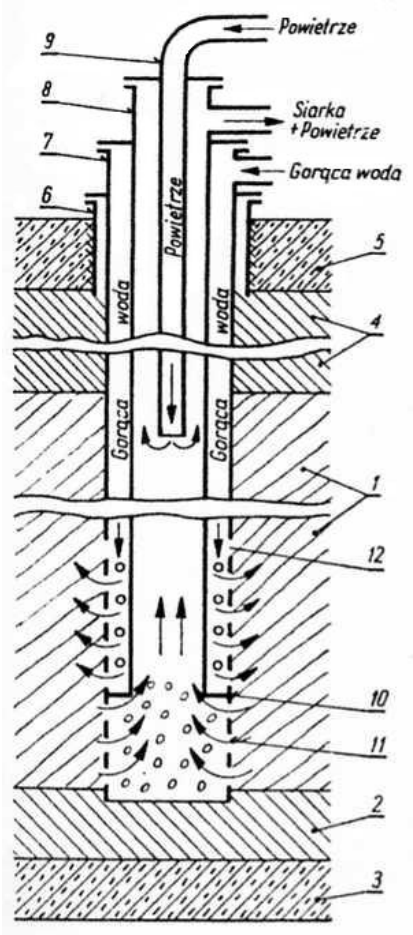
- otwory wyłączone z eksploatacji i przeznaczone do likwidacji (stanowią zaplecze eksploatacji),
- otwory eksploatacyjne, z których aktualnie wydobywa się siarkę,
- otwory wstępnie grzane (znajdują się w pierwszej fazie eksploatacji),
- otwory przygotowane do eksploatacji (wyposażone w głowicę eksploatacyjną),
- otwory odprężające, które służą do odprowadzania wód złożowych.

Otwory wstępnie grzane i eksploatacyjne stanowią tzw. front eksploatacyjny. Natomiast otwory przygotowane do eksploatacji i otwory odprężające stanowią przedpole eksploatacyjne.

Pole eksploatacyjne powiązane jest z zapleczem z urządzeniami do transportu mediów technologicznych i siarki płynnej. W procesie eksploatacji siarki metodą otworową (od nazwiska wynalazcy nazywanej metodą Frasha) stosuje się następujące płyny technologiczne:

- gorąca woda technologiczna,
- para wodna,
- sprężone powietrze,
- woda zimna,
- woda złożowa.

Zasadę wydobywania siarki ze złoża metodą PWS, na podstawie pracy jednego otworu eksploatacyjnego, przedstawia rys. 23.



Rys. 23. Zasada eksploatacji otworowej siarki metodą Frasha: 1 – złoże rudy siarkowej, 2 – anhydryty, 3 – skała płonna, 4 – szczelny górotwór jałowy, 5 – nieszczelny nadkład, 6 – kolumna rur okładzinowych, np. 8 ⅝”, 7 – kolumna eksploatacyjna - wodna, np. 6”, 8 – kolumna eksploatacyjna – siarkowa, np. 3½”, 9 – kolumna powietrzna, 10 – pierścień redukcyjny, 11 – dolna sekcja perforacji, 12 – górna sekcja perforacji [10, s. 506]

Pod ciśnieniem przekraczającym 1 MPa wtłacza się do odwiertu kolumną wodną 7 gorącą wodę o temperaturze ok. 160°C, która przez otwory w górnej sekcji perforacji 12 przepływa do porowatego złoża siarki. We wstępnym etapie eksploatacji (okres wstępnego grzania) następuje nagrzewania się skał wokół odwiertu. Jeżeli temperatura przyodwiertowej strefy złoża osiągnie wartość 115°C – 119°C następuje wytopienie się siarki, która przechodzi do stanu ciekłego. Ciekła siarka ma około dwukrotnie większą gęstość od gęstości zatłaczanej wody. Powoduje to spływ siarki przez dolną sekcję perforacji 11, do dolnej części odwiertu, gdzie gromadzi się wewnątrz perforowanych rur 7, sięgając dolnej części eksploatacyjnej kolumny rur 8.

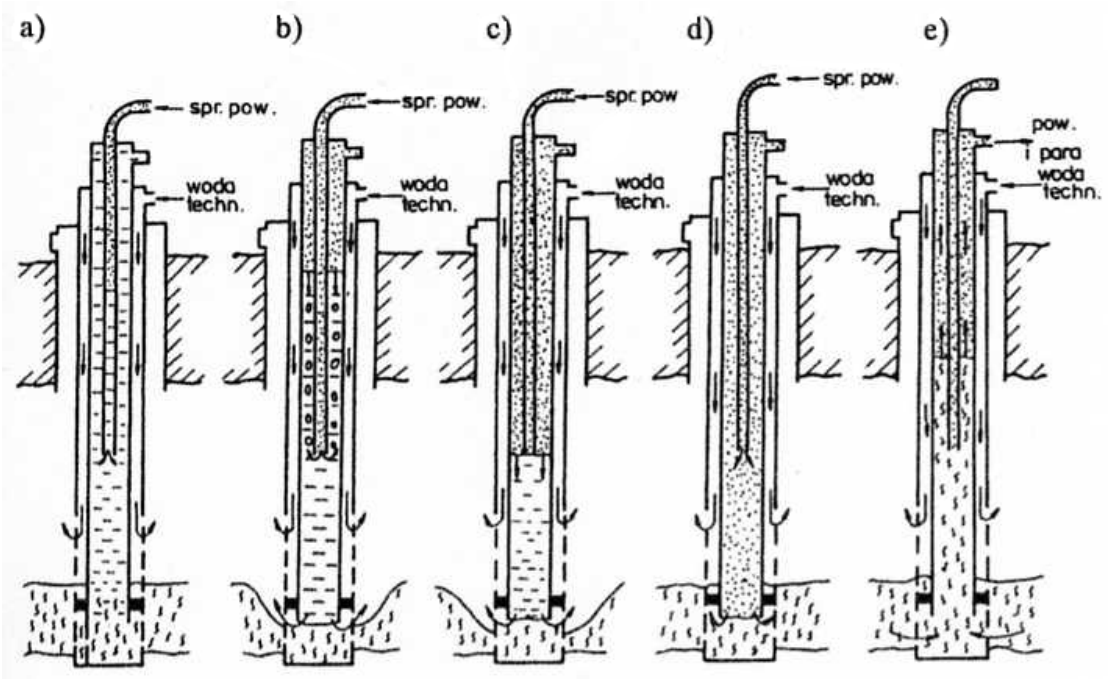
Temperatura wody technologicznej (ok. 160°C) ograniczona jest właściwościami fizycznymi siarki. Powyżej tej temperatury gwałtownie wzrasta lepkość siarki, co utrudnia jej wytapianie ze złoża i uniemożliwia wypływ na powierzchnię.

Zapoczątkowanie eksploatacji płynnej siarki, czyli jej wypływu na powierzchnię, poprzedza odprężenie odwiertu. Polega ono na usunięciu z kolumny rur siarkowych 8 wody, a tym samym obniżeniu ciśnienia w tych rurach do wartości ciśnienia atmosferycznego. Daje to możliwość wpłynięcia płynnej siarki do wnętrza rur 8, do osiągnięcia dolnej części kolumny powietrznej 9. Usunięcie wody z kolumny rur siarkowych 8 można uzyskać poprzez zatłaczanie do odwiertu sprężonego powietrza (rys. 23). Pozwala to na całkowite usunięcie wody technologicznej z kolumny rur siarkowych poprzez wtłoczenie jej do złoża przez dolną perforację (rys. 24 c, d).

W kolejnej fazie odprężania odwiertu płynna siarka pod wpływem ciśnienia złożowego podnosi się ku górze, osiągając wysokość powyżej dolnej część kolumny powietrznej (rys. 24 e).

Wypływ płynnej siarki na powierzchnię odbywa się przestrzenią pierścieniową, pomiędzy kolumną rur siarkowych 8, a kolumną rur 9 (rys. 23). Ciśnienie złożowe jest zbyt małe, aby stopiona siarka mogła samoczynnie wypełnić rurę siarkową, a tym samym samoczynnie wypłynąć na powierzchnię. Wypływ siarki na powierzchnię odbywa się za pomocą gazodźwigu zasilanego sprężonym powietrzem, tłoczonym do odwiertu kolumną rur 9, np. rurkami o średnicy 1”. Siarka wypływa na powierzchnię w postaci napowietrzonej, co wymaga jej odpowietrzania, np. w zbiornikach, do których kierowana jest rurociągami prowadzącymi z otworów eksploatacyjnych.

Otwór eksploatacyjny powinien być włączony do systemu kontrolno-pomiarowego, począwszy od rozpoczęcia wstępnego grzania złoża, aż do wyłączenia otworu z eksploatacji.



Rys. 24. Fazy odprężania odwiertu przy pomocy sprężonego powietrza [4, s. 224]

W wyniku wtłaczania do złoża wody o podwyższonej temperaturze, następuje wzrost ciśnienia złożowego. Dążąc do utrzymania stałego ciśnienia w złożu, odbiera się ze złoża znaczne ilości wody. Proces ten nazywa się odprężaniem złoża. Funkcję otworów odprężających, poza otworami odwierconymi specjalnie do tego celu (rys. 22) mogą pełnić otwory przygotowane od eksploatacji, wyczekujące na program włączenia ich pracy na

przedpolu wydobywczym. Maksymalną temperaturę odbieranych wód złożowych z poszczególnych otworów odprężających określa dozór geologiczny w uzgodnieniu ze służbą eksploatacyjną zakładu górniczego [9].

Zasady bezpieczeństwa w procesie PWS

W procesie wytopu siarki stosuje się wodę o temperaturze znacznie przewyższającej 100°C pod ciśnieniem powyżej 1 MPa. W tych warunkach powstanie nieszczelności w instalacji gorącej wody, w rurociągach tłocznych, powoduje powstawanie dużych ilości pary wodnej, co grozi poparzeniem ludzi. Również zagrożeniem dla człowieka są rurociągi płynnej siarki, która wypływając z odwiertu posiada temperaturę powyżej 100°C.

Rurociągi przeznaczone do transportu cieczy (gorącej wody, płynnej siarki) powinny być skutecznie izolowane przed możliwością poparzenia ludzi. Rurociągi przeznaczone do transportu cieczy technologicznych oraz wód złożowych w miejscach krzyżowania się z drogami kopalnianymi powinny być zabezpieczone przed uszkodzeniem.

Przy pracach związanych z oczyszczaniem siarki, jej rozlewaniem i zestalaniem na składowiskach należy zachować szczególną ostrożność w celu uniknięcia poparzenia płynną siarką.

Przy prowadzeniu eksploatacji siarki metodą otworową wymagane jest posiadanie odpowiednich urządzeń przeciwpożarowych [9].

Postępowanie w przypadku oparzeń

W przypadku oparzenia ciała, np. gorącą wodą lub parą wodną, należy:

- odizolować poszkodowanego od czynnika parzącego,
- schłodzić oparzoną część ciała, najlepiej bieżącą zimną wodą prze minimum 30 min.,
- zdjąć odzież, najlepiej rozcinając, aby nie uszkodzić tkanek,
- po ochłodzeniu na oparzoną powierzchnię ciała nałożyć czysty jałowy opatrunek osłonowy,
- rozdzielić gazą oparzone powierzchnie palców,
- ułożyć poszkodowanego w pozycji półsiedzącej, aby część oparzona byłą uniesiona u zabezpieczona przed dodatkowymi urazami,
- wezwać pogotowie lub zawieźć poszkodowanego do lekarza.

Udzielając pierwszej pomocy nie należy stosować na ranę spirytusu, smarować oparzeń kremami i tłuszczami ani przekłuwać pęcherzy.

Zagrożenia środowiska

Procesowi eksploatacji siarki metodą PWS towarzyszy osiadanie terenu, które następuje w miarę postępującego wytopu siarki i spadku ciśnienia złożowego. Osiadanie to nie jest równomierne na całej powierzchni eksploatowanego obszaru złoża. Lokalne obniżenia powierzchni mogą dochodzić do 5 m i są zależne od stopnia wytopu siarki ze złoża oraz właściwości fizykochemicznych skał serii złożowej. Osiadanie terenu może prowadzić do podniesienia się poziomu wód gruntowych, a także powstania zawodnień i zalewisk.

Brak skutecznych metod izolowania poziomu wód złożowych prowadzi do powstania niekontrolowanych samowypływów gorących wód złożowych, zwanych często erupcjami, z uwagi na charakter i przebieg zjawiska. Samowypływy te mogą dezorganizować proces technologiczny, powodują zaburzenia w gospodarowaniu wodą w złożu. Są też źródłem skażenia wód czwartorzędowych, gleby i atmosfery związkami siarki.

Na polu eksploatacyjnym wykonuje się otwory obserwacyjne, w których prowadzi się obserwacje, pomiary i badania, ustalające poziom wód i wielkość ciśnienia wód, a w zależności od potrzeb skład chemiczny tych wód i ich temperaturę. Obserwację i pomiary prowadzi się także w wyznaczonych punktach udostępniania i użytkowania wód

czwartorzędowych i trzeciorzędowych, leżących w obrębie przewidywanej strefy zasięgu wpływów eksploatacji.

Odpady pochodzące z procesu oczyszczania siarki należy gromadzić na wyznaczonych składowiskach [9].

4.5.2. Pytania sprawdzające

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

1. Co nazywamy polem górniczym przy eksploatacji otworowej siarki?
2. Według jakiej siatki rozmieszcza się otwory na polu górniczym?
3. Jakie rodzaje otworów znajdują się na polu górniczym eksploatacji siarki metodą PWS?
4. Które otwory stanowią front eksploatacyjny, a które przedpole eksploatacji?
5. Jaką funkcję spełniają otwory odprężające?
6. Jakie rodzaje płynów stosuje się w procesie PWS?
7. Jakie parametry powinna posiadać woda technologiczna wtłaczana do odwiertu eksploatacyjnego siarki?
8. Jakie właściwości ciekłej siarki decydują o jej napływie ze złoża do otworu eksploatacyjnego?
9. Na czym polega proces odprężania otworu?
10. Na czym polega proces odprężania złoża?
11. Którymi kolumnami rur przepływają poszczególne płyny w otworze?
12. W jakiej postaci siarka wypływa z otworu na powierzchnię?
13. Jakie zagrożenia dla człowieka związane są z eksploatacją siarki metodą PWS?
14. Jakie zagrożenia dla środowiska stwarza eksploatacja siarki metodą otworową?

4.5.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Wykonaj schemat rozmieszczenia otworów na polu górniczym, na którym odbywa się eksploatacja siarki metodą podziemnego wytopu. Do wykonania schematu przyjmij następujące założenia:

- szerokość pola eksploatacyjnego – 400 m,
- długość pola na którym będzie odbywać się eksploatacja – 1000 m,
- zaplecze eksploatacyjne stanowi jeden rząd otworów,
- otwory należy rozmieścić według modułu 45 x 45 m.

Plan pola górniczego możesz wykonać w kolorze lub w wersji czarnobiałej.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

1) przyjąć skalę według której wykonasz zarys pola górniczego,
2) określić rodzaje otworów i przyjąć dla nich graficzne oznaczenia lub kolory,
3) obliczyć odległości odwiertów na planie,
4) nanieść na planie punkty, w których zlokalizowane zostaną poszczególne odwierty,
5) wyznaczyć na planie zaplecze eksploatacyjne, front eksploatacyjny i przedpole eksploatacji,
6) oznaczyć poszczególne otwory,
7) wyznaczyć kierunek postępowania frontu eksploatacyjnego,
8) zaprezentować wynik swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:
- przybory do rysowania,
- kredki lub flamastry,
- kartki papieru A4, ksero lub kratkowane.

Ćwiczenie 2

Wykonaj schemat odprężania otworu eksploatacyjnego siarki. Na kolejnych rysunkach przedstaw poszczególne etapy odprężania otworu, które prowadzą do uruchomienia eksploatacji – wypływu siarki na powierzchnię. Cały schemat wykonaj w wersji kolorowej.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:
1) wykonać schemat konstrukcji otworu eksploatacyjnego siarki w zakresie niezbędnym do wykonania zadania,
2) przygotować, np. poprzez skserowanie kilka kopii tego rysunku,
3) ustalić kolory dla poszczególnych rodzajów cieczy,
4) wykonać na kopiach konstrukcji otworu poszczególne fazy odprężania (rysunek wykonaj korzystając z ołówka),
5) nanieść na rysunki odpowiednie kolory,
6) zaprezentować efekty swojej pracy,
7) dokonać samooceny pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:
- przybory rysunkowe,
- kredki lub flamastry,
- papier kserograficzny lub papier milimetrowy.

4.5.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) określić sposób rozmieszczenia otworów eksploatacyjnych siarki na polu górniczym?	□	□
2) wymienić rodzaje otworów występujących w trakcie eksploatacji złoża siarki?	□	□
3) zakwalifikować poszczególne otwory do określonej strefy eksploatacyjnej?	□	□
4) wymienić rodzaje płynów stosowanych w procesie PWS?	□	□
5) określić parametry wody technologicznej i uzasadnić ich wartość?	□	□
6) scharakteryzować proces odprężania otworu eksploatacyjnego?	□	□
7) wyjaśnić cel i sposób odprężania złoża?	□	□
8) scharakteryzować pracę odwiertu eksploatacyjnego siarki?	□	□
9) omówić zagrożenia, jakie dla człowieka występują w czasie eksploatacji siarki metodą otworowa?	□	□
10) podać przykłady negatywnego wpływu na środowisko eksploatacji otworowej siarki?	□	□

5. SPRAWDZIAN OSIĄGNIĘĆ

INSTRUKCJA DLA UCZNIA

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

Powodzenia!

ZESTAW ZADAŃ TESTOWYCH

1. Sól kamienna jest skałą
   a) magmową.
   b) metamorficzną.
   c) osadową.
   d) okruchową.

2. Złoża soli kamiennej w Polsce występują na obszarze
   a) Górnego Śląska.
   b) Warmii i Mazur.
   c) Podlasia.
   d) Kujaw.

3. Przykładem złoża soli występującego w postaci wysadu solnego jest złoże
   a) Wieliczka.
   b) Łeba.
   c) Mogilno.
   d) Sieroszowice.

4. Pod względem chemicznym minerał halit jest chlorkiem
   a) sodu.
   b) potasu.
   c) wapnia.
   d) magnezu.

5. Rozpuszczalność NaCl w wodzie
   a) rośnie w niewielkim stopniu ze wzrostem temperatury.
   b) szybko rośnie przy wzroście temperatury.
   c) maleje ze wzrostem temperatury.
   d) nie zależy od temperatury.

6. Jeżeli w 2 litrach wody rozpuścimy 400 g soli, to stężenie roztworu wynosi
   a) 0,8 kg/m^3
   b) 0,4 kg/m^3
   c) 0,2 kg/m^3
   d) 0,02 kg/m^3

7. Masa 3 dm^3 roztworu solanki o gęstości 1,15 kg/dm^3 wynosi
   a) 2,45 kg
   b) 2,85 kg
   c) 3,15 kg
   d) 3,45 kg

8. Do siarczków, jako minerałów rud siarkowych, zaliczamy
   a) piryt.
   b) halit.
   c) gips.
   d) baryt.

9. Rudy siarkowe uważamy za bogate w siarkę, jeżeli jej zawartość w rudzie wynosi
   a) od 6 do 15%
   b) od 10 do 25%
   c) do 25%
   d) powyżej 2 %

10. W kwasie siarkowym H_2SO_4 wartościowość siarki wynosi
   a) – 2.
   b) + 2.
   c) + 4.
   d) + 6.

11. Temperatura topnienia siarki odmiany jednoskośnej wynosi około
   a) 95,5^{o}C.
   b) 110°C.
   c) 119°C.
   d) 160°C.

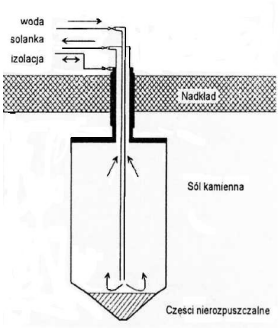
12. Jeżeli długość kolumny rur, którymi tłoczona jest woda do otworu zmaleje dwukrotnie, to opory przepływu wody w rurach
   a) zmaleją dwukrotnie.
   b) zmaleją czterokrotnie.
   c) wzrosną dwukrotnie.
   d) wzrosną czterokrotnie.

13. Działanie toksyczne wywołuje związek siarki o nazwie
   a) siarkowodór.
   b) anhydryt.
   c) piryt.
   d) siarczan wapnia.

14. Wyposażenie wgłębne otworu do eksploatacji soli kamiennej stanowią
   a) kolumna wstępna i prowadnikowa.
   b) kolumna prowadnikowa i ługownicza.
   c) współśrodkowe kolumny ługownicze.
   d) kolumna wodna i powietrzna.

15. W otworze eksploatacyjnym siarki kolumna eksploatacyjna – siarkowa umieszczona jest
   a) wewnątrz kolumny okładzinowej.
   b) wewnątrz kolumny eksploatacyjnej wodnej.
   c) wewnątrz kolumny eksploatacyjnej powietrznej.
   d) równolegle do kolumny eksploatacyjnej wodnej.

16. Poniższy schemat przedstawia ługowanie soli kamiennej w obiegu
   a) klasycznym – odwrotnym.
   b) klasycznym – normalnym.
   c) odwrotnym.
   d) normalnym.



17. Celem stosowania oleju solarowego w procesie ługowania soli jest izolacja
   a) spągu komory.
   b) ściany komory.
   c) stropu komory.
   d) boczno-stropowa komory.

18. Jeżeli prędkość przepływu wody w rurach wzrośnie dwukrotnie, to strata ciśnienia w tym przypadku
   a) wzrośnie dwa razy.
   b) wzrośnie cztery razy.
   c) zmaleje dwa razy.
   d) zmaleje cztery razy.

19. Jeżeli przepływ wody w rurach, których pole przekroju poprzecznego wynosi 0,01 m^2, odbywa się z prędkością 2 m/s, to rurociągiem tym płynie
   a) 0,05 m^3/s wody.
   b) 0,02 m^3/s wody.
   c) 0,1 m^3/s wody.
   d) 0,2 m^3/s wody.

20. Słup wody o wysokości 500 m, której ciężar właściwy wynosi 10000 N/m^3, wywiera na dno otworu ciśnienie
   a) 5 MPa
   b) 20 MPa
   c) 50 MPa
   d) 200 MPa

21. Na polu górniczym eksploatacji siarki metodą otworową front eksploatacyjny tworzą otwory
   a) eksploatacyjne i przygotowane do eksploatacji.
   b) eksploatacyjne i odprężające.
   c) wstępnie grzane i odprężające.
   d) eksploatacyjne i wstępnie grzane.

22. W odwiercie do PWS kolumna eksploatacyjna – wodna służy do
   a) tłoczenia gorącej wody.
   b) tłoczenia zimnej wody.
   c) eksploatacji wody złożowej.
   d) eksploatacji solanki.

KARTA ODPOWIEDZI

Imię i nazwisko .....

Wydobywanie soli kamiennej i siarki otworami wiertniczymi

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

6. LITERATURA

1. Dobkowska Z., Pazdro K.M.: Szkolny poradnik chemiczny. WSiP, Warszawa 1986
2. Gutman E., Kwiecień K.: Polska siarka. Zakład Wydawniczo-Usługowy A. Konieczny, Warszawa 1992
3. Jarosz A.: Hydraulika. Wydawnictwo Hortpress Sp z o.o., Warszawa 1998
4. Jewulski J.: Napowierzchniowe zagospodarowanie złóż kopalin ciekłych. Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Techniczne AGH, Kraków 2003
5. Kutsman A., Poborska-Młynarska K., Urbańczyk K.: Zarys otworowego ługownictwa solnego. Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Techniczne AGH, Kraków 2002
6. Mizerski W.: Małe tablice chemiczne. Wydawnictwo Adamantan, Warszawa 2004
7. Przegląd Geologiczny.: Miesięcznik Nr 1 z 2004 r.
8. Radlicz-Rühlowa H., Szuster A.: Hydrogeologia i hydraulika z elementami hydrogeologii. WSiP, Warszawa 1992
9. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w zakładach górniczych wydobywających kopaliny otworami wiertniczymi (Dz. U. Nr 109, poz. 961)
10. Wilk Z.: Eksploatacja złóż płynnych surowców mineralnych. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1969

Strony internetowe

11. www.pl.wikipedia.org
12. www.pgi.gov.pl