

ZNACZENIE ZNAJOMOŚCI BUDOWY WEWNĘTRZNEJ ZŁOŻA SIARKI DLA PROWADZENIA EKSPLOATACJI METODĄ OTWOROWĄ

THE IMPORTANCE OF GEOLOGICAL FEATURES OF NATIVE SULPHUR DEPOSITS FOR MANAGING THEIR EXPLOITATION BY UNDERGROUND MELTING

Marek Nieć – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków

Edyta Sermet – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

Przemysław Bokwa – Kopalnie Dolomitu S. A. w Sandomierzu

Złoża siarki rodzimej eksploatowane metodą podziemnego wytapiania cechują się złożoną budową, która jest wynikiem wielu procesów, jakie prowadziły do ich utworzenia i ostatecznego uformowania. Stopień wykorzystania zasobów i zużycie wody gorącej na tonę siarki zależą od zasobności przepuszczalności skał tworzących złożę, form występowania siarki (tekstury rudy), rozmieszczenia partii skał o zróżnicowanej porowatości i przepuszczalności. Skrasowienie złoża powoduje bardzo duże, lokalne i kierunkowe zróżnicowanie jego parametrów hydrogeologicznych. Dla właściwego rozumienia i przewidywania procesów zachodzących w złożu w czasie wytopu siarki, prognozowania jego efektów i właściwego sterowania eksploatacją niezbędna jest pełna informacja o złożu. Dlatego też, nieodzowne jest wykonywanie wszelkich otworów wiertniczych niezbędnych dla prowadzenia wydobywania siarki jako pełnordzeniowych, gdyż stosowane badania geofizyczne nie dostarczają kompletnej informacji o złożu..

Słowa kluczowe: złoża, siarka, eksploatacja metodą otworową

The native sulphur deposits exploited by underground melting were formed by varied natural processes, and has composed internal structure, that affects economic sulphur extraction. Sulphur resources extraction rate, and quantity of necessary water consumption depend on varied sulphur content and ore porosity, as well as of size and distribution of sulphur aggregates (ore texture) and varied permeability of rocks. Deposit karstification is the main factor affecting local and directional variation of deposit hydrogeological features. The full, correct knowledge of deposit features is indispensable for understanding, prediction and management of sulphur melting and extraction. The geophysical borehole logging and aerial seismic investigations are valuable, but incomplete source of geological data on detailed deposit features. Therefore geological core logging of all boreholes, drilled for sulfur extraction is also necessary.

Keywords: deposits, native sulphur, underground melting (Frasch mining)

Wstęp

Cechą istotną eksploatacji kopalni metodą otworową jest brak możliwości bezpośredniej obserwacji w złożu jej przebiegu i efektów. Zależą one od:

- czynników technologicznych – w przypadku złóż siarki eksploatowanych metodą podziemnego wytapiania od ciśnienia i ilości wtłaczanej wody grzewczej, czasu jej tłoczenia oraz ilości odbieranej wytopionej siarki,
- warunków geologicznych i hydrogeologicznych w jakich przebiega wytop siarki.

Czynniki technologiczne mogą być odpowiednio kontrolowane i sterowane. Warunki geologiczne i hydrogeologiczne mogą być tylko rejestrowane. Konieczne jest zatem dobre ich rozpoznanie, w szczególności tych czynników, które mogą wpływać na przebieg i wyniki eksploatacji.

Złoża siarki rodzimej eksploatowane metodą podziemnego wytapiania cechują się złożoną budową, będącą wynikiem wielu procesów, które prowadziły do ich utworzenia i ostatecznego

uformowania. Identyfikacja tych czynników, poznanie sformułowanych przez nie cech budowy złóż siarki, które mają wpływ na wyniki eksploatacji jest istotne dla formułowania zasad sterowania jej przebiegiem w celu możliwie jak najlepszego wykorzystania złoża oraz minimalizacji kosztów eksploatacji.

Zasady eksploatacji siarki metodą podziemnego wytapiania

Podstawą dla eksploatacji siarki metodą podziemnego wytapiania jest jej topliwość w temperaturze 119,8°C i niska lepkość w temperaturze do ok. 160°C, powyżej której następuje jej polimeryzacja i transformacja w odmianę o wysokiej lepkości, plastyczną siarkę μ .

Istotą metody podziemnego wytapiania jest zatłaczanie do złoża wody o temperaturze około 160 - 170°C (wody przegrzanej, technologicznej). Po wygrzaniu złoża, roztopiona siarka spływa do odwiertu, skąd na zasadzie „airliftu” wnoszona jest na powierzchnię. Typowy otwór eksploatacyjny składa się z 5 współśrodkowych kolumn rur:

- osłonowych (w utworach czwartorzędowych i nadkładzie złoża) zacementowanych od stropu złoża do powierzchni,
- zaopatrzoną w dolnej części w filtr złożony z dwu odcinków perforowanych, rozdzielonych poprzeczną przegrodą, którą przez górny odcinek filtra zatłacza się wodę,
- „siarkową”, którą odbierana jest siarka spływająca do otworu przez dolny odcinek filtra,
- „powietrzną”, którą tłoczona jest sprężone powietrze spieniające siarkę i umożliwiające jej wypływ na powierzchnię.

W celu obniżenia nadciśnienia wywołanego zatłaczaniem dużych ilości wód technologicznych i sterowania kierunkiem ich przepływu wykonuje się otwory odprężające na przedpolu obszaru, w którym wykonane są otwory eksploatacyjne. Odbierana z nich woda technologiczna zostaje dogrzana i ponownie zatłoczona do złoża. Stosowany jest zatem zamknięty obieg wody.

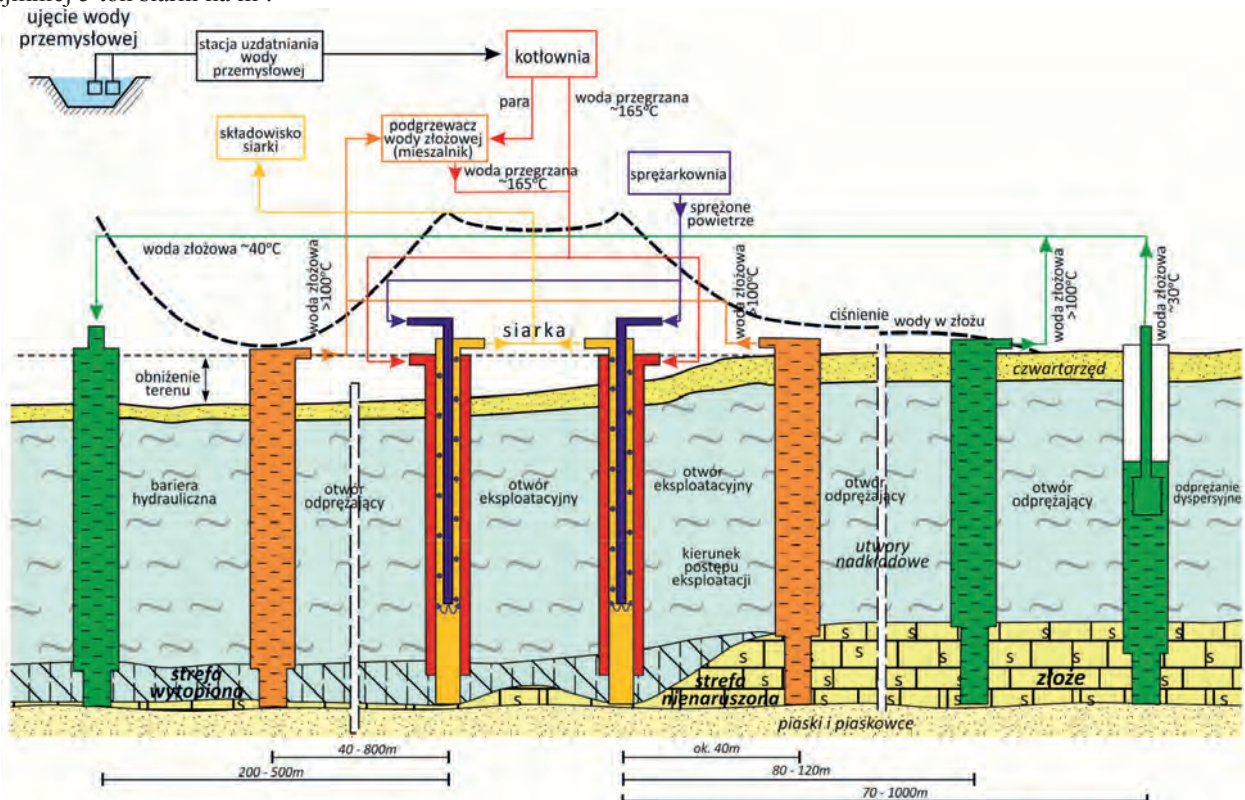
Schemat eksploatacji metodą podziemnego wytapiania z zamkniętym obiegiem wody przedstawiono na rysunku 1.

Warunki geologiczne prowadzenia eksploatacji siarki metodą otworową i jej efektywności

Podstawowymi warunkami niezbędnymi dla eksploatacji otworowej są:

- szczelność nadkładu i jego miąższość ponad 80 m, dla równoważenia ciśnienia wody gorącej włączanej do złoża,
- nieprzepuszczalne lub słabo przepuszczalne skały pod złożowe,
- przepuszczalne skały tworzące złożo o wodochłonności w granicach 0,1-3 m³/h w profilu złoża przy ciśnieniu 1 MPa.

Ponadto złożo powinno charakteryzować się zasobnością co najmniej 5 ton siarki na m².



Rys. 1. Schemat eksploatacji siarki metodą podziemnego wytapiania (Kirejczyk 1996)

Fig. 1. Layout of borehole sulphur mining (after Kirejczyk 1996)

O efektywności eksploatacji decydują stopień wykorzystania zasobów i zużycie wody gorącej (lub ciepła) na tonę siarki. Zależą one przede wszystkim od zasobności złoża i przepuszczalności skał tworzących złożo. Zróżnicowanie tych dwóch cech jest przedmiotem szczególnego zainteresowania. Nie zwraca się natomiast często uwagi na szczegóły budowy wewnętrznej złoża i jej zróżnicowanie. Obserwacje wykonywane w otworach wierconych na częściowo wyeksploatowanym złożu (otworach reeksploatacyjnych), w szczególności w złożach trudnych do eksploatacji, pokazują bardzo zróżnicowany obraz przebiegu wytapiania siarki uzależniony od zróżnicowania jej zawartości i form występowania (tekstury rudy), porowatości wapieni siarkonośnych, formy i rozmieszczenia partii skał o zróżnicowanej przepuszczalności.

Podstawowe cechy budowy złóż siarki

Złoża siarki rodzimej eksploatowane metodą podziemnego wytapiania tworzą wapienie siarkonośne. Powstały one w wyniku redukcji gipsów przez węglowodory, przy udziale bakterii (Pawłowski i in. 1979, Nieć 1992). W złożach polskich, gipsy i zastępujące je wapienie, występują w utworach miocenu pomiędzy piaskami i mułwami warstw baranowskich lub wapieniami litotamniowymi a kompleksem utworów ilastych określanych formacją z Machowa, w obrębie której wyróżnia się nieformalnie w dolnej części margliste warstwy pektenowe (spiralisowe) i wyżej leżące ily krakowieckie, częściowo z przewarstwieniami piaszczystymi i/lub słabo zwięzłych piaskowców.

Złoża siarki pojawiają się w poziomach gipsów, na ograniczonym obszarze w strefach tektonicznie wyniesionych. Gipsy niezastąpione przez wapienie siarkonośne obecne są na peryferiach złóż, zachowane są także niekiedy w spągu, rzadziej

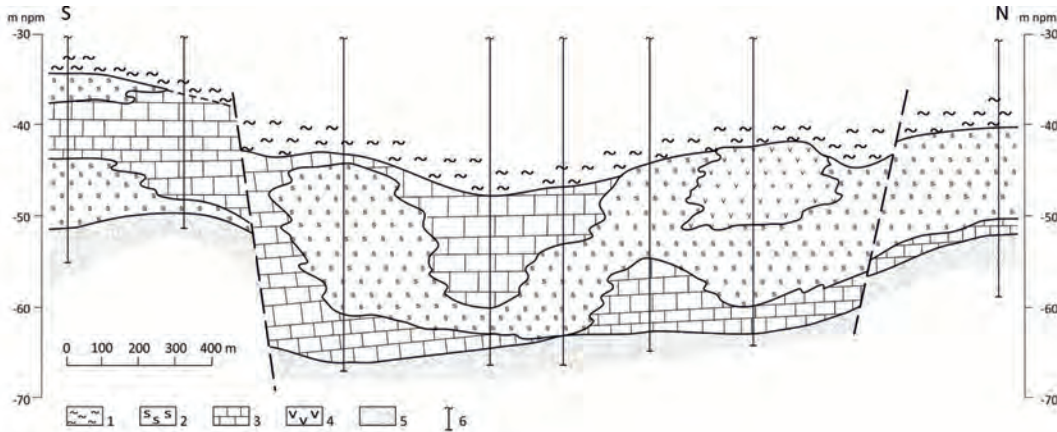
w stropie wapieni lub w postaci nieregularnych gniazd - „wysp gipsowych”, a także w obrębie złoża (rys. 2).

W profilu serii gipsowej występują dwa typy skał w kilku odmianach: gipsy wielokryształiczne w dolnej części serii oraz drobnoziarniste, zbite, cienko warstwowane, laminowane w jej części górnej. W części środkowej serii lub jej stropie pojawiają się często brekcje gipsowe. W wapieniach zastępujących gipsy wielokryształiczne siarka tworzy skupienia nieregularne plamiste, gniazdowe. Często są to pseudomorfozy po kryształach gipsu. W wapieniach zastępujących gipsy zbite, warstwowane siarka tworzy skupienia gronkowe, smugowe. W obu przypadkach siarka jest zwykle bardzo drobnokryształiczna, zbita

określana jako „woskowa”. Niekiedy w złożu występują przewarstwienia margliste dziedziczone po gipsach zailonych.

Na głębokości ponad ok. 200 m gips przechodzi w anhydryt, który w strefie przejściowej do wapieni siarkonośnych jest zastępowany przez wtórny gips drobnokryształiczny. Zastępujący go wapień siarkonośny jest drobnokryształiczny, a siarka występuje w formie drobno rozproszonej zwykle plamście lub smugowo.

W wyniku procesów tektonicznych, które zmieniły głębokość położenia złóż, następowały zmiany warunków krążenia i chemizmu wód złożowych. W szczególności zmiany głębokości położenia złóż ułatwiały infiltrację wód powierzch-



Rys. 2. Zmienność lokalna budowy złoża. Fragment złoża Jeziórko (Nieć i in. 2007)

1 – iły i margle warstw pektenowych, 2 – wapień siarkonośny, 3 – wapień pogipsowe ponne, 4 – gipsy, 5 – piaski warstw baranowskich, 6 – otwory wiertnicze

Fig. 2. Structural features of sulphur deposit. Jeziórko mine (after Nieć et al., 2007)

Tab. 1. Formy występowania siarki. Tekstury wapieni siarkonośnych

Tab. 1. Textures of sulphur bearing limestones

Procesy kształtujące występowania siarki		Tekstury wapieni siarkonośnych	Rozmiary skupień siarki	Rodzaj siarki	Porowatość rudy	Wytapialność rudy
Zastępowanie gipsów	wielokryształicznych	plamiste, gniazdowe, częste pseudomorfozy pogipsowe	do kilku centymetrów	woskowa, kryształiczna	duża wapień kawerniste	dobra w zależności od kawernistości 70-90%
	drobnoziarnistych, warstwowanych laminowanych	drobno-gniazdkowe, gronkowe, smugowe	kilka do kilkunastu milimetrów	woskowa	mała, wapień zbite niekiedy wapień drobnokawerniste	przeciętna około 60%
	brekcyjnych	plamiste, gniazdowe	do kilku centymetrów	woskowa, kryształiczna	duża, wapień kawerniste	dobra w zależności od kawernistości 70-90%
	drobno-kryształicznych poanhydrytowych	drobno rozproszone, impregnacyjne	do kilku milimetrów	kryształiczna	bardzo mała, praktycznie brak	słaba około 30%
Rekryształizacja wapieni		wstęgowe	do kilkunastu milimetrów we wstęgach na przemian z kalcytem	woskowa, kryształiczna	duża, wapień kawerniste	bardzo dobra 80-90%
Redystrybucja siarki, kras		plamiste, pseudo brekcjowe	do kilku, niekiedy do kilkunastu centymetrów	pylasta	duża	bardzo dobra 80-90%
Wietrzenie		plamiste	jw.	pylasta	duża	słaba

niowych. Mobilność siarki, w zależności od zmieniających się właściwości fizycznych i chemicznych wód złożowych, powodowała jej redystrybucję w obrębie złoża i zmiany budowy złóż w zależności od głębokości położenia (Nieć 1986, 1992a, b).

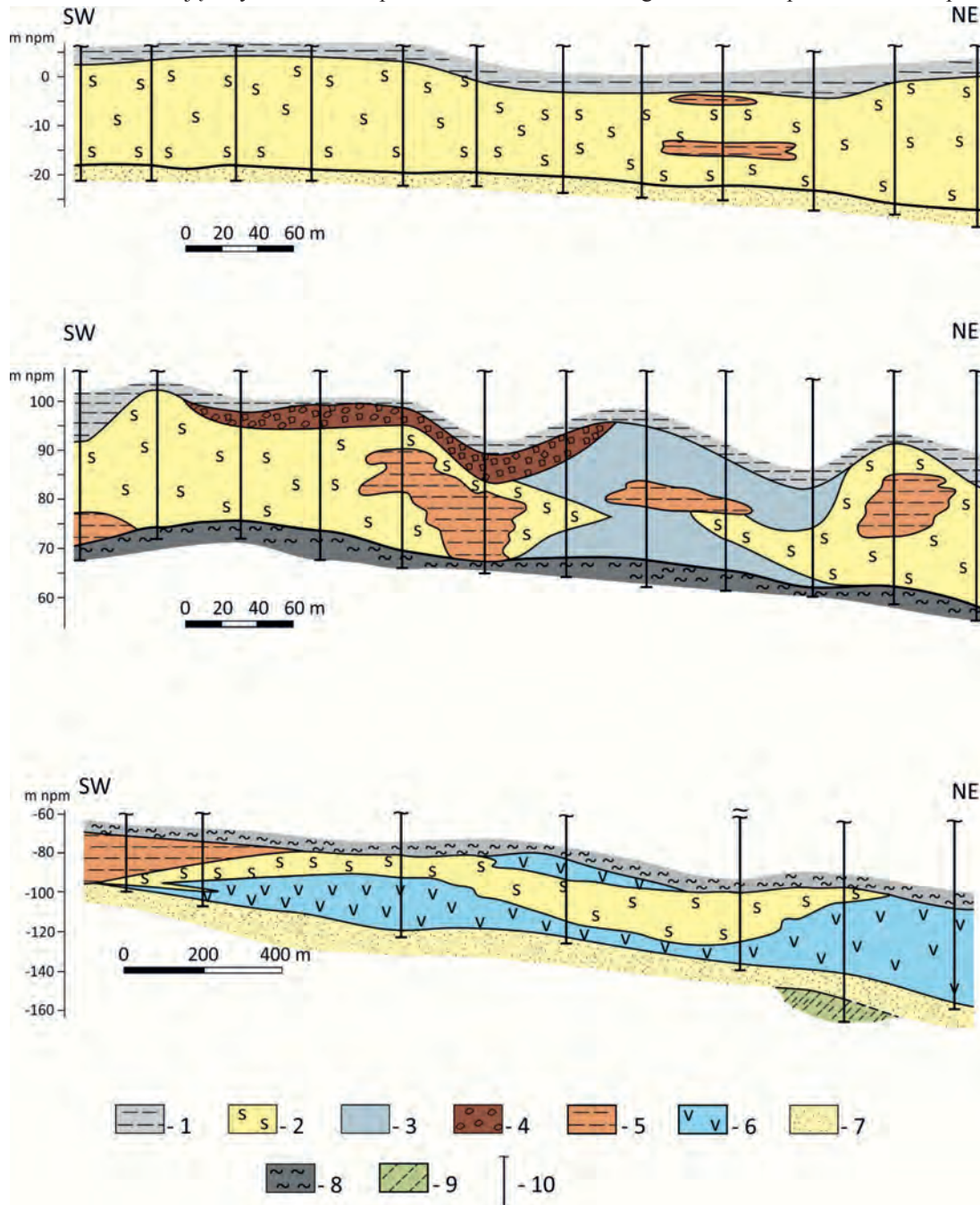
Procesem związanym z infiltracją wód powierzchniowych i zmianą chemizmu wód złożowych była smugowa rekrytalizacja wapieni i siarki, a w konsekwencji powstanie wydłużonych, równoległych kawern obrzeżonych krystalicznym kalcytem oraz siarką (Merlicz, Dacenko 1976, Nieć 1992).

Efektom migracji siarki jest jej usuwanie i powstanie wapieni kawernistych („szkieletowych”). Prowadzi to do wzbogacenia w siarkę wapieni w innych częściach złoża lub skał podłożowych (na przykład piaskowców). Płonne wapienie kawerniste lub zawierające tylko do kilku procent siarki

pojawiają się na peryferii niektórych złóż lub na ograniczonym obszarze w ich stropie lub spągu (rys. 2).

Szczególne znaczenie dla kształtowania obecnego obrazu budowy wewnętrznej złóż mają procesy krasowe i wietrzeźniowe. Skrasowienie wapieni siarkonośnych jest cechą charakterystyczną wszystkich złóż w Polsce. Procesy krasowe rozwijały się pod nadkładem utworów młodszych (Nieć 1970). Ich efektem jest:

- duża kawernistość wapieni, aż do utworzenia pustek jaskiniowych,
- wypełnienie kawern łem lub brekcją wapienną spojona łem;
- powstanie nieregularnych przerostów ilarostów w wapieniach i gniazd ilarostów oraz brekcji ilarostowo-wapiennych,
- nieregularna rzeźba powierzchni stropowej złoża,

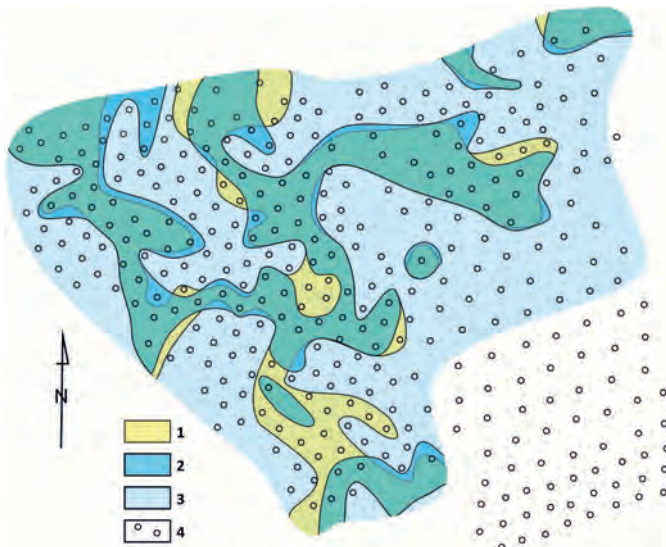


Rys. 3. Typowe przykłady budowy eksploatowanych złóż siarki (Kokesz 1992, Nieć i in., 2007)

1 – ily i margle warstw pektenowych, 2 – wapienie siarkonośne, 3 – wapienie pogipsowe płonne, 4 – ily zbrekcjowane, zlustrowane z okruchami wapieni siarkonośnych, 5 – ily słabo osiarkowane i płonne, 6 – gipsy, 7 – piaski baranowskie, 8 – mulowce baranowskie, 9 – łupki kambryjskie, 10 – otwory wiertnicze

Fig. 3. Selected, typical examples of native sulphur deposits (after Kokesz 1992, Nieć et al., 2007)

1 – overburden marly claystones, 2 – sulphur bearing limestones, 3 – barren “post gypsum” limestones, 4 – brecciated claystones with sulphur bearing fragments, 5 – claystones with low sulphur content or barren, 6 – gypsum, 7, 8 – footwall sands and mudstons, 9 – cambrian slates, 10 – boreholes



Rys. 4. Wydobywanie siarki i zużycie wody na polu A-1 kopalni Jeziórko (Kokesz, Nieć 1975)

1 – obszary, na których otwory dały ponad 6000 ton siarki, 2 – obszary, na których zużycie wody wynosiło ponad 12 m³/tonę siarki, 3 – obszary, na których zużycie wody wynosiło poniżej 12 m³/tonę siarki, 4 – otwory eksploatacyjne

Fig. 4. Sulphur output and water consumption. A-1 mining field, Jeziórko mine (after Kokesz, Nieć 1975)

1 – the area of total sulphur yield 6000 ton per borehole, 2 – the area of water consumption over 12 m³ per ton of sulphur mined, 3 – the area of water consumption below 12 m³ per ton of sulphur mined, 4 – producing boreholes

- zaburzenia ułożenia skał nadkładu w wyniku osiadania nad pustkami krasowymi oraz intensywne spękania skał bezpośredniego nadkładu (Nieć 1970, Nieć, Szczepańska 1970, Górecki 1973).

Skrasowienie złoża powoduje ogromne, lokalne zróżnicowanie jego parametrów hydrogeologicznych: porowatości wapieni siarkonośnych i raptowne zmiany przepuszczalności skał serii złożowej. Efektem krasowienia wapieni i usuwania węglanu wapnia są nieregularne gniazdowe nagromadzenia rezydualnych ilów często z fragmentami wapieni ilastych, brekcji krasowych (rys. 3).

Strefowo zróżnicowana intensywność występowania przerostów i gniazd ilów sugeruje ich związek ze strefami spękań lub drobnych uskoków. Oznacza to możliwość występowania wzmożonej przepuszczalności serii złożowej w ich sąsiedztwie co znajduje wyraz w zróżnicowaniu zużycia wody do wytopu siarki (Kokesz, Nieć 1975, rys. 4).

W strefie złoża objętej wietrzeniem wapień siarkonośne stają się jasne mało zwężłe, bardzo porowate. Występująca w nich siarka tworzy skupienia drobnoziarniste, rozsypliwie i jest określana jako „pylasta”.

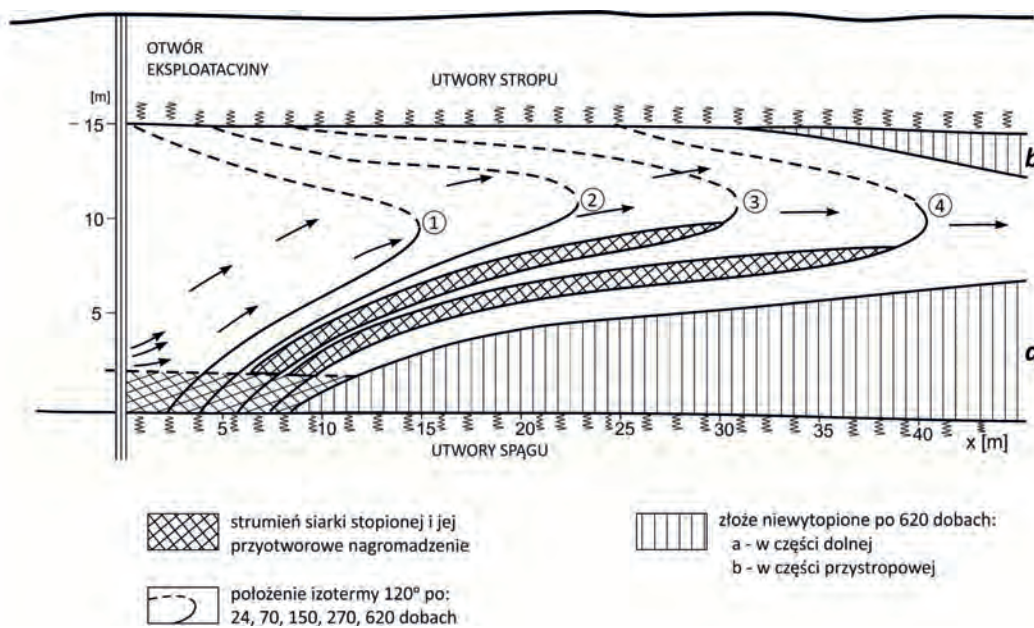
Formy występowania siarki, tekstury rudy, wytapialność

Efektywność pozyskania siarki metodą otworową zależy od wytapialności rudy, to jest stosunku możliwej do wytopienia siarki do jej zawartości. Jest ona zróżnicowana w zależności od wymiarów i rozmieszczenia skupień siarki (Nieć 1969, Rybicki 1973, Nieć 1992, tab. 1).

Wytapialność rudy zależy dodatkowo od jej porowatości, przede wszystkim formy i wielkości przestrzeni porowej, w szczególności od kawernistości rudy umożliwiającej łatwą penetrację wody gorącej w złożo i przepływ stopionej siarki.

Zróżnicowanie budowy wewnętrznej złóż

Zespół skał występujący między warstwami baranowskimi (piaskowcami, mułowcami, wapieniami litotamniowymi) a pektenowymi (iłami marglistymi i marglami) określany jest jako seria złożowa. Charakteryzuje się ona często dużą, lokalną zmiennością budowy, spowodowaną złożonymi warunkami tworzenia się złóż siarki w wyniku przeobrażenia gipsów i późniejszych procesów transformujących. W związku z tym częste są raptowne przejścia od wapieni siarkonośnych do płonnych lub pojawianie się wśród nich niezmiennych gipsów, tworzących nieregularne „wyspy” w obrębie złoża, zmienna zawartość siarki i form jej występowania, zróżnicowana porowatość, prze-



Rys. 5. Schemat wytopu i spływu siarki przy podaży wody 260 m³/d w złożu o miąższości 15 m; grubość strumienia siarki zaznaczono po 100 i 270 dobach (Krajewski 1987)

Fig. 5. The zone of sulphur melting and movement within the deposit 15 m thick, at 260 m³/d water consumption. The thickness of melted sulphur after 100 and 270 days (after Krajewski 1987)

puszczalność i właściwości mechaniczne skał siarkonośnych, oraz zróżnicowane ich zachowanie się po wytopie siarki.

Cechy budowy wewnętrznej złóż mają wpływ na:

- szybkość przemieszczania się wody gorącej w złożu i jego nagrzewania,
- szybkość wytapiania siarki i jej spływu w kierunku otworu eksploatacyjnego,
- anizotropię rozplywu wody i wytopu siarki,
- wielkość zużycia wody gorącej i stopień wykorzystania zasobów.

Znaczenie budowy nadkładu dla eksploatacji złoża

Nadkład złóż tworzy kompleks utworów ilastych i marglistych określanych jako warstwy pektenowe (spirialisowe) oraz wyżej leżące ility krakowieckie.

Skraswienie złoża pod nadkładem i jego osiadanie nad powstającymi pustkami spowodowało zaburzenia jego ułożenia nad stropem złoża: zafałdowania, spękanie, zlustrowanie i zbrekcjowanie utworów ilastych tworzących nadkład bezpośredni o miąższości do kilku metrów i pojawianie się wyżej spękań ścinających, nachylonych pod kątem do około 45°

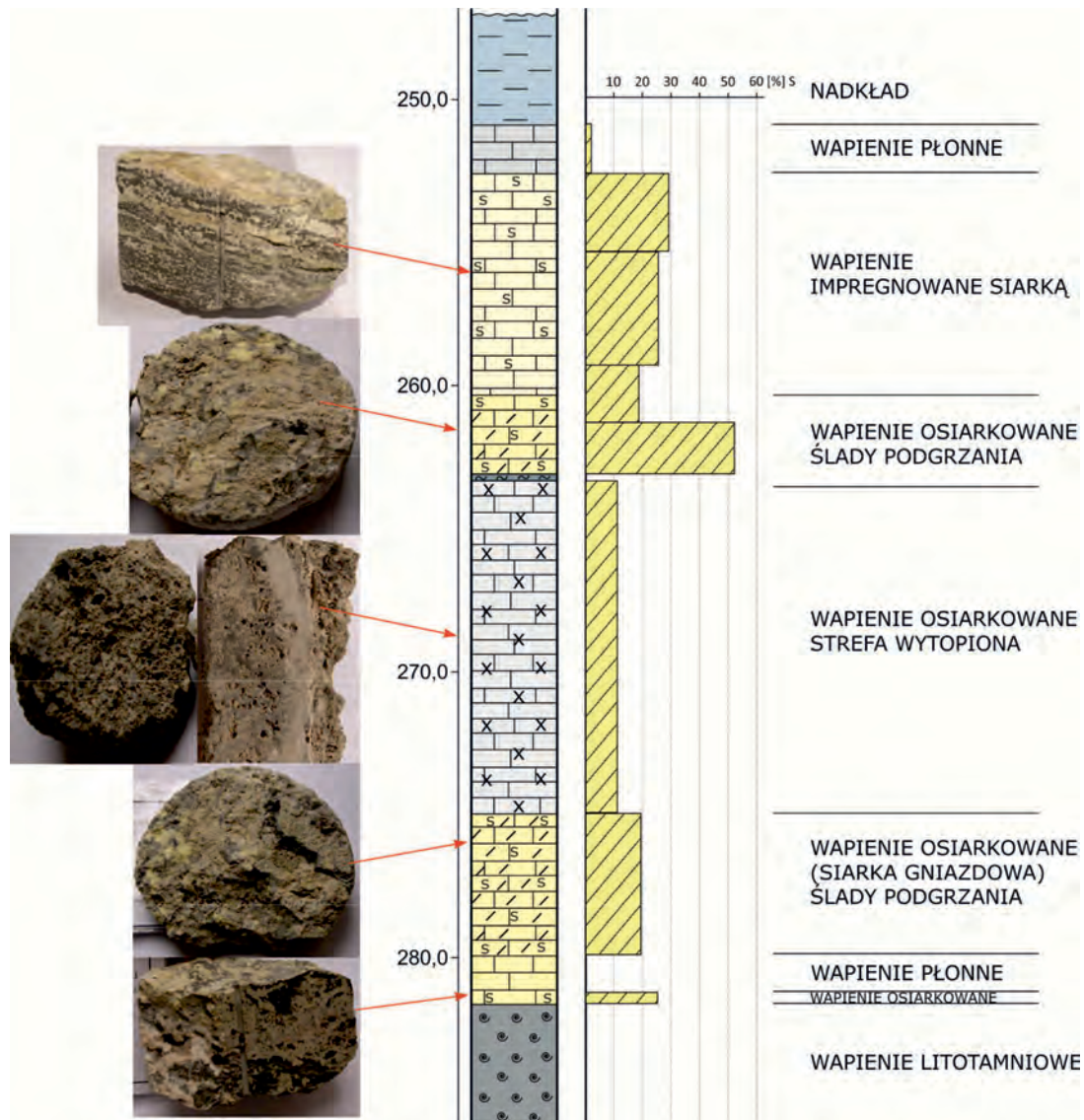
w zależności od plastyczności skał spękanych (Górecki 1973). Spękania te mogą też być drogami migracji wody gorącej ku powierzchni.

W nadkładzie ilastym pojawiają się przewarstwienia słabo zwięzłych piaskowców, zwykle ilastych, które mogą ułatwiać penetrację wody gorącej w górotwór w pobliżu powierzchni terenu (Górecki 1998).

Rozwój strefy wytopu i stan poeksploacyjny złoża

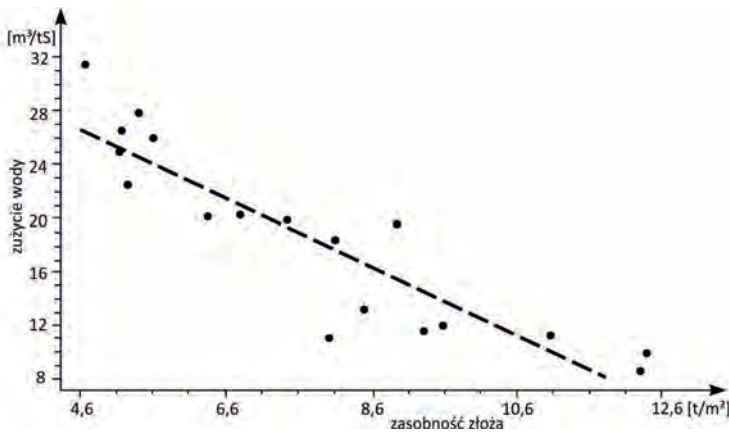
Wytop siarki następuje w przestrzeni wokół otworu, w której temperatura skał osiąga 120°C. Rozplyw wody następuje przede wszystkim w górnej części złoża. W dolnej części jest ograniczony przez strumień płynnej siarki przez co nagrzewanie tej jego części następuje tylko przez przewodnictwo cieplne.

W efekcie topienia siarki i jej spływu do otworu tworzy się wokół niego strefa wytopu. Powinna mieć ona kształt parabolicznego odwróconego stożka (Michalski 1974, Nieć i in. 1972, Krajewski 1987, rys. 5). Współdziałanie blisko położonych otworów lub praktykowany odbiór wody na przedpolu eksploatacji (w otworach odprężających) powoduje kierunkowe wydłużenie strefy wytopu.



Rys. 6. Przykład częściowego wytopu siarki (Basznia otwór P 8)

Fig. 6. Example of incomplete sulphur recovery (Basznia deposit, borehole P-8)



Rys. 7. Zależność zużycia wody od zasobności złoża (Ślizowski i in., 2000)
Fig. 7. Water consumption in relations to sulphur accumulation within the deposit (after Ślizowski at all, 2000)

Zróznicowanie serii złożowej, w szczególności właściwości hydrogeologicznych tworzących ją skał, powoduje modyfikację warunków rozplywu wody i kształtu strefy wytopu, uwidoczniającej się jako wydłużenie strefy wytopu w kierunku zwiększonej przepuszczalności skał serii złożowej. W efekcie morfologia strefy wytopu jest zróżnicowana, a w jej granicach lub powyżej mogą znaleźć się fragmenty złoża nienaruszonego (niewytopionego, rys. 6).

O efektywności eksploatacji decyduje ilość ciepła niezbędnego do wytopu siarki mierzona ilością wody gorącej zużytej na tonę wydobycia siarki. W złożu o jednorodnej przepuszczalności jest ona odwrotnie proporcjonalna do zawartości siarki i zasobności złoża (rys. 7). W przypadku występowania w serii złożowej wapieni bardzo kawernistych, ubogich w siarkę lub nawet płonnych zużycie wody gwałtownie rośnie (Nieć 1975, Krajewski, Michalski 1975, rys. 8). Szczególnie niekorzystne mogą być strefy o bardzo wysokiej przepuszczalności „kradnące wodę”. Wymagają one uszczelnienia, na przykład przez zatłoczenie łu lub innego medium. Praktyki takie stosowano w górnictwie otworowym siarki w Stanach Zjednoczonych A.P. (Haynes 1959) i Meksyku (Nieć 1977).

Metody badania złoża i jego stanu poeksploatacyjnego

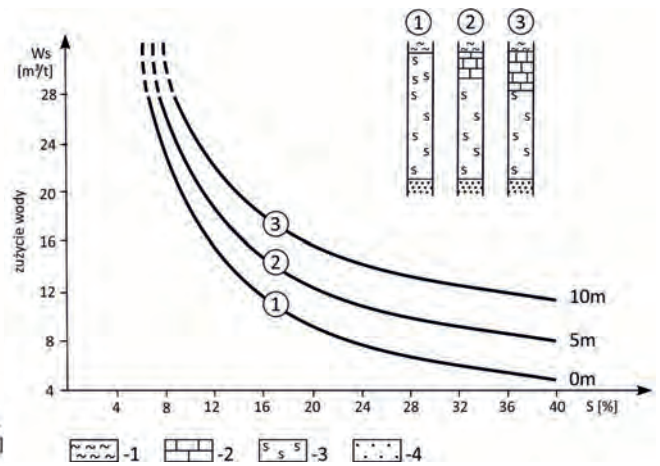
Podstawowym źródłem danych o złożu są otwory wiertnicze wykonywane w trakcie rozpoznawania złoża, wyniki ich profilowania geologicznego i opróbowania.

W otworach eksploatacyjnych wykonywane jest wyłącznie profilowanie geofizyczne zespołem sond PG, PNG, PGG i PO (A1,0M0,1N oraz N1,0M0,1A) i określany skład mineralny rudy, w szczególności zawartość siarki oraz porowatość. Są to dane wystarczające dla określenia zasobności złoża.

Stan poeksploatacyjny złoża i zasięg strefy wytopu, określany jest na podstawie badań sejsmicznych (Dec 2008, 2012, Dec, Cichostępski 2017a, b). Źródłem informacji o stopniu wyeksploatowania złoża jest także przebieg osiadań poeksploatacyjnych (Maciaszek i in. 1979, 1990).

Literatura

- [1] Dec J., 2008 – *Sejsmiczny monitoring otworowej eksploatacji złóż siarki*. Gosp. Sur. Min. T. 24, z. 2/3, s. 199 - 213
[2] Dec J., 2012 – *Wysoko rozdzielcze badania sejsmiczne w celu rozpoznania złoża siarki „Osiek” oraz określenia zmian dynamicznych zachodzących w wyniku eksploatacji*. Rozprawy, Monografie 257. Wyd. AGH, Kraków



Rys. 8. Zależność zużycia wody od zawartości siarki w złożu i udziału wapieni płonnych w profilu serii złożowej (Nieć 1992b)
1 – ily margliste warstw pektenowych, 2 – wapienie pogipsowe płonne, 3 – wapienie siarkonośne, 4 – piaski i piaskowce warstw baranowskich
Fig. 8. Water consumption in relations to sulphur content in ore and amount of barren limestones within the sulphur bearing series (after Nieć 1992b)
1 – overburden marly claystones, 2 – barren “post gypsum” limestones, 3 – sulphur bearing limestones, 5 – footwall sands and sandstones

Badania geofizyczne umożliwiają określenie podstawowych cech złoża i jego stanu poeksploatacyjnego i tylko pośrednio wnioskowanie o warunkach i przebiegu eksploatacji. Informują one o zawartości siarki, uśrednionym składzie mineralnym skał i ich ogólnej porowatości. Badania te nie dostarczają danych o dodatkowych cechach skał siarkonośnych ważnych dla oceny ich zachowania się w czasie eksploatacji: formie, wielkości i rozmieszczeniu skupień siarki, formie porowatości (wielkości por, kawernistości), formie występowania i rodzaju skał ilastych. Przykładowo, gdy wykazywany jest skład mineralny typowy dla skał marglistych, mogą to być margle, bądź ily z okruskami wapieni (wskazujące na zjawiska krasowe). Nie dostarczają także informacji o wzajemnych relacjach utworów występujących w serii złożowej, takich jakie można uzyskać tylko na podstawie bezpośredniej obserwacji rdzeni wiertniczych. Nieujawniane są zaburzenia tektoniczne.

Wnioski

Pełna informacja o złożu jest niezbędna dla właściwego rozumienia i przewidywania procesów zachodzących w złożu w czasie wytopu siarki, prognozowania jego efektów i właściwego sterowania eksploatacją. Dlatego też, wykonywanie wszelkich otworów wiertniczych niezbędnych dla prowadzenia wydobycia siarki (eksploatacyjnych, odprężających, reeksploatacyjnych) jako pełnordzeniowych w złożu i bezpośrednim nadkładzie (od ok. 5 m nad stropem złoża) jest nieodzowne.

Praca wykonana w ramach badań AGH nr 11.11.140.161 w roku 2019

- [3] Dec J., Cichostępski K., 2017a – *Ocena właściwości złoża siarki na podstawie parametrów geomechanicznych wyznaczonych z danych sejsmicznych*. Zesz. Nauk. IGSMiE PAN, 101, s. 203 – 216
- [4] Dec J., Cichostępski K., 2017b – *Szacowanie zasobów złoża siarki na podstawie badań sejsmicznych*. Zesz. Nauk. IGSMiE PAN, 101, s. 203 – 216
- [5] Górecki J., 1973 - *Przyczynek do mikrotektoniki złoża siarki w Jeziórku k. Tarnobrzega*. Zesz. Nauk. AGH nr 361, Geologia z. 17, s. 157 – 163
- [6] Górecki J., 1998 – *Wpływ budowy geologicznej nadkładu złoża siarki Jeziórko na warunki eksploatacji otworowej*. Gosp. Sur. Min. T. 14, z. 2, s. 13 – 27
- [7] Haynes W.D., 1959 – *Brimstone, The Stone That Burns: The Story Of The Frasch Sulphur Industry*. Van Nostrand Co.Ink. N. York
- [8] Kirejczyk J., 1996 – *Systemy otworowej eksploatacji złóż siarki*. Gosp. Sur. Min. T.12, z. 2, s. 263 - 277
- [9] Kokesz Z., 1992 – *Geostatistical reserves estimation for native Sulphur deposits mined by underground melting*. 2nd CODATA Conference on Geomathmd Geostatistics. Sciences de la Terre, Ser. 31, Nancy, p. 223 + 238
- [10] Kokesz Z., Nieć M., 1975 – *Zmienność produkcji i zużycia wody na polu I kopani Jeziórko i jej związek z wykorzystaniem złoża*. Siarka, Zesz. Nauk. Techn. OBR Przemysłu siarkowego Siarkopol, 1975, s. 43 - 52
- [11] Krajewski R., 1987 – *Proces wytopu siarki przy eksploatacji otworowej w ujęciu syntetycznym. W: Zagadnienia kopalni siarki „Osiek” w świetle aktualnych problemów górnictwa otworowego siarki*. Mat. Seminarium, Chańcza. BOINTiE Przemysłu Siarkowego, s. 115 – 145
- [12] Krajewski R., Michalski A., 1975 – *Zużycie wody i wykorzystanie złoża przy podziemnym wytapianiu siarki*. Zesz. Nauk. AGH, Górnictwo, zesz. Spec.
- [13] Maciaszek J., Szewczyk J., Nieć M., 1979 - *Propozycja określania zasobów, strat i wykorzystania złóż siarki eksploatowanych metodą podziemnego wytapiania*. Górnictwo. T. 3, z. 3, s. 273-285
- [14] Maciaszek J., Szewczyk J., Nieć M., 1990 - *Ocena stanu wykorzystania złoża siarki eksploatowanego metodą otworową na podstawie poeksploatacyjnych deformacji powierzchni*. Gosp. Sur. Min. T.6,z.4, s. 687-707
- [15] Merlicz B. W., Dacenko N. M., 1976 – *Usłowia obrazowania sernych rud Rozdolskiego miastorożdzenia*. Izd. Wiższa Szkoła, Lwiv
- [16] Michalski A., 1974 – *Proces podziemnego wytapiania siarki w świetle badan modelowych*. Praca doktorska AGH, Kraków
- [17] Nieć M., 1969 - *Typy tekstur rud siarki i ich wpływ na zachowanie się rudy w trakcie wytapiania*. Technika Poszuk. Geol., nr 30, s. 34-38
- [18] Nieć M., 1970 - *Morfologia stropu złóż siarki i jej wpływ na mikrotektonikę skał nadkładu*. Rocznik PTG, T. XL, z. 2, s. 325-342
- [19] Nieć M., 1975 - *Zużycie wody na tonę siarki przy eksploatacji metodą podziemnego wytapiania*. Zesz. Nauk. AGH, Górnictwo, bez nr, s. 63-71
- [20] Nieć M., 1977 - *Warunki geologiczne eksploatacji meksykańskich złóż siarki. W: Aktualne problemy otworowej eksploatacji siarki*. Mat. II Zebrania Nauk. Tarnobrzeg 1977. Tarnobrzeg, s. 1-25
- [21] Nieć M., 1986 - *Procesy transformujące złoża siarki*. Przegl. Geol., r. 34, nr 7, s. 366-374
- [22] Nieć M., 1992a - *Native Sulfur Deposits in Poland. In : Native Sulfur, Developments in Geology and Exploration*. SMME-AIME, Littleton, p. 23-50
- [23] Nieć M., 1992b - *Geologiczne warunki eksploatacji złóż siarki metodą podziemnego wytapiania. Stan aktualny i kierunki rozwoju metod otworowych w eksploatacji surowców stałych*. AGH, Kraków, s. 103-123
- [24] Nieć M., Michalski A., Górecki J., Rybicki S., 1972 - *Zagadnienie optymalizacji eksploatacji siarki metodą otworową na podstawie danych geologicznych i modelowych*. Przegl. Geol., r. 20, nr 7, s. 322-329
- [25] Nieć M. Szczepańska J. 1970 - *Zaburzenia mikrotektoniczne złoża siarki w Grzybowie i jego nadkładzie*. Technika Poszuk. Geol., nr 34, s. 24-29
- [26] Nieć M., Ślizowski K., Kawulak M., Lankof L., Salamon E., 2007 – *Kryteria ochrony złóż pozostawianych przez likwidowane kopalnie w warunkach zrównoważonego rozwoju na przykładzie modelowym złóż siarki rodzimej*. Wyd. IGSMiE PAN Kraków
- [27] Pawłowski S., Pawłowska K., Kubica B., 1979 - *Geology and genesis of the Polish Sulfur deposits*. Economic Geology v. 74, p. 475 - 483
- [28] Rybicki S., 1973 – *Geologiczno-inżynierskie problemy otworowej eksploatacji siarki*. Zeszyty Nauk. AGH, Geologia, z. 20, Kraków
- [29] Ślizowski K., Nieć M., Lankof L., 2000 – *Surowce mineralne Polski. Surowce chemiczne*. Siarka. [red. R. Ney], Wyd. IGSMiE PAN, Kraków