

TECHNOLOGIA WYDOBYCIA SIARKI METODĄ OTWOROWĄ NA ZŁOŻU „BASZNIA -1”

SULPHUR MINING USING FRASH METHOD BY THE EXAMPLE OF „BASZNIA -1” DEPOSIT

Przemysław Bokwa - Polska Siarka Sp. z o.o., Kopalnie Dolomitu S.A. w Sandomierzu
Zbigniew Kasztelewicz - AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

Artykuł omawia historię rozwoju wydobycia siarki w Polsce, a w tym położenie złóż, parametry siarki, dotychczasowe wydobycie i kreśli perspektywę rozwoju tej branży w Polsce. Zasadniczą częścią jest technologia wydobycia siarki metodą otworową a w tym system i przebieg eksploatacji otworowej, sposoby oddziaływania na warunki hydronaporowe horyzontu wód złożowych, zapobieganie przedostawaniu się wód złożowych do chronionych horyzontów wodonośnych oraz wytyczne technologiczne.

Słowa kluczowe: górnictwo, siarka, technologia otworowa wydobycia

The history of sulfur mining in Poland was discussed in this paper. Deposits location, sulfur properties, as well as, current and perspective mining activity was described. The core part of this research is description of Sulphur mining using Frash method. In presented description the general information about mining operation, the hydrogeology, preventing actions in subject of reservoir waters penetration into the protected aquifers, as well as technological guidelines were provided.

Keywords: mining, sulfur

Historia wydobycia siarki w Polsce

Odkrycie i udokumentowanie w Polsce dużych złóż siarki rodzimej w latach 1953-1976 spowodowało dynamiczny rozwój przemysłu wydobywczego i przetwórczego siarki w rejonie Tarnobrzega i Staszowa. Polska w krótkim czasie stała się czołowym producentem i eksporterem tego surowca. „Kopalnie i Zakłady Przetwórcze Siarki w budowie” zostały utworzone Zarządzeniem Ministra Górnictwa w 1954 r. W lutym 1961 roku zmieniono nazwę przedsiębiorstwa na „Kopalnie i Zakłady Przetwórcze Siarki „Tarnobrzeg”, rok później na „KiZPS Machów k. Tarnobrzega”, a w roku 1963 na „KiZPS im. Marcelego Nowotki w Machowie k. Tarnobrzega”. Przedsiębiorstwo zajmowało się wydobywaniem i przetwórstwem siarki oraz produktów wytwarzanych na bazie surowca siarkowego.

Budowa zagłębia siarkowego na przełomie lat 50. i 60. XX w. związana była z ogromnym zapotrzebowaniem światowym na ten surowiec i jego relatywnie wysoką ceną. Na rysunku 1 pokazano miejsca powstałych kopalń siarki w Polsce.

Branża ta była dostarczycielem bardzo dużego wkładu finansowego do budżetu krajowego, zarówno złotówkowego, jak i dewizowego. Przyczyniła się do dużego rozwoju regionu tarnobrzegskiego i staszowskiego. W kopalniach siarki i zakładach chemicznych oraz w firmach zaplecza technicznego kilkadziesiąt tysięcy pracowników znalazło miejsce pracy. W tabeli 1 przed-

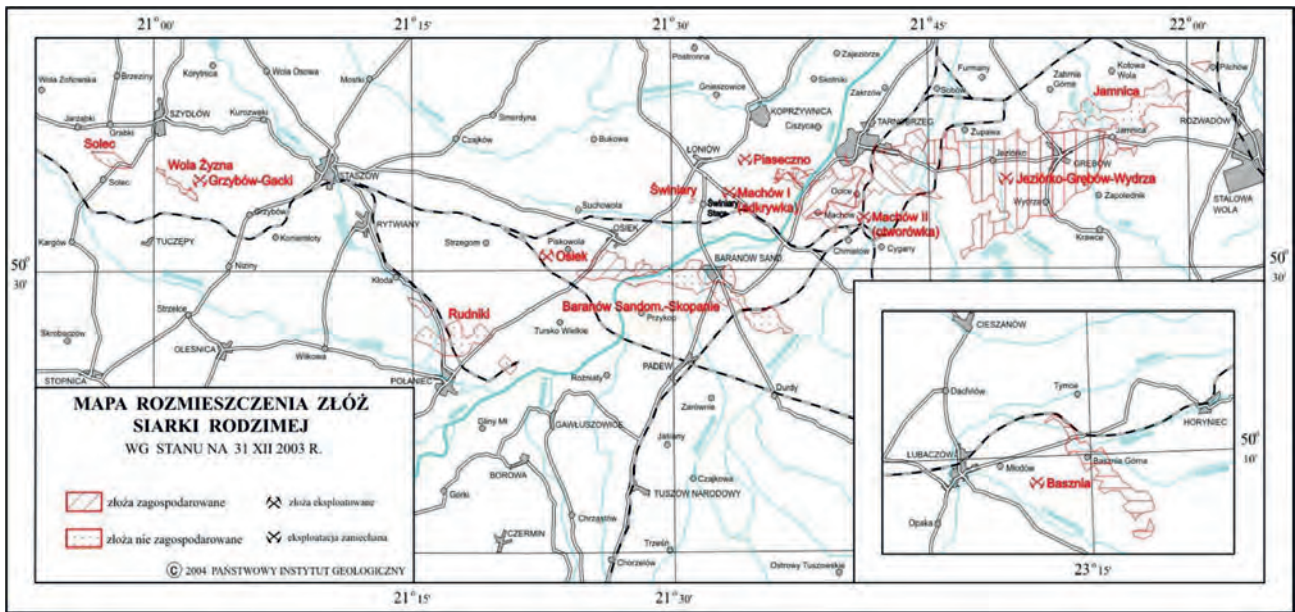
stawiono wybrane parametry złóż siarki w Polsce.

W strukturze organizacyjnej zakład posiadał cztery kopalnie: „Piaseczno”, „Machów” (odkrywkowe), „Machów II” i „Jeziórko” (otworowe). Łącznie KiZPS Siarkopol wydobyl około 89,63 mln Mg siarki. Poza KiZPS Siarkopol wydobycie siarki prowadziły również Kopalnia Siarki „Grzybów”, „Basznia” i „Osiek”. Łącznie te trzy kopalnie wydobyl 43,12 mln Mg siarki. Obecnie na skalę przemysłową prowadzi wydobycie tylko KS „Osiek”. Łącznie w Polsce wydobyto do 2018 roku łącznie ponad 132,75 mln Mg siarki (tab. 2).

Rozwój górnictwa i przemysłu siarkowego został oparty na dwu technologiach górniczych:

1. technologia odkrywkowa wydobycia rudy siarki i flotacyjno-rafinacyjna metoda pozyskiwania siarki (od 1958 r.),
2. technologia otworowa, oparta na metodzie podziemnego wytopiania (od 1966).

W tabeli 1 przedstawiono wielkość i okres wydobycia siarki przez kopalnie reprezentujące te technologie, natomiast na rysunku 2 kształtowanie się wydobycia w czasie. Pozytywne wdrożenie zmodyfikowanej do warunków polskich złóż siarki (tzn. hydraulicznie otwartych) metody podziemnego wytopiania (metody H. Frascha) spowodowało olbrzymią dynamikę wzrostu wydobycia siarki i uplasowało Polskę na pozycji znaczącego producenta i eksportera tego surowca. Metoda ta stała się konkurencyjna kosztowo i środowiskowo w stosunku do metody odkrywkowej wydobycia rudy i flotacyjno-rafina-



Rys. 1. Mapa rozmieszczenia złóż siarki rodzimej [3]
 Fig. 1. Distribution of s sulphur deposit

Tab. 1. Wybrane parametry złóż siarki w Polsce [3, 5]
 Tab. 1. Properties of Polish sulphure deposits

Złoże	Kategoria rozpoznania	Parametry graniczne i średnie				
		Miąższość złoże [m]	Zawartość siarki [%]	Zasobność [Mg/m ²]	Miąższość nadkładu ilastego [m]	Współczynnik filtracji [m/dobę]
1	2	3	4	5	6	7
Grzybów-Gacki	B	3,0-44,0 (śr. 15,0)	5,0-52,8 (śr. 21,5)	1,4-31,8 (śr. 10,21)	96-218 (śr. 156,7)	0,003-33,1 (śr. 0,01)
Machów	B+C ₁ +C ₂	2,4-18,1 (9,1)	10,6-58,20 (30,6)	2-18,6 (6,2)	61,0-241,0 (132,2)	0,001-11,14 (0,976)
Jeziórko-Grębów	A+B+C ₁	2,9-31,4 (10,9)	6,0-42,8 (26,5)	0,4-28,6 (6,5)	61,0-241,0 (132,2)	0,001-11,14 (0,976)
Jamnica	C ₂	4,1-28,9 (10,8)	10,6-56,8 (24,5)	1,3-15,0 (6,3)	b.d. (226,2)	4,2-7,2 (5,7)
Osiek	C ₁	4,0-36,5 (17,14)	8,85-38,4 (30,1)	1,75-26,9 (11,46)	89-131 (113,9)	0,11-3,5 (0,57)
Baranów Skopanie	C ₁	3,0-48,8 (21,4)	14,1-43,8 (33,1)	1,1-30,6 (6,0)	b.d. (207,1)	0,004-2,8 (0,27)
Basznia	A+C ₁ +C ₂	2,0-32,2 (11,2)	6,2-32,0 (25,6)	1,1-19,1 (7,1)	b.d. (292,3)	0,007-4,11 (0,25)

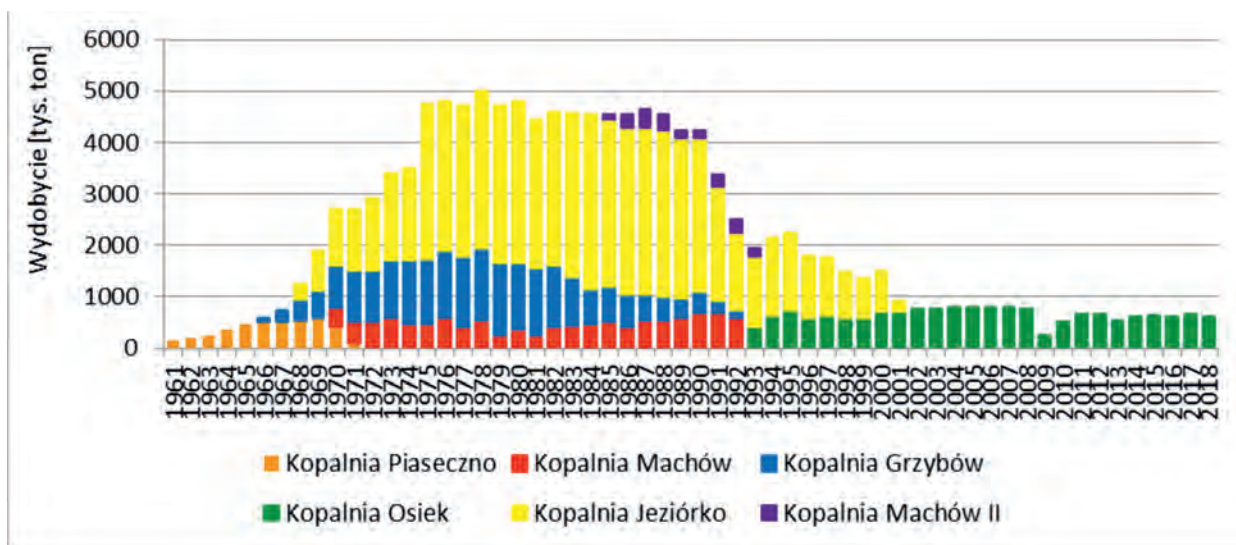
cyjnej jej przeróbki. Dlatego też w krótkim czasie zaprzestano wydobycia w kopalni „Piaseczno” [3].

Konieczność likwidacji znaczącej części potencjału wydobywczego siarki rodzimej związana była z załamaniem się koniunktury cen na światowym rynku siarki na początku lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku oraz z przemianami ustrojowymi i gospodarczymi w Polsce. Aby nie doprowadzić do całkowitej upadłości całej branży wydobycia i przetwórstwa siarki, dokonano na podstawie wypracowanych programów restrukturyzacji, procedur legislacyjnych i zmian organizacyjnych tego przemysłu, wydzielenia jednostek likwidacyjnych, które przeszły na finansowanie działalności z pieniędzy budżetowych. Przyczyna przejścia na finansowanie z budżetu państwa była tylko jedna - brak w ówczesnym okresie zasad formalnych na tworzenie funduszu likwidacji kopalni.

Opracowany w kwietniu 1993 r. „Program restrukturyzacji przemysłu siarkowego w Polsce w latach 1993–2000” wskazał potrzebę ograniczenia wydobycia siarki do poziomu około 2,2 mln ton/rok w kopalniach otworowych siarki „Jeziórko” i „Osiek” przy całkowitym zatrzymaniu produkcji siarki metodą odkrywkową w Kopalni Siarki „Machów”. W wyniku realizacji ww. programu w 1994 roku wydzielono ze struktury organizacyjnej KiZPS „Siarkopol” i utworzono odrębne przedsiębiorstwo państwowe – Kopalnia Siarki „Machów”, finansowane ze środków budżetowych, mające na celu likwidację wyrobiska i infrastruktury oraz rekultywację zdewastowanych terenów pogórnich. Wcześniej, bo już w 1992 r., została postawiona w stan likwidacji Kopalnia Siarki „Grzybów”, w której wydobycie definitywnie zakończono w czerwcu 1996 r. Wkrótce w wyniku realizacji programów naprawczych ze struktury

Tab. 2. Okres i wielkość wydobycia siarki w istniejących kopalniach w Polsce [3, 6]
 Tab. 2. Sulphur production in Poland

Lp.	Nazwa kopalni siarki	Okres wydobycia	Metoda eksploatacji	Wydobycie łączne siarki (mln Mg)	Wydobycie rudy siarki (mln Mg)
1	2	3	4	5	6
1	Kopalnia „Piaseczno”	1958-1971	odkrywkowa	3,59	17,2
2	Kopalnia „Machów”	1969-1992	odkrywkowa	11,10	55,8
3	Kopalnia „Grzybów”	1966-1996	otworowa	26,37	-
4	Kopalnia „Jeziórko”	1967-2001	otworowa	74,09	-
5	Kopalnia „Basznia”	1977-1993	otworowa	0,50	-
6	Kopalnia „Machów II” (doświadczalna)	1985-1993	otworowa	0,78	-
7	Kopalnia „Osiek”	1993-nadal	otworowa	16,25	-
Razem:				132,75	73,0



Rys. 2. Wielkość wydobycia rocznego siarki w Polsce do 2018 roku [3, 6]
 Fig. 2. Annual sulphur production in Poland

KiZChS „Siarkopol” wydzielono Kopalnię Siarki „Grzybów” w likwidacji z siedzibą w Rzędowie, która również przeszła na finansowanie budżetowe prac likwidacji i rekultywacji terenów pogórnich tej kopalni. Z pozostałego po wydzieleniu Kopalni „Machów” KiZPS „Siarkopol” wydzielono Przedsiębiorstwo Rekultywacji Terenów Górniczych „Jeziórko” w Tarnobrzegu z zadaniem rekultywacji zachodniej części obszaru górniczego „Jeziórko” oraz likwidacji przydzielonego majątku.

Mimo ograniczenia wydobycia siarki w KiZPS „Siarkopol” zgodnie z zaleceniami programu restrukturyzacji z poziomu ok. 3,8 mln do ok. 1, 5 mln ton następowało dalsze pogarszanie sytuacji finansowej przedsiębiorstwa. Dlatego zgodnie z zaleceniami uzupełnionego Programu Restrukturyzacji Górnictwa i Przetwórstwa Siarki (1999 r.) w sierpniu 2001 r. nastąpiło zatrzymanie eksploatacji w Kopalni Siarki „Jeziórko” i postawienie jej w stan likwidacji. Doprowadziło to do zredukowania polskiego górnictwa siarki do jednego podmiotu prowadzącego wydobycie, czyli **Kopalni Siarki „Osiek”**. KS „Osiek” do 2018 roku wydobyla 16,25 mln Mg siarki.

Perspektywa rozwoju wydobycia siarki w Polsce

Kopalnia Siarki „Osiek” to jedyna w Polsce i na świecie otworowa kopalnia produkująca siarkę płynną i siarkę granu-

lowaną. Kopalnia obecnie wchodzi w skład **Grupy Azoty**. Obecna koncesja obowiązuje do 2020 roku. Kopalnia planuje przedłużyć pracę na nowych obszarach wokół kopalni do 2030 roku i po tym czasie na tym obszarze prawdopodobnie nastąpi koniec wydobycia.

Grupa Azoty Kopalnie i Zakłady Chemiczne Siarki „Siarkopol” w Grzybowie planują uruchomić kolejną kopalnię otworową w **Rudnikach w gminie Polaniec**. Obecnie kopalnia jest na etapie starań o koncesje na rozpoznanie złoża.

Nowa kopalnia pod nazwą **Polska Siarka Sp. z o. o.** uzyskała koncesje wydobywczą na otworową metodę wydobycia siarki na złożu Basznia 1 i rozpoczęła przygotowania do wydobycia na skalę przemysłową w I kw. 2019 roku.

Polska Siarka Sp. z o. o.

Złoże „Basznia - 1” stanowi niewielki fragment udokumentowanego w latach przeszłych złoża „Basznia”. Rozpoznane zostało „Dokumentacją geologiczną złoża siarki rodzimej Basznia – 1 w kategorii C₁” na obszarze o powierzchni 39,57 ha i wg stanu na 31.12.2013 roku posiada 6 056 tys. Mg zasobów geologicznych (według szacunków, całe złożo siarki w Baszni liczy ok. 109 mln Mg).

Pierwsze prace nad udokumentowaniem złoża siarki rodzi-

mej „Basznia” przeprowadzono w latach 1954 - 1973. W 1974 r. zakończono prace nad „Dokumentacją geologiczną złoża siarki rodzimej Basznia w kat. C₂”, która następnie została zatwierdzona decyzją Prezesa CUG. W 1975 r. Przedsiębiorstwo Geologiczne w Kielcach opracowało „Projekt badań geologicznych dla udokumentowania w kat. C₁ złoża siarki rodzimej Basznia”. Z uwagi na finansowe trudności, realizację projektu przeprowadzono etapami, a następnie w związku z brakiem środków finansowych w 1982 roku dalsze prace nad realizacją projektu zostały przerwane. W międzyczasie na terenie złoża rozpoczęła pracę eksperymentalna kopalnia siarki [1, 2].

Na zlecenie kopalni siarki w Baszni, Przedsiębiorstwo Geologiczne w Kielcach opracowało w 1983 roku, na podstawie istniejących materiałów „Dodatek nr 1 do dokumentacji geologicznej w kat. C₂ złoża siarki rodzimej Basznia”. Dodatek ten został zatwierdzony w 1984 roku. W kwietniu 1983 roku wznowiono prace wiertnicze dla realizacji projektu podniesienia do kategorii C₁ i rozpoznania części złoża. Prace te sfinansowano z funduszu Centralnego Urzędu Geologii. W grudniu 1983 roku Przedsiębiorstwo Geologiczne w Kielcach opracowało Aneks nr 1 do Projektu badań geologicznych dla udokumentowania w kat. C₁ złoża siarki rodzimej „Basznia”. Wprowadzone zmiany dotyczyły zarówno części złożowej jak i hydrogeologicznej i obejmowały między innymi zmianę funkcji niektórych otworów, zaprojektowanie badań sejsmicznych, odwiercenie studni czwartorzędowych oraz zmianę zakresu badań hydrogeologicznych. Efektem prac wykonanych w oparciu o projekt prac geologicznych i aneks do niego była „Dokumentacja geologiczna w kat. A + C₁ złoża siarki rodzimej „Basznia”, sporządzona w czerwcu 1990 r. Zatwierdzona decyzją Ministra Ochrony Środowiska Zasobów Naturalnych i Leśnictwa dnia 29.11.1990 r.

Złoże „Basznia” było eksploatowane otworowo zarówno przed datą na jaką zatwierdzona jest ostatnia dokumentacja geologiczna jak i po tej dacie, w części uznanej wówczas, za udokumentowaną w kat. A. Część złoża „Basznia” była eks-

ploatowana w latach przeszłych w rejonie, który został uznany w dokumentacji z 1990 roku, za udokumentowany w kat. A, początkowo przez kopalnię doświadczalną, a następnie przez spółkę „Sulphurquest of Poland”, która prowadziła eksploatację siarki ze złoża prawdopodobnie do 1993 r., kiedy to w wyniku spadku cen siarki na rynku światowym, zaprzestała wydobywania. W 1996 r. firma „Sulphurquest of Poland”, porzuciła kopalnię nie wywiązując się ze zobowiązań finansowych wobec m. in. wspólnika, budżetu państwa i gminy Lubaczów, zakładu energetycznego i pracowników.

Jedynymi pewnymi danymi odnośnie eksploatacji po dacie zatwierdzenia dokumentacji, jakimi dysponowali autorzy obecnej dokumentacji geologicznej, jest ubytek zasobów wykazany w Bilansie Krajowym. Biorąc pod uwagę różnicę pomiędzy stanem zasobów zatwierdzonym i widniejącym w Krajowym Bilansie Zasobów obliczono, że po dacie na którą udokumentowane były zasoby w dokumentacji geologicznej wydobyto 268 tys. Mg siarki. W granice niniejszej dokumentacji geologicznej złoża „Basznia-1” włączono część złoża „Basznia” uznaną w 1990 r. za udokumentowaną w kat. A, mimo, że złożo w tym rejonie zostało wyeksploatowane w latach przeszłych w stopniu możliwym na tamten okres. Ponieważ brak jest obecnie w dostępnych archiwach precyzyjnych danych odnośnie miejsc, w których po 1990 roku była prowadzona eksploatacja i złożo nie zostało rozliczone dokumentacyjnie, a procent uzysku siarki w tym okresie, według obliczeń (ca 35%) jest zbliżony do precyzyjnych obliczeń zawartych w dokumentacji z 1990 roku (ca 34%), uznaje się cały ten fragment złoża za częściowo wyeksploatowany i obniża się jego kategorię rozpoznania do kat. C₁, takiej jak dla całego złoża „Basznia-1”.

Archiwalne dane z wierceń poszukiwawczych i eksploatacyjnych w tym rejonie są całkowicie zdezaktualizowane, bowiem w trakcie eksploatacji otworowej siarka może przemieszcza się w bardzo różnych kierunkach i aby stwierdzić jaka jest zasobność konkretnego rejonu należy odwiercić otwory ponownie.



Rys 3. Zabudowa przemysłowa Kopalni Polska Siarka Sp. z o. o. na złożu Basznia - I [Polska Siarka Sp. z o. o.]

Fig. 3. Industrial buildings located of the Kopalnia Polska Siarka Sp. z o.o. which is located on the Basznia deposit

Warunki geologiczno-górnice:

- Miąższość nadkładu	232,6 - 275,5 m
- Miąższość złoża	17,0 – 30,40 m
- Zawartość siarki	27,07 - 36,23%
- Zasobność	17,61 Mg/m ² – 22,54 Mg/m ²

Polska Siarka Sp. o.o. obecnie planuje się wydobywać ok. 200 tys Mg siarki rodzimej rocznie.

Technologia eksploatacji siarki metodą otworową**System i przebieg eksploatacji**

Eksploatacja złoża siarki rodzimej „Basznia -1” rozpocznie się od wschodniej części złoża, położonej najbliższej zabudowy przemysłowej, gdzie zlokalizowana jest pierwsza sterownia. Lokalizacja kolejnych sterowni na polu eksploatacyjnym będzie wynikać z rozwoju frontów eksploatacyjnych. W pierwszym etapie planowane jest uruchomienie jednej sterowni. Eksploatacja docelowa prowadzona będzie w oparciu o dwie sterownie eksploatacyjne wraz z przynależnymi do niej otworami eksploatacyjnymi. Dla otworów produkcyjnych rozmieszczonych w barierach, w zależności od parametrów geologicznych złoża i warunków powierzchniowych stosowana będzie siatka otworów [m]: 45x45, 30x60 [4].

Przed rozpoczęciem wydobywania w ww. wschodniej części złoża zostały wywiercone pierwsze otwory eksploatacyjne w ilości zabezpieczającej początkowe potrzeby ruchowe. W związku z planowanym uruchomieniem drugiej sterowni kolejne otwory wiercone będą bezpośrednio po rozpoczęciu eksploatacji pierwszej sterowni.

Wywiercone w powyższy sposób otwory poza podstawową funkcją po rozpoczęciu wtłaczania wody technologicznej do górotworu spełniać będą również rolę odprężających i obserwacyjnych.

Dla wierceń wykonywanych na potrzeby prowadzenia ruchu wykonywany będzie projekt geologiczno-techniczny wiercenia. Usytuowanie otworów wiertniczych na polu górniczym uzależnione będzie warunkami geologiczno-górnicy.

W przypadku straty otworu w wyniku awarii wiertniczej, braku możliwości odzyskania zdolności eksploatacyjnej na otworze o niedostatecznym szczypaniu zasobów lub zniszczeniu otworu w wyniku ruchu górotworu, prowadzona będzie eksploatacja uzupełniająca otworami bisowymi rozmieszczonymi w sposób nieregularny.

Otwór eksploatacyjny uzbrojony jest w pięć współśrodkowych kolumn rur, dwie kolumny okładzinowe i trzy kolumny technologiczne.

Zarurowanie technologiczne stanowią:

- kolumna rur wodnych, składająca się z części: podfiltrów, filtra wydobywczego, międzyfiltrów i filtra zasilającego. Głębokość posadowienia rur i długości części elementów filtra ustalone są dla każdego otworu indywidualnie przez służbę geologiczno - górnicy,
- kolumna siarkowa służąca do transportu siarki na powierzchnię,
- kolumna powietrzna służąca do pompowania siarki z otworu na powierzchnię (Air-lift), jej głębokość ustalona jest indywidualnie dla każdego otworu.



Rys. 4. Uzbrojony otwór eksploatacyjny [Polska Siarka Sp. z o. o.]
Fig. 4. Operational sulphur well [Polska Siarka Sp. z o. o.]

Kolumny rur na powierzchni ujęte są w wieżbę eksploatacyjną, odpowiednio zadławioną i uszczelnioną.

Otwory eksploatacyjne podłączone są do sterowni rurociągami trójdrożnymi, których zadaniem jest przesył wody gorącej, sprężonego powietrza do otworu oraz transport siarki płynnej z otworu do zbiornika siarkowego.

W skład węzłów wydobywczych wchodzi:

- sterownie ośmiocelkowe i zbiorniki siarkowe,
- instalacje chemisorpcji - utylizujące H₂S i opary siarki z nad zbiornika siarki,
- układ hermetyzacji uruchamiania otworów eksploatacyjnych w celu ograniczenia negatywnego wpływu na środowisko naturalne,
- węzeł odbioru ze stanowiskiem pompowania wód złożowych.

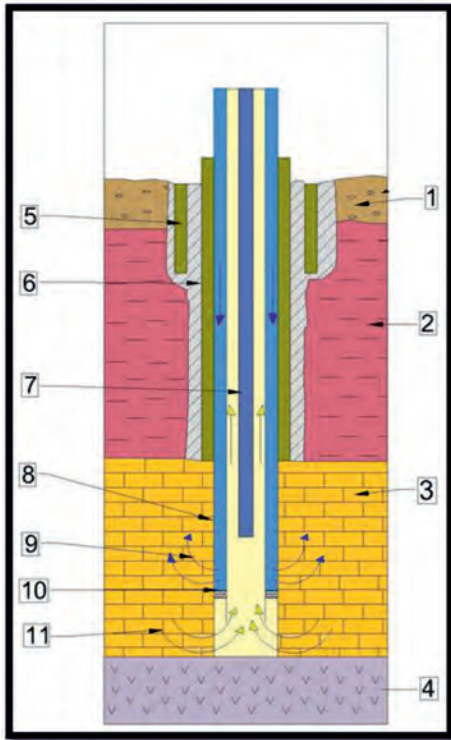
Opomiarowanie mediów technologicznych stanowią:

a. Rurociągi mediów technologicznych na wejściu do sterowni;

- pomiar natężenia przepływu wody technologicznej,
- pomiar i regulacja ciśnienia wody technologicznej,
- pomiar temperatury wody technologicznej,
- pomiar i regulacja ciśnienia powietrza technologicznego,
- pomiar natężenia przepływu powietrza technologicznego.

b. Rurociągi zasilające otwory eksploatacyjne:

- pomiar natężenia przepływu wody technologicznej,
- pomiar ciśnienia powietrza technologicznego.



Rys. 5. Schemat otworu eksploatacyjnego [3, 6]
Fig. 5. Cross-section of the borehole [3, 6]

c. Zbiornik siarki płynnej przy sterowniach:

- pomiar poziomu siarki z sygnalizacją poziomu min. i max
- pomiar temperatury siarki.

Charakterystyka podziemnego wytopu siarki

Eksploatacja siarki metodą podziemnego wytopienia polega na wprowadzeniu do złoża siarki ciepła, którego nośnikiem jest gorąca woda włączana przez otwory wydobywcze, spełniające rolę wyrobisk górniczych. Wytopiona siarka odbierana jest na powierzchnię przy użyciu sprężonego powietrza. Gorąca woda technologiczna oraz sprężone powietrze rurociągiem magistralnym a następnie rurociągami przedmagistralnymi są przesyłane na pole górnicze, do węzłów eksploatacyjnych, gdzie następuje ich rozdział na poszczególne otwory eksploatacyjne podłączone do danej sterowni [4].

Włączenie otworu do grzania następuje po podłączeniu otworu rurociągiem rur trójdrożnych do sterowni, sprawdzeniu jego szczelności, wypłukaniu otworu oraz instalacji z płuczki, zanieczyszczeń oraz podaniu wody technologicznej na kolumnę wodną i siarkową. Podstawą włączenia otworu do grzania i eksploatacji jest protokół włączenia zatwierdzony przez Kierownika Ruchu Zakładu Górniczego.

Faza wstępnego grzania otworu określona jest w protokole włączenia w zależności od warunków geologiczno – złożowych i trwa od 3 do 5 dni. Po tym okresie następuje odprężanie otworu w celu sprawdzenia czy w strefie przyotworowej i w otworze jest wystarczająca ilość siarki wytopionej. W przypadku nieodprężenia się otworu jest on nadal grzany na obie kolumny technologiczne. Po odprężeniu otwór wchodzi w fazę eksploatacji z jednoczesnym podawaniem wody technologicznej na kolumnę wodną i odbiorem siarki kolumną siarkową, przy równoczesnym podawaniu powietrza do pompowania siarki.

Oznaczenie:

1. Czwartorzęd
2. Iły krakowieckie (nadkład złoża)
3. Seria złożowa (siarkonośna)
4. Gipsy
5. Kolumna rur zamykająca czwartorzędowy horyzont wodonośny ($\varnothing 325$ mm)
6. Kolumna rur osłonowych w nadkładzie ($\varnothing 7\frac{5}{8}$ "
7. Kolumna rur doprowadzająca sprężone powietrze ($\varnothing 1$ "
8. Kolumna rur doprowadzająca wodę technologiczną do złoża ($\varnothing 5$ "
9. Rozpląt wody technologicznej
10. Pierścień zamykający przestrzeń między kolumnami rur ($\varnothing 5$ " i $\varnothing 3\frac{1}{4}$ "
11. Spływ płynnej siarki i kolumna rur odprowadzająca siarkę płynną na powierzchnię ($\varnothing 3\frac{1}{4}$ "

Otwory eksploatacyjne włączane są w ilości i w sposób pozwalający na:

- osiągnięcie założonego wydobycia,
- racjonalną gospodarkę złożem.

Otwory eksploatacyjne wyłącza się z grzania ostatecznie lub czasowo za zgodą Kierownika Ruchu Zakładu Górniczego w przypadku braku, lub niskich efektów produkcyjnych oraz z innych powodów umotywowanych np. profilaktyką przeciwerupcyjną czy kwestiami techniczno – ruchowymi.

Otwory poeksploatacyjne w zależności od stanu technicznego przeznacza się do odprężania, obserwacji, zatłaczania lub likwidacji. Do likwidacji przeznacza się otwory uszkodzone technicznie oraz zbędne w funkcji odprężania złoża i obserwacji.

Zgodnie z PZZ dla Kopalni Siarki „Basznia I” ustalono minimalny stopień szczypania złoża w wysokości 60%.

Armaturę i urządzenia sprawne technicznie wykorzystuje się do budowy nowych węzłów produkcyjnych. W rejonach poeksploatacyjnych w zależności od warunków geologiczno – górniczych może być prowadzone odprężanie technologiczne, ekranowanie hydrauliczne, zatłaczanie hydromieszanin (tampowanie złoża) lub otwory mogą pełnić funkcję obserwacyjną. W trakcie trwania działalności przemysłowej kopalnia będzie w wybranych rejonach prowadzić zabiegi rekultywacyjne. Po zaprzestaniu działalności przemysłowej grunty zostaną ostatecznie przekazane do rekultywacji.

Sposoby oddziaływania na warunki hydronaporowe horyzontu wód złożowych

a) Natężenie prowadzenia eksploatacji

Natężenie prowadzenia eksploatacji i związanego z nią poziomu zasilania złoża wodą technologiczną w danym rejonie zawierają ustalenia technologiczne, zgodne z wytycznymi technologicznymi, sporządzane przez dozór ruchu zakładu jeden raz w miesiącu. Ustalenia technologiczne zatwierdza Kierownik Ruchu Zakładu Górniczego.



Rys. 6. Sterownia ośmiocelkowa ze zbiornikiem siarki [Polska Siarka Sp. z o. o.]
Fig. 6. Control room with sulphure storage vessels

b) System odprężania złoża

W technologii wydobycia siarki metodą podziemnego wytapiania realizuje się odprężanie złoża, które jest częścią procesu eksploatacyjnego odbywającego się w zamkniętym obiegu. Doprowadzona do złoża woda technologiczna po oddaniu ciepła i wytopieniu siarki jest w części odbierana ze złoża.

Otwory odprężające będą zlokalizowane w sąsiedztwie otworów eksploatacyjnych, na wyprzedzeniu lub na zapleczu frontu eksploatacyjnego. Odbiór wód ze złoża odbywał się będzie przez samowypływy z otworów wiertniczych lub układ wymuszony (zastosowanie pomp do odbioru wód złożowych). Funkcje otworów odprężających spełniają otwory uzbrojone (odbior tylko z kolumny osłonowej) i nie uzbrojone w rury technologiczne, oraz poeksploatacyjne. Ilość odbieranej wody złożowej uzależniona jest od ilości wtłaczanej wody technologicznej, wydajności samowypływu z otworów oraz ciśnienia złożowego mierzonego na wieźbie otworu. Wskaźnik odprężania złoża określony jest poprzez podanie dopuszczalnych wartości ciśnień złożowych w rejonie eksploatacji, w ujęciu stosunku objętościowego odbieranej wody złożowej do sumarycznej objętości wody technologicznej podawanej na otwory eksploatacyjne. Zakłada się, że przewidywany wskaźnik odprężania złoża w stosunku do ilości wody wtłoczonej, w zależności od temperatury odbieranej wody zawierać się będzie w przedziale 40 - 70%. Dopuszczalne jest czasowe - z przyczyn awarii układu obiegu zamkniętego - zatrzymanie układu odprężania na okres niezbędny do usunięcia awarii [5].

W przypadku tendencji wzrostu ciśnień złożowych lub jego nadmiernego spadku podejmowane są odpowiednie działania technologiczne – ruchowe.

Odprężanie złoża prowadzone będzie w zasięgu najbliższej strefy wytopu otworów produkcyjnych i jest przesuwane wraz z postępowaniem frontu eksploatacyjnego. Na głowicy otworów eksploatacyjnych i obserwacyjnych dwa razy w tygodniu mierzone jest ciśnienie. Na otworach odprężających na instalacji odbioru mierzone jest ciśnienie i temperatura przepływającej

wody złożowej.

Wody złożowe odbierane z otworów odprężających kierowane są do kolektora zbiorczego a następnie przepompowywane do Stacji Uzdatniania Wód Złożowych w celu ich uzdatnienia.

c) Dokumentacja ruchowa odprężania złoża w kontekście warunków hydrogeologicznych

Jako dokumentacja ruchowa instalacji odbioru, prowadzone są na każdym stanowisku pompowym raporty dobowe, określające parametry indywidualne otworów:

- ciśnienie,
- temperatura wody złożowej.

Dwa razy na tydzień wykonywane są pomiary ciśnień na wieźbie otworów eksploatacyjnych i głowicy otworów obserwacyjnych. Wyniki zestawiane są w formie raportów.

Na podstawie wyników dobowych odprężania złoża sporządzany jest raport dobowy odprężania złoża, zawierający:

- ilości wtłoczonej wody technologicznej,
- ilości odebranej wody złożowej,
- procentowe wskaźniki odprężania złoża.

Raporty przesyłane są do Działu Mierniczo-Geologicznego, gdzie są analizowane i stanowią materiał przygotowawczy do ustaleń technologicznych.

d) Maksymalna temperatura odbieranych wód złożowych

Stosownie do §282 Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 25.04.2014 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu zakładów górniczych wydobywających kopaliny otworami wiertniczymi (Dz.U.poz.812), służba geologiczna kopalni w uzgodnieniu z Kierownikiem Ruchu Zakładu Górniczego określiła maksymalną temperaturę odbieranych wód złożowych ze wszystkich otworów do 95°C. W przypadku konieczności indywidualnego potraktowania

odbioru z danego otworu, wynikającą z potrzeby termicznego udrażniania złoża o niskim współczynniku filtracji, minimalizowania strat cieplnych w warunkach dobrej filtracji lub wymagań technologicznych, górną granicę temperatury odbieranej wody złożowej może zmienić służba geologiczna po uzgodnieniu z Kierownikiem Ruchu Zakładu Górniczego, dokonując wpisu polecenia w książkę poleceń Dyspozytorów Zmianowych Ruchu Zakładu Górniczego oraz książkę poleceń dla dozoru na polu górniczym.

Rurociągi stalowe, którymi przesyłana jest gorąca woda złożowa są izolowane. Rurociągi polipropylenowe posiadają odpowiednie atesty bezpieczeństwa są układane na gruncie. Odpowiednio dobrana grubość ścianek zapewnia izolację termiczną.

e) Ciśnienie wód złożowych wymagane potrzebami eksploatacji

Dla potrzeb ruchowych eksploatacji służby geologiczno-górnictwa Kopalni Siarki „Basznia I” sukcesywnie będą określały maksymalne ciśnienia wód złożowych na poszczególnych otworach przeznaczonych do odbierania wód złożowych.

f) Zapobieganie nie uzasadnionemu wzrostowi ciśnienia wód złożowych

W przypadku stwierdzenia wzrostu ciśnień złożowych na otworach eksploatacyjnych, podejmuje się działania zapobiegające dalszemu ich wzrostowi. Polegają one na zwiększeniu odbioru wody złożowej, ograniczeniu zasilania na otworach eksploatacyjnych bądź innych działaniach podejmowanych przez służbę geologiczno-górnictwa zakładu, wpisywanych w książkę poleceń osób dozoru. Decyzje te podejmowane są po analizie pomiarów ciśnień złożowych na otworach eksploatacyjnych i obserwacyjnych wykonywanych dwa razy na tydzień. Całość działań w zakresie odprężania złoża ma na celu:

- zwiększenie wskaźnika odprężania złoża,
- prowadzenie technologii wytopu siarki w granicach bezpiecznych i stabilnych ciśnień złożowych.

g) Ukierunkowywanie przepływu wód złożowych na przedpole

W technologii zamkniętego obiegu wód dąży się do odbierania gorących wód złożowych w bezpośrednim sąsiedztwie otworów eksploatacyjnych. Ukierunkowywanie rozpliwów ciepła w złożu i udrażnianie otworów do wypływu prowadzi się w rejonach przygotowywanych do eksploatacji na przedpolu.

h) Zapobieganie przedostawaniu się wód złożowych do chronionych horyzontów wodonośnych.

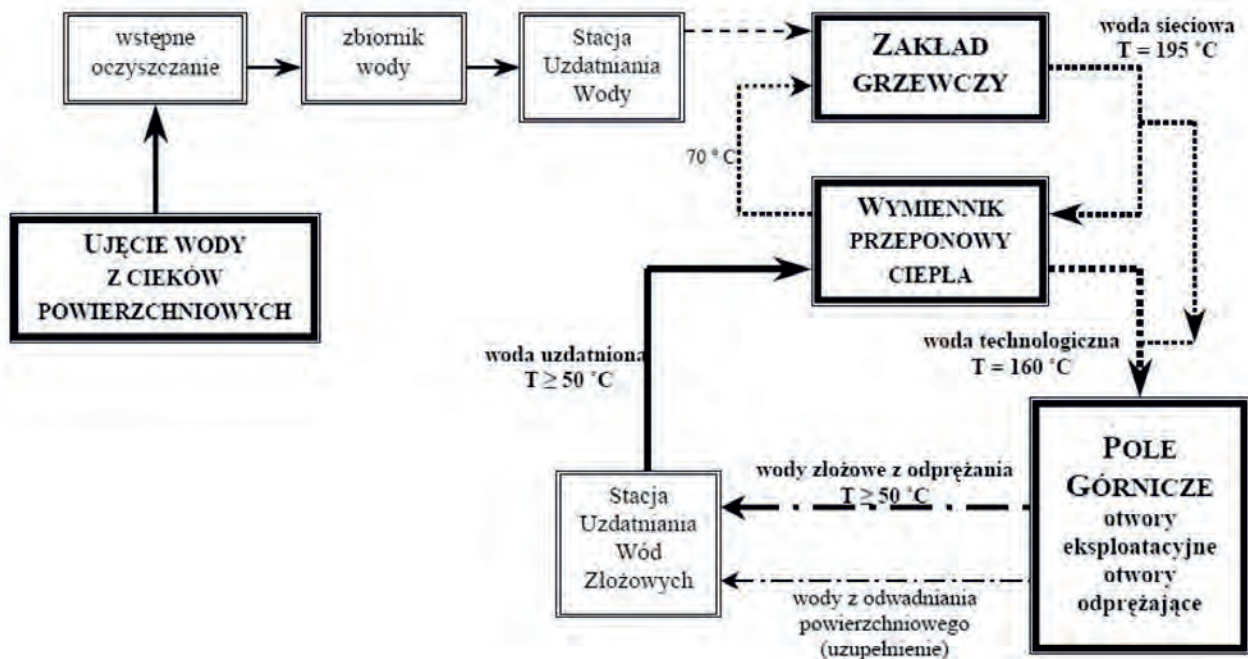
W celu zapobieżenia i wcześniejszego wykrycia nieszczelności kolumn technicznych na otworach eksploatacyjnych mogących spowodować przedostanie się wody złożowej w horyzonty wodonośne nadkładu lub na powierzchnię, wykonywane są przez oddział wydobywczy systematyczne badania szczelności tych kolumn w cyklu miesięcznym.

Badania te wykonywane są na wszystkich otworach eksploatacyjnych i na otworach odprężających według potrzeb.

i) Odwadnianie pól górniczych

Wody opadowe i powierzchniowe z terenu pola górniczego, systemem rowów odwadniających kierowane są do rzepi, skąd przepompowuje się je do zbiornika zbiorczego. Następnie przesyła się do uzdatniania na stację SUW. Wody z odwodnienia wykorzystywane będą jako uzupełnienie w zamkniętym obiegu. Woda złożowa z pola górniczego kierowana jest do Stacji Uzdatniania Wody, gdzie jest uzdatniana.

Do uzdatniania wody złożowej zastosowano proces dekarbonizacji wody metodą strąceniową polegającą na odpowiednim dozowaniu wapna i sody (metoda multi flow). Metoda



Rys 7. Schemat ideowy zamkniętego obiegu wód technologicznych i złożowych [3]
Fig 7. The schematic diagram of the closed circulation of formation waters [3]

ta pozwala na utylizację wydzielającego się siarkowodoru z wody złożowej o ile będzie to konieczne. Uzdatniona woda jest podgrzewana na przeponowych wymiennikach ciepła. Po wymiennikach temperatura wody wynosi ok. 160-170°C. Tak przygotowana woda technologiczna, rurociągiem magistralnym kierowana jest na pole górnicze do zasilania otworów eksploatacyjnych.

Wytyczne technologiczne opracowano zgodnie z obowiązującym Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 25.04.2014 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu zakładów górniczych wydobywających kopaliny otworami wiertniczymi (Dz.U.poz.812).

Wytyczne technologiczne

Wytyczne technologiczne wstępnego grzania złoża są określone indywidualnie dla każdego otworu w protokole włączenia otworu do eksploatacji, który każdorazowo zatwierdza Kierownik Ruchu Zakładu Górniczego [4].

a) Parametry wody technologicznej podawanej do złoża mierzone są w sterowni.

Wynikają one z istoty metody otworowej, własności siarki i rudy siarkowej. Podstawowymi właściwościami wpływającymi na skuteczność podziemnego wytopienia są:

- stosunkowo niska temperatura topnienia siarki (ok. 120°C),
- prawie dwukrotnie większa gęstość siarki niż wody (1,78 Mg/m³ w temperaturze 150°C),
- nie rozpuszczanie się siarki w wodzie i nie mieszanie się z wodą,
- istnienie minimum lepkości siarki w temperaturze około 157°C (maksimum lepkości występuje w temp. 187°C),
- różnica we współczynnikach rozszerzalności objętościowej siarki i szkieletu wapiennego rudy.

Te względy decydują, że temperatura wody gorącej tłocznej do złoża powinna wynosić od 157 do 160°C, a temperatura wody złożowej odbieranej od złoża powinna być mniejsza od 95°C. Ze względu na straty ciepła w kolektorach trójdrożnych w zależności od długości i pory roku (od 2 stopni do 8 stopni) optymalna temperatura wody wychodząca ze sterowni powinna wynosić 165°C w okresie zimowym oraz 160°C w okresie letnim. Ta temperatura zapewnia optymalne warunki wytopu a przede wszystkim najniższe opory przepływu siarki poprzez armaturę technologiczną od otworu do momentu załadunku do zbiorników V-1000m³.

Dokonywane pomiary temperatury i ciśnienia wody technologicznej mogą się wahać w przedziale:

- temperatura min. 150°C - max 175°C
- ciśnienia min. 0,6 MPa - max 1,2 MPa

Skrajne parametry odbiegające od zalecanych mogą wystąpić tylko w sytuacjach awaryjnych. Stosowanie ich w dłuższym horyzoncie czasowym doprowadzi do zmniejszenia efektywności procesu wytopu a nawet zestalania siarki w infrastrukturze technologicznej.

b) W sterowni znajdują się pomiary bilansowe na rurociągach wejściowych mediów technologicznych w zakresie:

- pomiaru natężenia przepływu wody technologicznej,
- pomiaru i regulacji ciśnienia wody technologicznej,
- pomiaru temperatury wody technologicznej,
- pomiaru i regulacji ciśnienia sprężonego powietrza.

Parametry mediów technologicznych:

- ciśnienie wody technologicznej na rurociągu przedmagistralnym od 0,9 MPa do 1,2 MPa jednak nie niższe niż ciśnienie nasycenia w danej temperaturze,
- ciśnienie robocze wody technologicznej po regulacji od 0,6 MPa do 1,2 MPa, (optymalne to 0,85 MPa)
- temperatura wody technologicznej od 150°C do 175°C, (optymalne 160°C do 165°C)
- ciśnienie sprężonego powietrza do 3,5 MPa w zależności od potrzeb.

c) Otwory eksploatacyjne opomiarowane są w sterowni w zakresie:

- natężenia przepływu wody technologicznej,
- ciśnienia sprężonego powietrza,
- temperatury wody technologicznej.

Podaż wody technologicznej na otwory eksploatacyjne ustalana na bieżąco po przeprowadzeniu analizy wyników produkcyjnych i sytuacji ruchowej. Każdorazowo zmiana ilości wody technologicznej na otwory wpisywana jest w książce poleceń lub raportach Dyspozytorów Zmianowych Ruchu Zakładu Górniczego.

Zmiany w podaży ilości wody technologicznej na otwory z wpisem w książkę poleceń Dyspozytorów Zmianowych Ruchu Zakładu Górniczego lub w książkę poleceń sztygarów na polu górniczym, mogą dokonywać Kierownik Ruchu Zakładu Górniczego, Z-ca Kierownika Ruchu Zakładu Górniczego, Nadsztygar Górniczy oddziału wydobywczego, Dyspozytorzy Zmianowi Ruchu Zakładu Górniczego. Ciśnienie sprężonego powietrza na otwór eksploatacyjny ustalane jest indywidualnie dla każdego otworu. Obsługa węzła eksploatacyjnego prowadzi ciągle obserwacje pomiaru mediów technologicznych i co godzinę odnotowuje w raportach pracy sterowni wielkość parametrów. Kontrole parametrów przeprowadzają osoby kierownictwa i dozoru ruchu.

Podsumowanie

Inwestor Polska Siarka Sp. z o.o. wykazał się wielką determinacją w kwestii uzyskania wszelkich pozytywnych wyników na drodze formalno-prawnej dla uzyskania koncesji na wydobycie siarki metodą otworową na „starym” złożu siarki Basznia. Starania te od pierwszych działań trwają już ponad 10 lat. Wynikiem tych działań jest zbudowana od podstaw nowa kopalnia otworowa siarki. Polska Siarka Sp. o.o. obecnie planuje wydobywać ok. 200 tys. Mg siarki rodzimej rocznie.

Literatura

- [1] *Dokumentacja geologiczna złoża siarki rodzimej „Basznia-1” w kat. C1.* 2014. Wykonawca dokumentacji: Przedsiębiorstwo Projektowo- Usługowe „AREA” S.C., ul. Żeromskiego 13/8, 25- 369 Kielce
- [2] Dorota Zybala. 2016. *Projekt zagospodarowania części złoża siarki rodzimej „Basznia -1”*
- [3] Kasztelewicz Z., 2010: *Rekultywacja terenów pogórnich w polskich kopalniach odkrywkowych* Kraków. Fundacja Nauka i tradycje górnicze AGH. Kraków
- [4] *Powierzchniowe badania sejsmiczne dla wstępnego rozpoznania strukturalnego złoża siarki Basznia oraz ocena jego właściwości pod kątem projektowania jego udostępnienia.* 2018. Katedra Geofizyki, AGH Kraków
- [5] *Technologia eksploatacji siarki.* 2018. Polska Siarka Sp. z o.o. Materiał nie publikowany
- [6] *Bilans zasobów.* 2018. Państwowy Instytut Geologiczny. Warszawa

prof. dr inż. Zbigniew Kozłowski

1933-2018

Generalny Projektant KWB Bełchatów

Węgiel brunatny to Jego Świat

