

Melwiel Stan Stewart 17/06/03

**MECHANIZACJA i AUTOMATYZACJA  
Górnictwa**

CZASOPISMO NAUKOWO-TECHNICZNE  
NR 3-4(387) MARZEC-KWIECIEŃ 2003

NOWOCZESNE KONSTRUKCJE  
NOWE TECHNOLOGIE  
EKONOMIKA WYDOBYCIA  
MECHANIZACJA  
ELEKTRYFIKACJA  
ELEKTRONIKA  
AUTOMATYZACJA

СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ  
НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ  
ЭКОНОМИКА ДОБЫЧИ  
МЕХАНИЗАЦИЯ  
ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ  
ЭЛЕКТРОНИКА  
АВТОМАТИЗАЦИЯ

MODERN DESIGNS  
NEW TECHNOLOGIES  
OUTPUT ECONOMICS  
MECHANIZATION  
ELECTRIFICATION  
ELECTRONICS  
AUTOMATION

PL ISSN 0208-7448

## SPIS TREŚCI

1. Obserwacja ciśnienia powietrza i potencjału aerodynamicznego w kopalni	7	doc. dr hab. inż. S. Wasilewski
2. Badanie własności metrologicznych barometrów $\mu$ BAR w aspekcie pomiarów w kopalni	20	dr inż. J. Krawczyk dr inż. J. Kruczkowski
3. Obliczenia inżynierskie w wentylacji kopalnianej	30	dr inż. J. Szywacz
4. Występowanie siarkowodoru w pokładach węgla	40	prof. A.D.S. Gillies dr inż. M.S. Kizil dr inż. H.W. Wu dr inż. T. Harvey
5. Symulacja przepływu mieszaniny powietrza i metanu w rejonie ściany, z uwzględnieniem procesu urabiania i odstawy węgla	55	mgr B. Blecharz doc. dr hab. inż. W. Dziurzyński dr inż. A. Krach dr T. Pałka
6. Zwiększenie zużycia wody w zwalczaniu zagrożenia pyłowego w polskich kopalniach węgla kamiennego	68	dr inż. K. Matuszewski
7. Optyczne metody pomiarowe dla monitorowania zagrożenia pyłowego w kopalniach	76	dr inż. J. Mróz mgr M. Szczygielska
8. Pomiar wartości średniej prędkości w kanałach z silną turbulencją przy pomocy rurki Pitota - Prandtla	82	dr inż. W. Cierniak
9. Wpływ długości odcinka tłocznego na współpracę wentylatora osiowego z tunelem o przekroju kwadratowym	87	dr inż. M. Mikoś mgr inż. M. Lis

---

### Rada Programowa:

mgr inż. Marek Chagowski, mgr inż. Wojciech Ciążyński, prof. dr hab. inż. Stanisław Cierpisz – przewodniczący,  
prof. dr hab. inż. Marian Dolipski, prof. dr hab. inż. Jerzy Frączek, prof. zw. dr hab. inż. Adam Klich,  
mgr inż. Zbigniew Krzemień, prof. dr hab. inż. Adam Lipowczan, prof. dr hab. inż. Bogdan Miedziński,  
prof. dr hab. inż. Tadeusz Orzechowski, prof. dr inż. Antoni Pach, doc. dr inż. Franciszek Szczucki,  
doc. dr hab. inż. Stanisław Wasilewski – sekretarz

### Komitet Redakcyjny:

Redaktor Naczelny – dr inż. Władysław Mironowicz, Sekretarz Redakcji – mgr inż. Antoni Kurzeja  
Redaktorzy działowi: mgr inż. Leszek Jarno, dr inż. Janusz Strzeмиński,  
mgr inż. Janusz Tobiczek, doc. dr hab. inż. Stanisław Wasilewski, mgr inż. Mirosław Zapart  
Redaktor techniczny – mgr Urszula Gisman

Adres Redakcji: ul. Leopolda 31, 40-189 Katowice, tel. (0-32) 2007700, 2007570  
e-mail: centrum@emag.pl

prof. A.D.S. GILLIES  
dr inż. M.S. KIZIL  
dr inż. H.W. WU  
dr inż. T. HARVEY  
Wydział Górnictwa, Mineralów i Inżynierii Materiałowej  
University of Queensland; Anglo Coal, Australia

## WYSTĘPOWANIE SIARKOWODORU W POKŁADACH WĘGLA

### SOME APPROACHES TO HANDLING HYDROGEN SULPHIDE IN COAL SEAMS

---

Artykuł dotyczy występowania siarkowodoru ( $H_2S$ ) w pokładach węgla. Badania podjęte w ramach projektu obejmowały przeprowadzenie wszechstronnych wzajemnie powiązanych analiz dla pełnego zrozumienia tego złożonego problemu eksploatacji górniczej. Celem badań było wyjaśnienie jak, gdzie i dlaczego powstają strefy koncentracji  $H_2S$ , jak gaz wyzwala się z calizny węglowej, czy strefy koncentracji mogą ulegać rozrzedzeniu czy neutralizacji pod wpływem poprawionej wentylacji, nasączenia wodnego /"infuzji"/, chemicznego czy mikrobiologicznego, natrysków roztworem chemicznym, oraz czy można metodami górniczymi rozwiązać ten problem. W odniesieniu do badań zastosowano podejście multidyscyplinarne. Zbadano niezbędne systemy przewietrzania i wymagane ilości powietrza dla wykrywania i monitoringu  $H_2S$ . Duże zmiany w pomiarach koncentracji  $H_2S$  z różnych źródeł przodku jak i fizyczne różnice w wyrobisku ścianowym, planie wentylacji oraz operacyjnych procedur, utrudniają interpretację danych koncentracji gazu. Ekonomicznie uzasadnione wydaje się stosowanie filtrów oddechowych dających doraźny bezpieczny sposób ochrony górników przed potencjalnie zgubnym środowiskiem. Opisano dobór filtrów z wkładem filtrującym i filtrów nahełmowych, ze strumieniem powietrznym, marki Racal, i przeprowadzono pewne testy w zakresie żywotności i sprawności filtra. System wentylacji kopalnianej może być tak zmodyfikowany aby zapewnić bezpieczną eksploatację w trakcie przejścia stref, na które ma wpływ  $H_2S$ . Przebadano rozwiązania służące maksymalizacji bezpiecznej eksploatacji w zagrożonym polu wybierania bądź w przodkach przygotowawczych. Przeanalizowano również warianty eksploatacji górniczej zmierzające do redukcji emisji  $H_2S$ . Podjęto realizację szerszego programu prób chemicznego nasączenia (infuzji neutralizującej) w pokładzie. Zasadniczym celem procesu infuzji chemicznej jest wstępne złagodzenie "proporcji  $H_2S$ ", pozwalające na prowadzenie eksploatacji węgla w bezpiecznym środowisku i przy ekonomicznej wielkości produkcji. Podano niektóre ujęcia analizy wyników i oceny skuteczności podejścia.

---

The study addresses Hydrogen Sulphide ( $H_2S$ ) in coal seams. The objectives of the project were to undertake a comprehensive series of interrelated studies to gain a full understanding of this complex mine production problem. The goal was to understand how, where and why high concentration zones of  $H_2S$  occur, how does gas release from the coal mass occur, can concentrations be diluted or neutralised through improved ventilation, water, chemical or microbiological infusion, chemical solution sprays and can mining approaches be modified to contain the problem. A multidisciplinary approach has been used for related investigations. Systems and the output streams available for  $H_2S$  detection and monitoring have been examined. The large variations in  $H_2S$  concentration measurements from different face sources and the physical differences in the longwall face, ventilation plan, and operating procedures make the interpretation of gas concentration data difficult. Respiratory filters represent a cost-effective and short-term safe way to protect miners from potentially lethal environment. A selection of cartridge and Racal airstream helmet filters has been described and some tests into filter life and efficiency undertaken. The mine ventilation system can be modified to allow safe production through  $H_2S$  affected zones. Designs for maximising safe production through affected mine panel or development headings have been tested. Mining options to reduce  $H_2S$  emissions have also been examined. A major program of in-seam chemical neutralisation infusion trials was undertaken. The basic aim of the chemical infusion process is to prestrip a significant proportion of  $H_2S$  to allow coal mining to proceed in a safe working environment at an economic production rate. Some approaches to analysis of results and evaluating the efficiency of the approach have been given.

---

1. WSTĘP

Obecność H<sub>2</sub>S w pokładach węgla powoduje w trakcie eksploatacji górniczej szereg problemów zarówno w zakresie eksploatacji jak i bezpieczeństwa, co może prowadzić do obniżenia produkcji, mniejszego postępu robót przygotowawczych, obniżenia sprawności i dużych kosztów wentylacji. Występowanie wysokich koncentracji w prowadzeniu przodków przygotowawczych i ścianowych w polu wybierania powodowało wiele problemów. Problemy te znalazły uzasadnienie dla znacznego wysiłku badawczego zmierzającego do wyjaśnienia problemu mającego wpływ w skali przemysłowej i wprowadzenie bezpiecznego systemu eksploatacji górniczej, jaki zapewnia minimum przestojów i strat produkcyjnych.

Występowanie w pokładach gazów H<sub>2</sub>S jest rzadkie w świecie i zostało ono wykryte w pokładach węgla w północno-wschodniej Azji, Francji, USA i Australii. W Australii znaczące występowania stwierdzono w licznych kopalniach w Queensland (Ryan, *et al.*, 1998 – *praca zbiorowa*; Harvey *et al.*, 1998). H<sub>2</sub>S jest wyjątkowo toksycznym gazem i może spowodować śmierć. W większości krajów wydobywających węgiel z zastosowaniem nowoczesnych sposobów eksploatacji górniczej stosowane są ostre ograniczenia zapewniające bezpieczne metody wydobywania w obecności tego gazu.

W wielu dziedzinach podjęto przedsięwzięcia zmierzające do zrozumienia tego złożonego problemu (Gillies, *et al.*, 2000). Celem było zrozumienie m.in.:

- Jak, gdzie i dlaczego występują strefy koncentracji H<sub>2</sub>S,
- W jaki sposób występuje emisja gazu z kaliny węglowej,
- Czy koncentrację można rozrzedzić lub zneutralizować przez poprawę wentylacji, natryski lub infuzje wodne, roztworami chemicznymi lub mikrobiologicznymi oraz
- Czy górnicza eksploatacja może być zmodyfikowana aby skutecznie zwalczać ten problem?

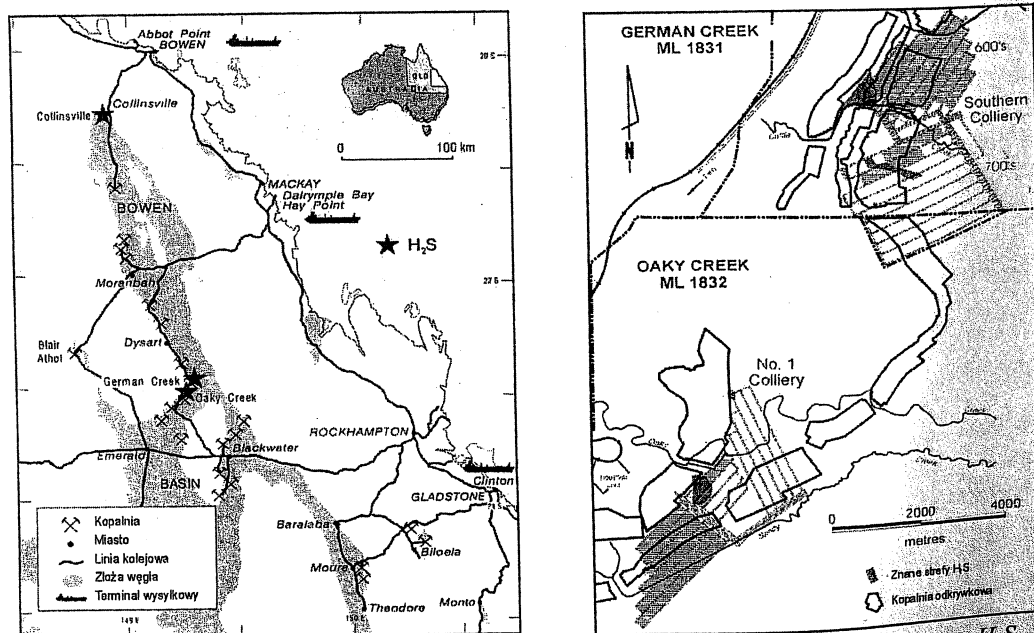
1. INTRODUCTION

The presence of H<sub>2</sub>S in coal seams causes a significant number of operational and safety problems during mining that may result in low production and development rates, poor efficiency and high ventilation costs. High concentration occurrences during mining of development headings and longwall panels have raised a number of potential problems. These were seen to warrant a significant research effort to gain an understanding of a problem that has industry wide implications and to put in place a system of safe mining that ensures minimum production down time and loss.

The occurrence of H<sub>2</sub>S in coal seam gases is rare around the world and it has been detected in coal seams in North East Asia, France, the US and Australia. In Australia significant occurrences have been found in a number of mines in Queensland (Ryan, *et al.*, 1998; Harvey, *et al.*, 1998). H<sub>2</sub>S is an extremely toxic gas and can cause death. Stringent limits apply to ensure safe practices when mining in the presence of the gas in most coal mining countries using modern mining practices.

A project was undertaken in a number of sections with an objective of gaining a full understanding of this complex problem (Gillies, *et al.*, 2000). The goal was to understand:

- How, where and why high concentration zones of H<sub>2</sub>S occur,
- How does gas release from the coal mass occur,
- Can concentrations be diluted or neutralised through improved ventilation, water, chemical or microbiological solution sprays or infusion and
- Can mining approaches be modified to contain the problem efficiently?



Rys. 1. Mapki sytuacyjne niektórych australijskich kopalń węgla z pokładami z gazem H<sub>2</sub>S wg pracy zbior. Ryan *et al.* 1998  
 Fig. 1. Locality maps of some Australian coal mines with H<sub>2</sub>S seam gas (After Ryan, *et al.*, 1998)

Interdyscyplinarne podejście zastosowano w powiązanych ze sobą badaniach na wielu frontach aby ustalić przyczynę i określić alternatywne rozwiązania tego problemu. Podjęte przedsięwzięcie finansowano w ramach Programu badań Australian Coal Association Research (ACARP – Program Badań Australijskiego Stowarzyszenia Węglowego) oraz z funduszy kopalni Queensland Oaky Creek Colliery i German Creek Southern Colliery (Rys. 1). Niniejszy artykuł zawiera przegląd niektórych aspektów podjętych badań.

A multi-disciplined approach has been used for related investigations on a number of fronts to establish the cause of and alternative solutions to the problem. The project was undertaken with funding from the Australian Coal Association Research Program (ACARP) and the Queensland Oaky Creek and German Creek Southern collieries (Figure 1). This paper gives an overview of some aspects of the research undertaken

## INFORMACJE OGÓLNE O H<sub>2</sub>S

## GENERAL INFORMATION ABOUT H<sub>2</sub>S

### Własności H<sub>2</sub>S

H<sub>2</sub>S, znany również jako siarkowodor lub gaz zgniłych jaj, jest bezbarwny, natomiast odznacza się silnym i nieprzyjemnym odorem. Przy wysokim ciśnieniu i niskiej temperaturze jest cieczą. Jego ciężar właściwy wynosi 1,19 i pali się on w powietrzu jasnoniebieskim płomieniem wytwarzającym dwutlenek siarki i parę wodną. Nos człowieka może wykryć tak niskie stężenie jak 0,02 ppm, jednakże przedłużające się narażenie /na działanie gazu – przyp. tłum./ pozbawia organ węchowy wrażliwości i nie jest już on w stanie wyczuć poziomu stężenia powyżej 50 ppm. W powietrzu H<sub>2</sub>S tworzy mieszaniny palne w zakresie stężenia 4,5-45%. Jest on mocno aktywny chemicznie i żrący wobec wszystkich związków organicznych.

### Properties of H<sub>2</sub>S

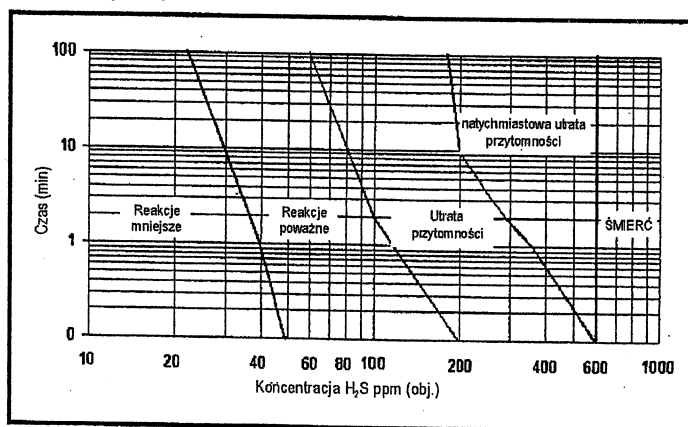
H<sub>2</sub>S, also known as sulphuretted hydrogen or rotten egg gas, has no colour but a powerful and unpleasant odour. It is liquid at high pressure and low temperature. It has a specific gravity of 1.19 and burns in air with a bright blue flame producing sulphur dioxide and water vapour. The human nose can detect concentrations as low as 0.02 ppm, however increasing exposure desensitises the olfactory organ and concentration levels above 50 ppm can no longer be smelt. H<sub>2</sub>S forms flammable mixtures in air in the range of 4.5-45 percent. It is highly reactive and corrosive to all organic and metallic compounds.

### Fizjologiczne skutki działania H<sub>2</sub>S

H<sub>2</sub>S jest szczególnie toksycznym gazem i może spowodować śmierć przy stężeniu powyżej 500 ppm. Podrażnia on płuca i drogi oddechowe i ma narkotyczny wpływ na centralny układ nerwowy (Strang i Mackenzie-Wood, 1990). W reakcji z płynami w nosie i płucach H<sub>2</sub>S tworzy kwas siarkowy. Toksyczność H<sub>2</sub>S wynika raczej z samej molekule H<sub>2</sub>S niż z jonów wodorosiarczku lub siarkowych (praca zbiorowa Elvers *i in.*, 1989). Oddziaływanie H<sub>2</sub>S na zdrowie osób może być ekstremalne w zależności od stężenia, na które są one narażone. Czas trwania stanu narażenia, choć ciągle ważny ma drugorzędne znaczenie (Rys. 2).

### Physiological Effects of H<sub>2</sub>S

H<sub>2</sub>S is an extremely toxic gas and can cause death at exposures above 500 ppm. It irritates the lungs and respiratory tract and has a narcotic effect on the central nervous system (Strang and Mackenzie-Wood, 1990). The reaction of H<sub>2</sub>S with fluids in the nose and lungs forms sulphuric acid. The toxicity of H<sub>2</sub>S is due to the H<sub>2</sub>S molecule itself rather than to Hydrosulphide or sulphur ions (Elvers, *et al.*, 1989). The effect of H<sub>2</sub>S on a person's health can be extreme, depending on the concentration to which they are exposed. The duration of exposure, while still important, is of secondary interest as indicated in Figure 2.



Rys. 2. Oddziaływanie fizjologiczne H<sub>2</sub>S (wg Komitetu Bezpieczeństwa Shell'a 1996)  
Fig. 2. Physiological effects of H<sub>2</sub>S (After Shell Safety Committee, 1996)

### Granice progowe H<sub>2</sub>S

Australijska Norma narażenia na działanie H<sub>2</sub>S wynosi 10 ppm (TWA – 8 godz) lub 15 ppm (STEL - 15 min). Akceptowalny pułap koncentracji wg Normy US Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (*Ministerstwo Pracy USA, Urząd Bezpieczeństwa Zawodowego i Zdrowia*) wynosi 20 ppm na 10 minut tylko jednorazowo jeśli nie występuje żadne inne mieralne wystawienie na działanie H<sub>2</sub>S. Akceptowalne szczytowe maksymalne stężenie ponad akceptowalną koncentrację progową dla 8-godzinnej zmiany roboczej wynosi 50 ppm.

### WYSTĘPOWANIE H<sub>2</sub>S

Występowanie H<sub>2</sub>S jako gazu ziemnego /kopalnego/ odnotowano we Francji, Kanadzie, Chinach, Rosji i Australii (Ko Ko i Ward 1996). W analizie siarkowego stosunku izotopowego <sup>34</sup>S/<sup>32</sup>S Smith'a i Philips'a (1990) proponuje się przyjęcie jako źródła H<sub>2</sub>S w pokładzie węgla biologiczną redukcję siarczanu, pochodzącego z transgresji oceanicznej, który został wytworzony w środowisku ubogim w żelazo i nie przetworzony w piryt. Pozwoliło to na wchodzenie w reakcje dużych ilości H<sub>2</sub>S z materią organiczną i uwiązanie w pokładzie węgla w czasie jego dojrzewania. Moelle (1987) (cytowany Philips *i in.*, 1990) sugeruje, że występowaniu H<sub>2</sub>S w Europie towarzyszyły muły sapropelowe zawierające roślinność karbońską. W ostatnich badaniach źródeł H<sub>2</sub>S w australijskich kopalniach węgla położono większy nacisk raczej na organiczne niż nieorganiczne źródło (Gillies, *i in.*, 2000). H<sub>2</sub>S – organiczny człon siarkowy – jest podtrzymywane przez wymuszoną zależność pomiędzy bitumem/pirobitumem a H<sub>2</sub>S, pomiędzy węglem i siarką oraz danymi izotopu siarkowego współistniejącego H<sub>2</sub>S i siarki organicznej. Związki siarki organicznej przeważają nad gazami siarkowymi generowanymi w pirolizie węgla chociaż występują znaczne ilości SO<sub>2</sub>. Oznaczenie metodą K-Ar wskazuje na to, że węgle ze strefami o wielkiej zawartości H<sub>2</sub>S podlegały złożonemu procesowi termicznemu „historii termicznej”, w którym wystąpiły przynajmniej trzy odrębne zdarzenia termiczne/hydrotermiczne i intruzywne.

### PROGNOZA WYDZIELANIA SIĘ GAZU H<sub>2</sub>S W WĘGLU IN SITU

#### Pobieranie próbek

Możliwe jest prognozowanie poziomu wydzielania się gazu H<sub>2</sub>S w węglu in situ, który będzie uwolniony w poszczególnych fazach eksploatacji: urabiania, kruszenia i transportu, przez badanie zwiercin lub próbek węgla z ociosów odsłoniętych w trakcie robót przygotowawczych. Pozyskanie reprezentatywnych próbek z węgla zawierającego H<sub>2</sub>S jest sprawą złożoną.

### Threshold Limits of H<sub>2</sub>S

The Australian Standard for exposure to H<sub>2</sub>S is 10 ppm (TWA-8 hrs) or 15 ppm (STEL-15 min.). The US Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration's acceptable ceiling concentration is 20 ppm for 10 minutes once only if no other measurable exposure occurs. The acceptable maximum peak concentration above the acceptable ceiling concentration for an 8-hour shift is 50 ppm.

### OCCURRENCE OF H<sub>2</sub>S

The occurrence of fossil H<sub>2</sub>S gas in coal measure strata has been noted in France, Canada, China, Russia and Australia (Ko Ko and Ward, 1996). In a study by Smith and Philips (1990) on the sulphur isotope ratio <sup>34</sup>S/<sup>32</sup>S, the source of coal seam H<sub>2</sub>S was proposed as a biological reduction of sulphate supplied from a marine transgression which was generated in a low iron environment and was not converted to pyrite. This allowed large quantities of H<sub>2</sub>S to react with organic matter and to be trapped within the coal seam during the maturation. Moelle (1987) (cited Phillips, *et al.*, 1990) suggests that the occurrence of H<sub>2</sub>S in Europe was associated with sapropelic muds containing the remains of the Carboniferous plants. Recent research into the sources of H<sub>2</sub>S in Australia coal mines has given more weight to an organic rather than an inorganic source (Gillies, *et al.*, 2000).

The H<sub>2</sub>S-organic sulphur link is supported by positive correlation between bitumen/pyro-bitumen and H<sub>2</sub>S, between carbon and sulphur and between sulphur isotope data of coexisting H<sub>2</sub>S and organic sulphur. The organo-sulphur compounds dominate the sulphur gases generated by coal pyrolysis although substantial quantities of SO<sub>2</sub> are present. K-Ar dating indicates that the coals containing the high H<sub>2</sub>S zones were subjected to a complex thermal history that included at least three separate thermal/hydrothermal and intrusive events.

### PREDICTION OF IN-SITU COAL H<sub>2</sub>S GAS LIBERATION

#### Sampling

The prediction of in-situ coal H<sub>2</sub>S gas liberation levels which will be released in the mining sequence during cutting, breakage and transport can be achieved by testing exploration cores or rib coal samples exposed during development. Obtaining representative samples from coal containing H<sub>2</sub>S is complex. H<sub>2</sub>S is a difficult gas to contain as it is highly reactive and is able to permeate through most container walls. Each sample collected for testing must be sealed on site. For longer-term storage of samples Teflon containers or a plastic pipe capped at both ends can be used.

H<sub>2</sub>S jest gazem trudnym do przechowywania, gdyż jest bardzo aktywny i może przenikać przez większość ścianek pojemników. Każda próbka pobrana do badania winna być szczelnie zamknięta na miejscu. Do dłuższego przechowywania próbek można wykorzystać pojemniki teflonowe lub rurę plastikową zasklepioną na obu końcach. W fazie przedeksploatacyjnej wykorzystano wiele metod pobierania próbek i metod badawczych aby przewidzieć poziomy stężenia H<sub>2</sub>S w strefach gazowych, łącznie z metodami pobierania próbek z ociosu, z rdzeni z odwiertów pionowych i poziomych w pokładzie (Gilles, *i in.*, 2000).

#### Określenie zawartości H<sub>2</sub>S w węglu

Gdy w Zagłębiu Queensland Bowen po raz pierwszy natrafiono na ten czynnik zanieczyszczający nie było jeszcze ustalonej techniki określania zawartości H<sub>2</sub>S w węglu. Do określenia zawartości H<sub>2</sub>S w węglu wykorzystano wcześniejszą postać instalacji z bębnem oczyszczającym (Phillips, *i in.*, 1990). Rozwiązanie zmodyfikowane, z możliwością stałego pobierania próbek gazu w trakcie kruszenia węgla, opracowane zostało przez O&B Scientific (Rys. 3) w 1996 r.

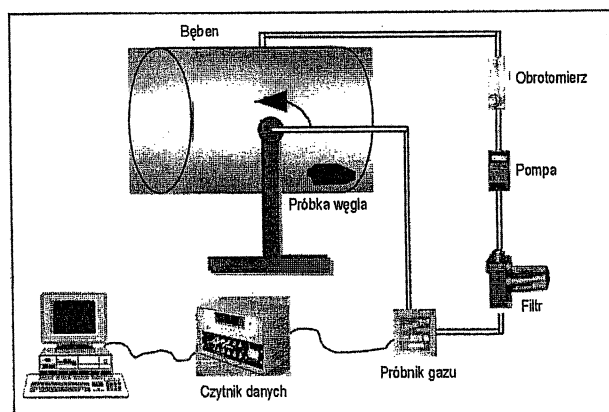
Instalacja składała się z obrotowego 255-litrowego bębna z polietylenu o dużej gęstości. Bęben kruszył próbkę przy 20 obrotach na minutę przez około 180 sekund do uzyskania stopnia skruszenia węgla reprezentującego jego wielkość na przenośniku ścianowym. Po próbie próbka została rozdrobniona. Badanie wykonano w celu określenia objętości H<sub>2</sub>S uwolnionej z danej próbki do atmosfery w warunkach kontrolowanych (Gilles i Kizil, 1997). Ta próba była miarodajna, lecz pracochłonna.

A number of different sampling and testing methods were utilised pre-mining to predict the levels of H<sub>2</sub>S concentration in the gassy zones including rib sampling, vertical drilling and in-seam horizontal drilling core sampling methods (Gillies, *et al.*, 2000).

#### Determining H<sub>2</sub>S Content of Coal

There was no established technique for determining H<sub>2</sub>S content of coal when the contaminant was first encountered within Queensland's Bowen Basin. An early form of drum tumbler system was developed to determine the H<sub>2</sub>S content of coal (Phillips, *et al.*, 1990). A modified design with the ability to constantly sample gas during coal breakage was developed by O&B Scientific (Figure 3) in 1996.

The system consisted of a rotating high-density polyethylene 255-litre drum. The drum tumbled a sample at 20 rpm for approximately 180 seconds to produce coal breakage representative of the size of coal on the armoured face conveyor. The sample was sized after testing. The test was used to determine the volume of H<sub>2</sub>S released into the atmosphere from a given sample under controlled conditions (Gillies and Kizil, 1997). This testing method was reliable but was labour intensive.



Rys. 3. Czyszcząca instalacja bębnowa i przenośny analizator gazu  
Fig. 3. Drum tumbler system and portable gas analyser



Zebranie próbek węgla z przodka kopalni i ich transport na powierzchnię do prób na obecność  $H_2S$  to procedura pracochłonna i czasochłonna. Aby ten proces uprościć i oszczędzić czasu, na Wydziale Górnictwa, Mineralogii i Inżynierii Materiałowej Uniwersytetu Queensland skonstruowano urządzenie zwane Przenośny Analizator Gazu (PGA – *Portable Gas Analyser*) (Rys. 3). PGA jest przenośną iskrobezpieczną kruszarką próbek węgla i może ona być zabrana do przodka eksploatacyjnego w celu zbadania węgla *in situ* w pokładzie na obecność gazów. Wybrano konstrukcję ze stali nierdzewnej, aby uniknąć korozji i umożliwić użytkowanie urządzenia w kopalniach gazowych.

#### Prognozowanie emisji $H_2S$

Podjęto wszechstronną analizę zagadnienia prognozowania potencjalnej emisji gazu  $H_2S$  *in situ*. Ważny oczekiwany poziom zawartości gazu to ten jaki wynika z emisji gazu w trakcie urabiania, kruszenia i transportu (Rys. 4). Wyjaśnienie zagadnienia źródeł  $H_2S$  uzyskuje się głównie przez monitorowanie modelu prędkości i ruchu powietrza wentylacyjnego w przodkach ścianowych. Generalnie, im większa prędkość powietrza tym więcej będzie odprowadzonego gazu  $H_2S$  od źródła. W ostatnich latach przeprowadzono kilka badań źródeł  $H_2S$  w Kopalni German Creek Southern stanowiących część analizy zmierzającej do wyjaśnienia mechanizmów wytwarzania  $H_2S$  w zmechanizowanych przodkach ścianowych.

Stwierdzono, że uwolnienie dużych ilości  $H_2S$  wzdłuż ściany następuje w rezultacie urabiania i kruszenia węgla. Zidentyfikowano również inne źródła  $H_2S$  jako:

- $H_2S$  dopływający do wlotowego chodnika wentylacyjnego,
- Transport węgla na pancernym przenośniku ścianowym (AFC – *Armoured Face Conveyor*),
- Transport węgla na przenośniku podścianowym (BSL),
- Kruszenie węgla na kruszarce,
- Zespół bocznie syjący AFC/BSL (narożnik przenośnika podścianowego) oraz
- Transport węgla taśmociągiem wzdłuż ścianowej calizny węglowej.

Coal samples collection from the mine face and transporting to the surface for testing for  $H_2S$  is a labour intensive and time consuming process. To simplify the process and save time, an instrument called the Portable Gas Analyser (PGA) was designed in the University of Queensland Department of Mining, Minerals and Materials Engineering (Figure 3).

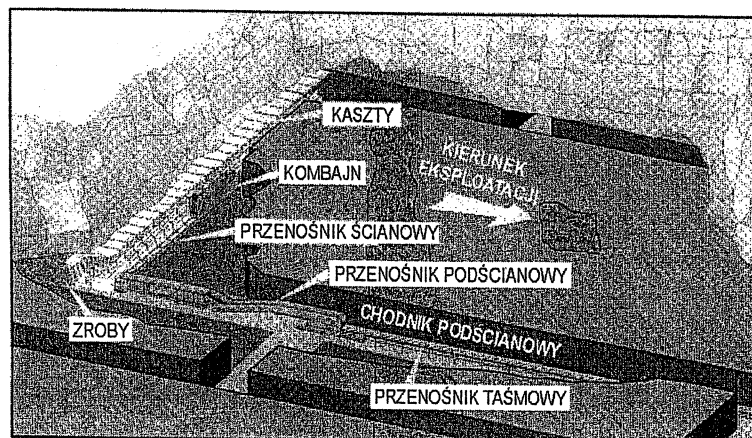
The PGA is a portable coal sample crusher that is intrinsically safe and can be taken directly to the mining face for *in-situ* coal seam sample testing for gases. The construction of stainless steel was chosen to avoid corrosion and to allow use in gassy underground coal mine areas.

#### Prediction of $H_2S$ Release

A comprehensive examination of approaches to prediction of *in-situ* coal  $H_2S$  gas liberation potential has been undertaken. The important gas content level sought is that released in the mining sequence during cutting, breakage and transport (Figure 4). An understanding of  $H_2S$  sources is mainly obtained by monitoring the velocity and movement pattern of the ventilation air on longwall faces. Generally, the higher the air velocity the more  $H_2S$  will be carried away from the source. Over the past years several  $H_2S$  source surveys have been carried out in German Creek Southern Colliery as part of a study aimed at understanding the mechanisms of  $H_2S$  generation on mechanised longwall faces.

The liberation of large quantities of  $H_2S$  along the face was found to be primarily from the shearing and breaking of the coal. Other important sources of  $H_2S$  were identified as:

- $H_2S$  contaminating the intake airway,
- Coal transport via the Armoured Face Conveyor (AFC),
- Coal transport via the Breaker Stage Loader (BSL),
- The breaking of coal through the crusher,
- AFC & BSL side discharge unit (corner at MG) and
- Coal transport via the longwall panel belt.



Rys. 4. Źródła  $H_2S$  w eksploatacji ścianowej  
Fig. 4. Sources of  $H_2S$  in longwall mining



Wielość źródeł  $H_2S$  sprawia, że analiza jest trudna ze względu na zachowanie się  $H_2S$  oraz rozprzodzenie i rozrzedzenie wentylacyjne w rejonie ściany. Jednakże, większym podstawowym źródłem  $H_2S$  jest kombajn ścianowy. Inne źródła, w szczególności ruch obudów i transport węgla na przenośniku AFC (ścianowym) również miały znaczący udział w całkowitej objętości  $H_2S$  wytwarzanego w wyrobisku ścianowym.

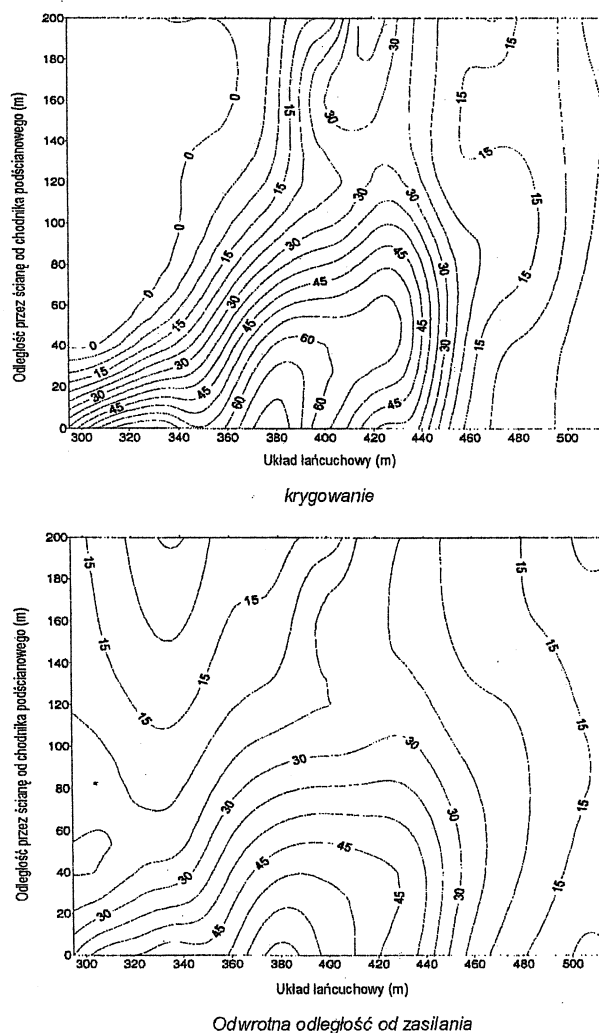
#### Modelowanie rozkładu gazu $H_2S$

Stwierdzono, że modelowanie stężeń  $H_2S$  z podejściem geostatystycznym jest złożone z uwagi na niepewności towarzyszące naturze techniki i błędom w pobieraniu próbek i badaniach /testach/. (Gillies, *et al.*, 1999). Zastosowanie analizy geostatystycznej okazało się bardzo korzystne w aspekcie lepszego zrozumienia modeli „wskazanych” poziomów koncentracji  $H_2S$  w pokładzie na podstawie określonych danych. Ustalono, że najbardziej właściwym podejściem w modelowaniu zestawów danych  $H_2S$  jest „krygowanie” /„kriging”/. Niniejsza analiza wykazała, że przy zastosowaniu podejścia geostatystycznego konieczna jest staranność, aby uzyskać model miarodajny (Rys. 5).

The multiple sources of  $H_2S$  make the analysis difficult due to the behaviour of the  $H_2S$  and the distribution and ventilation dilution in the longwall section. However, the shearer was the major primary  $H_2S$  source. Other sources, in particular the support movement and coal transport on the AFC also contributed a significant proportion of the total of the  $H_2S$  generated on the longwall face.

#### Modelling of $H_2S$ Gas Distribution

Modelling  $H_2S$  concentrations with geostatistical approaches was found to be complex due to uncertainties associated with the nature of the technique and errors in sampling and testing (Gillies, *et al.*, 1999). Use of geostatistical analysis has been very beneficial in terms of improving understanding of models of “indicated”  $H_2S$  seam concentration levels from the given data. Kriging was determined to be the most appropriate approach in the modelling of the  $H_2S$  data sets. This study has demonstrated that care is needed in applying a geostatistical approach to obtain a valid model (Figure 5).



Rys. 5. Wpływ różnych metod geostatystycznych na modelowanie rozkładu  $H_2S$  w pokładzie węgla  
 Fig. 5. The effect of different geostatistical methods on modelling  $H_2S$  distribution within the coal seam

*Wykrywanie i monitorowanie H<sub>2</sub>S*

Wykrywanie i monitorowanie H<sub>2</sub>S można prowadzić na wiele sposobów. W celu ochrony przed nadmiernym narażeniem na działanie H<sub>2</sub>S w obszarze przodku i rejonach przyległych zainstalowana jest aparatura do ciągłego monitorowania H<sub>2</sub>S. Działanie aparatury bazuje na zasadzie dyfuzji gazów toksycznych, i zwykle w jej skład wchodzi elektrochemiczny detektor, który przekazuje do monitora sygnał akustyczny i/lub optyczny. Takie czujniki są stosowane do ciągłego monitoringu poziomów stężenia gazowego H<sub>2</sub>S w rejonach przodków eksploatacyjnych i prądach obiegowych powietrza. Przenośne czujniki, nastawione na alarmowanie przy 10 ppm i zapisywanie poziomów TWA i STEL\*, są noszone przez dozór kopalniany a były (też – *przyp. tłum.*) przekazane kombajnistom (*dost. operatorom – przyp. tłum.*) w czasie przejścia frontu eksploatacyjnego przez strefy H<sub>2</sub>S.

Obydwie kopalnie z tego badawczego przedsięwzięcia, Oaky Creek Colliery i German Creek Southern Colliery, posiadały dołowe instalacje telemetryczne przystosowane do zapisu wielkości poziomów koncentracji H<sub>2</sub>S w powietrzu ścian /"longwall panels"/ oraz w prądach obiegowych powietrza zużytego /powrotnych/. Obie kopalnie również rejestrowały parametry przepływu powietrza czujnikami ciśnienia głównego wentylatora. Stosowano regularne monitorowanie w celu wykrycia obszarów i operacji, gdzie istnieje prawdopodobieństwo przekroczenia wielkości granicznych /progowych/. Osobista aparatura monitorująca z odczytem i rejestracją danych zajmowała również ważne miejsce w analizie w czasie prowadzenia eksploatacji górniczej poprzez strefy H<sub>2</sub>S.

## BEZPIECZNA PRODUKCJA W STREFACH ZAGROŻONYCH PRZEZ H<sub>2</sub>S

### *Sprzęt ochrony osobistej*

Filtry stanowią skuteczny i opłacalny doraźny bezpieczny sposób ochrony górników pracujących w potencjalnie trującym środowisku. W warunkach laboratoryjnych symulujących atmosferę podziemną domieszkowaną gazem H<sub>2</sub>S przeprowadzono szereg badań w celu określenia bezpiecznych progów eksploatacyjnych dla niektórych dostępnych filtrów. Podjęto wstępną serię testów w celu sprawdzenia sprawności filtrów z wkładem. Wkłady przebadano przy koncentracji 148 ppm H<sub>2</sub>S w przeciągu 12,7 godzin i stwierdzono utrzymanie 100% sprawności przez cały ten czas. Wykazano, że wkłady znacznie przekraczają ich żywotność założoną przez producenta.

*Detection and Monitoring of H<sub>2</sub>S*

H<sub>2</sub>S detection and monitoring can be achieved in a number of ways. To protect against overexposure to H<sub>2</sub>S continuous monitoring instruments are installed on face and in outbye areas. These instruments are based on the diffusion characteristics of toxic gases and usually incorporate an electrochemical detector that delivers an audible and/or visual display signal. These sensors are used to continuously monitor H<sub>2</sub>S gas concentration levels in face areas and outbye ventilation circuits. Portable sensors, set to alarm at 10ppm and to record TWA and STEL levels, are carried by mine officials and were provided to operators when mining in H<sub>2</sub>S zones.

Both case study mines in the project, Oaky Creek and German Creek Southern collieries had permanent mine telemetry systems that were adapted to record H<sub>2</sub>S concentration levels in the airflow within longwall panels and along mine returns. Both mines also recorded mine airflow with main fan pressure sensing gauges. Regular monitoring was used to identify areas and operations likely to exceed threshold limits. Direct reading/recording personal monitor instruments also had an important place in the study and in the mining operations through H<sub>2</sub>S zones.

## SAFE PRODUCTION THROUGH H<sub>2</sub>S AFFECTED ZONES

### *Personal Protective Equipment*

Filters represent a cost-effective and short-term safe way for miners to work in a potentially lethal environment. A series of laboratory tests were undertaken under conditions simulating mine H<sub>2</sub>S laden atmospheres to establish safe operating limits for some filter types available. An initial set of tests was undertaken to determine the efficiency of cartridge type filters. The cartridges were tested at H<sub>2</sub>S concentration of 148 ppm for duration of 12.7 hours and found to maintain 100 percent efficiency throughout. It was demonstrated that cartridges far exceeded their manufacturer's life.

\*Odnosne normy australijskie – *przyp. tłum.*

Przeprowadzono drugą serię badań sprawdzających typ filtrów Racal Health and Safety EP3 *Imarki Racal Zdrowie i Bezpieczeństwo typ EP3 – przyp. tłum.* stosowanych na turbojednostce z napędem Racal przymocowanej do hełmu ze strumieniem powietrznym. Wykorzystano atmosferę o 100% wilgotności i stężeniu  $H_2S$  równemu 50 ppm. Ustalenia z tych badań były takie, że filtr kombinowanego typu Racal EP3 mógłby być stosowany równolegle z innymi filtrami na turbojednostce Racal'a w przeciągu ostrożnie *dosł. zachowawczo – przyp. tłum.* oszacowanego całkowitego czasu dziewięciu 8-godzinnych zmian roboczych. Zaleca się, aby były one dostępne jako wyposażenie standardowe dla wszystkich zakładów ścianowych gdzie występuje  $H_2S$  jako zagrożenie.

Stosowane w obu kopalniach osobiste wyposażenie ochronne obejmowało pełnotwarzowe maski zaopatrzone w filtr cząstek Klasy P3 i filtr gazowy Klasy B2E2 zapewniający najwyższy stopień ochrony dla aparatu tego typu. Pełnotwarzowa maska zaopatrzona w to zabezpieczenie jest przewidziana na użycie ze 100-krotnym poziomem TLV, czy 5000 ppm, jednak zawsze na tę wartość niższą.

#### Wentylacja

System kopalnianej wentylacji może zostać zmodyfikowany tak, aby była możliwa bezpieczna praca w strefach skażonych przez  $H_2S$ . Przeprowadzono próby z rozwiązaniami zapewniającymi maksimum bezpieczeństwa pracy w wyrobiskach ścianowych czy przygotowawczych. Wymagało to zwiększenia wentylacji przodku, zastosowanie homotropowej *ljednokierunkowej* wentylacji taśmociągu w polu ściany, bądź takiej wentylacji zarówno taśmociągu przyścianowego jak i taśmociągów głównej odstawy, pełnej homotropowej wentylacji pola wybierania, uzyskania z dopuszczonych maksymalnych poziomów stężenia  $H_2S$  i użycia sposobów zdalnej eksploatacji górniczej. Opracowano modele całych kopalń z symulacją sieci wentylacyjnej ze zmianami w zawartości  $H_2S$ , zbadano wydajność wentylatora i opracowano wariantowe kosztorysy. W wariantach eksploatacji ze zdalnym sterowaniem lub częściowo zdalnym, innym kluczowym aspektem było rozmieszczenie pracowników. Rysunek 6 przedstawia w pełni homotropowy system wentylacyjny, który może być zastosowany do maksymalizacji napływu powietrza do przodku ścianowego z jednoczesnym poprawieniem jakości powietrza.

#### Opcje urabiania

Wielkość emisji  $H_2S$  na ogół jest funkcją wielkości rozdrobnienia urobku; im drobniejszy urobek węglowy tym więcej uwolnionego  $H_2S$ . Zmniejszenie emisji  $H_2S$  podczas eksploatacji można osiągnąć przez wolniejsze urabianie węgla i przez zredukowanie ilości wytwarzanego mialu. W kopalni German Creek Southern Colliery operatorzy maszyn szybko nauczyli się, że mogą kontrolować poziom emisji  $H_2S$  na ich osobistych monitorach przez zmianę wielkości urabiania. W połączeniu ze sprzężeniem zwrotnym emisji  $H_2S$  z poprzedniej zmiany roboczej miało to wpływ na wielkości produkcji osiągniętych w strefie  $H_2S$ .

A second set of tests was carried out to test Racal Health and Safety EP3 type filters used on a Racal powered turbo unit attached to an airstream helmet. An atmosphere of 100 percent humidity and concentration of 50 ppm of  $H_2S$  were used. The findings from this experiment were that the Racal EP3 combination type filter could be used in parallel with other filters on the Racal turbo unit for a conservatively estimated total of nine 8 hour shifts. It is recommended that they be available as standard equipment to all longwall crews where  $H_2S$  is present as a hazard.

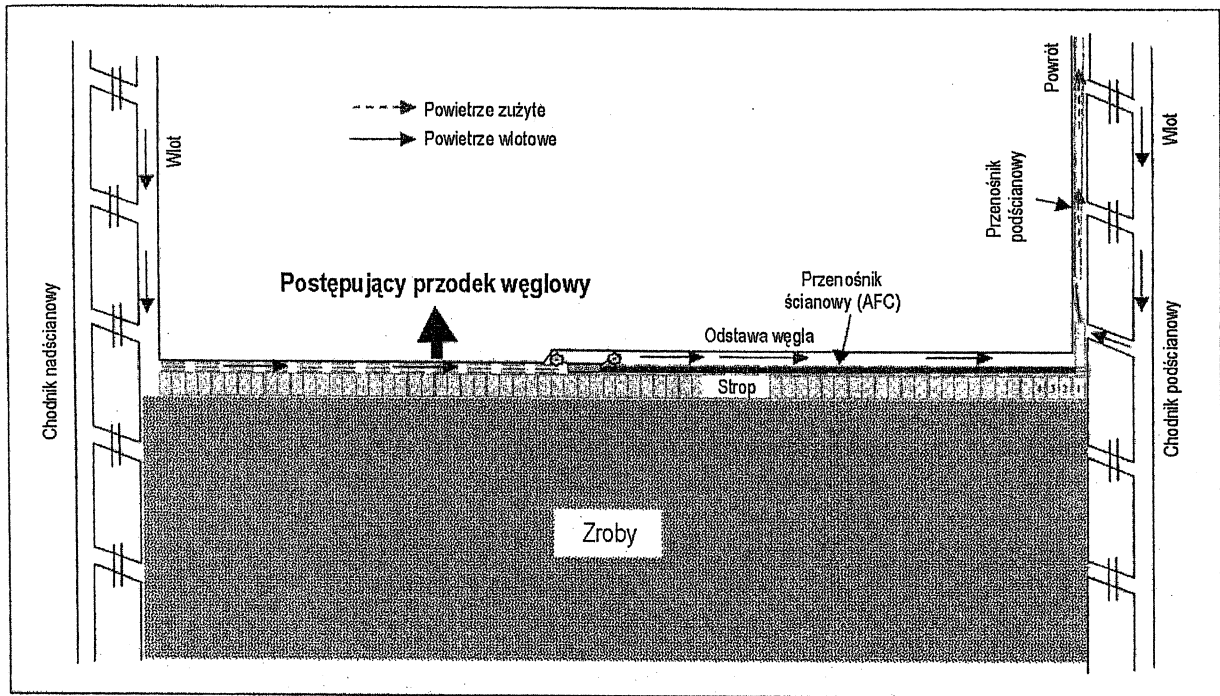
At both mines the personal protective equipment used consisted of full face masks fitted with a particle filter Class P3 and a Gas filter Class B2E2 which offers the highest level of protection for an apparatus of this type. A full-face mask fitted with this protection is rated for use in 100 times the TLV level or 5000ppm, which ever is the lowest.

#### Ventilation

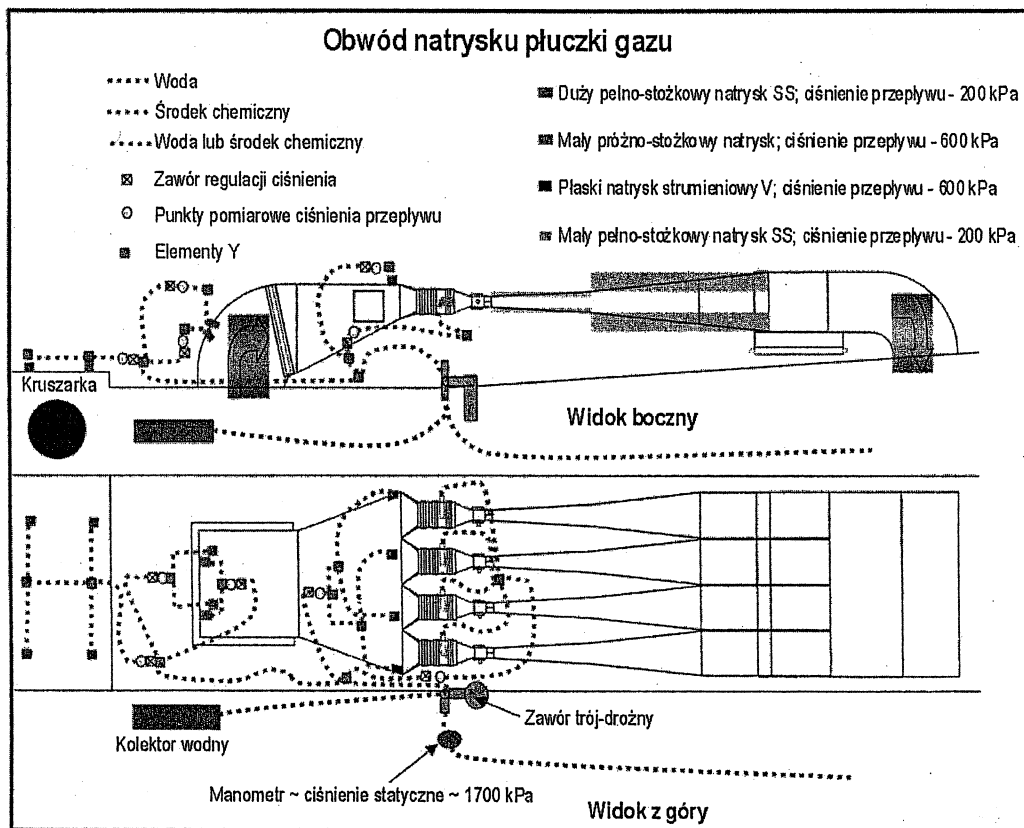
The mine ventilation system can be modified to allow safe production through  $H_2S$  affected zones. Designs for maximising safe production through affected mine panel or development headings were tested. These involved increasing face ventilation rates, use of panel belt homotropical or panel and main belts homotropical ventilation, full homotropical panel ventilation, the gaining of exemption on maximum  $H_2S$  concentration levels permitted and use of forms of remote mining. Ventilation network simulation models of whole mines with  $H_2S$  variations were developed, fan capacity examined and alternatives costed. Employee positioning was another key aspect during remote or partially remote mining sequences. Figure 6 show the full homotropical ventilation system, which can be used to maximise the quantity of airflow on the longwall face as well as improving the air quality at the same time.

#### Mining Options

Rate of  $H_2S$  emission is generally a function of mined particle size; the finer the coal cut the higher the  $H_2S$  released. A reduction in  $H_2S$  emissions during mining can be achieved by cutting coal at a slower rate and by reducing the amount of fines produced. At German Creek Southern Colliery operators quickly learned that they could control the emission level on their personal  $H_2S$  monitors by varying the cutting rate. This combined with feed back on the  $H_2S$  released on previous shift contributed to the production rates achieved in the  $H_2S$  zone.



Rys. 6. System pełnej homotropowej wentylacji dla eksploatacji ścianowej  
 Fig. 6. Full homotropical ventilation system for longwall mining



Rys. 7. Obwód natrysku płuczki H<sub>2</sub>S  
 Fig. 7. H<sub>2</sub>S scrubber spray circuit

Inną metodą mogło być zastosowanie różnych układów nożowych (*"wianuszków nożowych"* na organie urabiającym – *przyp. tłum.*), zastosowanie dyszy wodnej towarzyszącej urabianiu oraz wykorzystanie zgraniaczy (*"pługów"*) z dyszą wodną lub bez. Ponadto, szkolenie operatorów winno nastąpić wraz z wdrażaniem stosownych wytycznych w zakresie bezpieczeństwa, dostarczenie wyposażenia ochronnego i aparatów oddechowych oraz ciągłe monitorowanie  $H_2S$  przez urządzenia elektroniczne. Rozmieszczenie całej załogi przodkowej po stronie powietrza świeżego w stosunku do kombajnu podczas urabiania węgla, zwiększenie odległości kombajnisty od urabianego punktu uwolnienia  $H_2S$  oraz zmniejszenie liczby osób w przodku do absolutnego minimum to inne opcje organizacji urabiania. Zastosowanie mają tu również wymagania wykorzystywane w celu zminimalizowania narażenia personelu przodkowego na wdychanie pyłu.

#### *Neutralizowanie gazu natryskami chemicznymi*

W dodawaniu chemikaliów przez instalację wodnego zraszania przodku kopalnianego w celu zneutralizowania gazu  $H_2S$  uwolnionego przy kruszeniu węgla istnieje niebezpieczeństwo zastosowania dużej ilości chemikaliów i stworzenie agresywnego środowiska szkodliwego dla zdrowia pracowników. Korozja może spowodować wiele szkód w sprzęcie ścianowym, a w szczególności w stojakach obudowy kaskowej i aparaturze elektronicznej. W celu złagodzenia skutków korozyjności wszelkich roztworów przeprowadzono badania różnych dostępnych chemikaliów. Toksyczność chemikaliów stosowanych w procesie eksploatacji górniczej jest tu innym ważnym aspektem sprawy.

W celu zredukowania ilości gazu  $H_2S$  dopływającego do systemu wentylacyjnego przeprowadzono próby gdzie w kluczowych punktach źródłowych  $H_2S$  umieszczano natryski neutralizatorów chemicznych. Przeprowadzono próby na narożniku przenośnika ścianowego (AFC), gdzie następuje przesyp węgla na przenośnik podścianowy (BSL). Ten punkt został uznany za jedno z poważniejszych źródeł uwalnianego  $H_2S$ . Zastosowane chemikalia to węglan sodu i wodorowęglan sodu. Punkt przesypowy pomiędzy przenośnikami AFC i BSL był spryskiwany roztworami tych chemikaliów na jeden skraw i odnotowano wielkości uwolnionego  $H_2S$ . Choć próbę przeprowadzono tylko w ograniczonej skali to okazało się, że neutralizacja uwolnionego gazu  $H_2S$  natryskiem chemicznym miała skutek pozytywny. Na kruszarce wypróbowano agregat płuczki gazowej zwężkowej i roztwór buforowy z zamiarem zmniejszenia ilości pyłu i gazów wchodzących do systemu wentylacji przodku. Gdy na monitorze  $H_2S$  w przodku wystąpiło przekroczenie poziomu gazowego  $H_2S$  powyżej 10 ppm zaszacze na przenośniku podścianowym (BSL) i płuczce przestawiły się z wody na roztwór buforowy. Ten proces nasycenia zredukował 70% emisji gazowego  $H_2S$  przy BSL. Ilustracja tej instalacji jest przedstawiona na Rys. 7.

Other methods might include use of various pick lacing, use of water jet assist cutting and the use of ploughs with or without water jet assist. Furthermore, training of operators should occur with implementation of appropriate safety guidelines, provision of protective equipment and breathing apparatus and continuous monitoring of  $H_2S$  by electronic devices. Placement of all face personnel on the intake side of the shearer while cutting coal, increasing distance between the shearer operator and the shearer  $H_2S$  liberation point and reduction in the number of persons on the face to the absolute minimum are other operational options. Many of the approaches used to minimise exposure of face personnel to respirable dust have application here.

#### *Spray Chemical Neutralisation of the Gas*

The approach of adding chemicals through the mine face water spray system to neutralise  $H_2S$  gas released from breaking coal can use large quantities of chemicals and produce a corrosive environment hazardous to employees health. Corrosion can cause a great deal of damage to the longwall panel machinery and equipment and in particular to chock legs and electronic instrumentation. An examination was made of different available chemicals to reduce the corrosive effects of any solutions. The toxicity of chemicals used within the mining process is another important aspect here.

To reduce the level of  $H_2S$  gas entering the ventilation system, trials were performed where chemical spray neutralisers were placed at key  $H_2S$  source points. Tests were performed at the corner of AFC where coal was being transferred to the BSL conveyor. This point was believed to be one of the major sources of  $H_2S$  liberation. The chemicals used were Sodium Carbonate and Sodium Bicarbonate. The transfer point between AFC and BSL was sprayed with these chemical solutions for one shear and the  $H_2S$  liberation levels were recorded. Although there was only limited testing, the indication was that the spray chemical neutralisation of the atmospheric  $H_2S$  gas had a positive effect.

A venturi Scrubbing unit using buffer solution was tried on the crushing unit to reduce dust and gases entering the face ventilation. When the  $H_2S$  monitor on the face read a  $H_2S$  gas level of more than 10 ppm the sprays in BSL and scrubber switched from water to buffer solution. This saturation process eliminated up to 70 percent of the  $H_2S$  gas emissions at the BSL. An illustration of the system is shown in Figure 7.

*Chemiczna neutralizacja w pokładzie*

W kopalni Green Creek Southern Colliery podjęto program chemicznej infuzji neutralizującej w pokładzie. Podstawowym celem tego procesu było wstępne uwolnienie /dost. obnażenie – przyp. tłum./ pokładnej porcji H<sub>2</sub>S, aby umożliwić eksploatację z wydajnością jaka zawsze zapewnia bezpieczeństwo środowiska pracy z jednoczesnym utrzymaniem odpowiednich wielkości wydobywczych zabezpieczających żywotność kopalni. Obszar objęty infuzją w każdym z pól wybierania ulegał znacznym zmianom, wynikiem czego były różne podejścia w zakresie rozmieszczenia odwiertów i innych aspektów projektowych.

Zebrano obszerne dane w zakresie natężenia przepływu płynu infuzyjnego, ściągania H<sub>2</sub>S, wpływ na jakość atmosfery w przodku i harmonogram wydobywania w trakcie tych prób. Wybrany do tej operacji związek chemiczny był dwuwęglan trójsodowy, który jest zasadniczo wodorowęglanem sodowym i węglanem sodowym z dwiema molekułami wody. Wybrano ten związek z uwagi na łatwą rozpuszczalność w wodzie, przy czym węglan sodowy jest trudnorozpuszczalny.

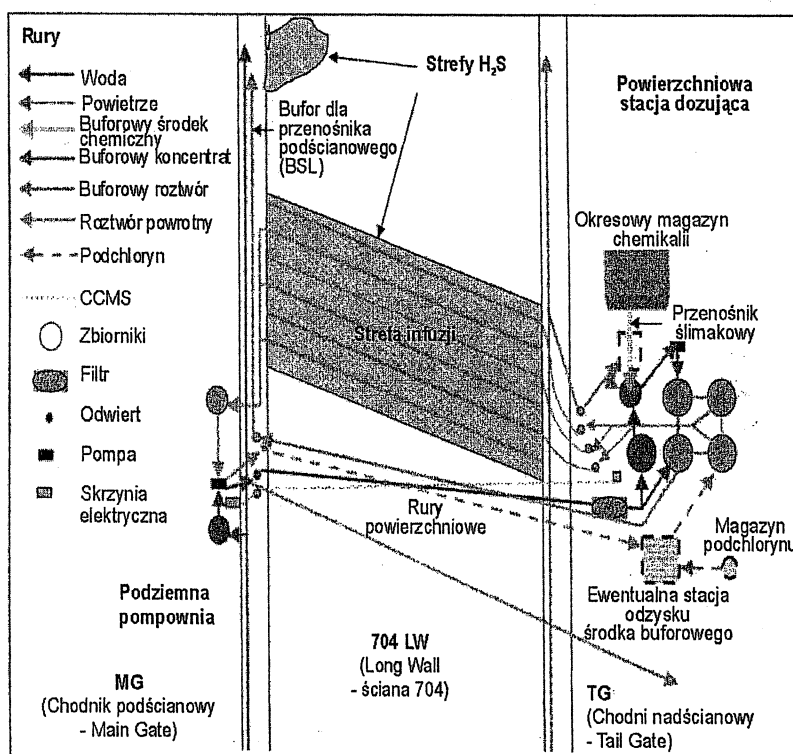
Po zidentyfikowaniu strefy H<sub>2</sub>S opracowano odpowiedni projekt operacji infuzji. W strefie wykonano poziome odwierty (np. sześć odwiertów od krawędzi do krawędzi, w odstępnie 40 m), uzyskano potrzebne chemikalia, zainstalowano urządzenia powierzchniowe (mieszalnia, zbiorniki, odwierty) i podziemne (kolektor, pompa, zbiornik, uszczelniacze) oraz wyposażenie systemu monitorowania (manometry, podziemne i powierzchniowe przepływomierze), jak pokazano na Rys. 8.

*In Seam Chemical Neutralisation*

A major program of in-seam chemical neutralisation infusion trials was undertaken at German Creek Southern Colliery. The basic aim of the chemical infusion process was to pre-strip a significant proportion of H<sub>2</sub>S to allow coal mining at a production rate that ensures a safe working environment at all times while ensuring that adequate production levels are maintained to safeguard the mine lifespan. The area to be infused in each of these panels varied significantly resulting in different approaches to spacing of boreholes and other design aspects.

Extensive data was collected on infusion fluid flow rate, H<sub>2</sub>S pick up, effect on face atmospheric quality and the mining schedule during these trials. The chemical buffer chosen for this operation was sodium sesquicarbonate, which is essentially sodium bicarbonate and sodium carbonate with two water molecules. This form was chosen because it is readily soluble in water whereas sodium carbonate is difficult to dissolve.

After the zone of H<sub>2</sub>S was identified, the appropriate infusion design was determined. Horizontal boreholes were drilled into the zone (as an example six bore holes rib to rib, 40 m apart), required chemicals obtained, surface (mixing plant, storage tanks and boreholes) and underground facilities (manifold, pump, tank, packers) established and monitoring equipment (pressure gauges, underground and surface flowmeters) set up as shown in Figure 8.



Rys. 8. Infrastruktura systemu infuzji ścianowej  
 Fig. 8. Longwall infusion infrastructure



Proces infuzji przeprowadzono w sposób następujący:

- Na powierzchni przygotowano płyn infuzyjny przez zmieszanie półtorawęgla z wodą.
- Mieszanina spłynęła do podziemnego kolektora, do rozproszania pod ciśnieniem statycznym na odwierty o nieparzystym numerze.
- Pod ciśnieniem płyn zapełnił odwierty.
- Ponieważ każde zakończenie odwiertu zostało zablokowane wysokociśnieniowym uszczelnieniem wymuszony został przepływ płynu przez węgiel w pokładzie (szczeliny, szkielet skalny i pory).
- Płyn przenikał do odwiertów o numerach parzystych. W miarę jak płyn przesączał się przez pokład  $H_2S$  przechodził z pokładu do roztworu.
- Płyn „obciążony” gazem  $H_2S$  przepływał od odwiertów parzystych do podziemnego zbiornika, do przepompowania na powierzchnię.
- Na powierzchni nastąpiła neutralizacja i siarczki obecne w płynie szybko uległy rozbićciu.

Proces chemicznej infuzji znacznie zredukował emisję  $H_2S$  w obrębie pola wybierania, zmniejszył zagrożenie dla ludzi i poprawił wydajność ścianowego systemu eksploatacji od pola. Proces infuzji został przeanalizowany w aspekcie jego możliwości redukcji emisji  $H_2S$  przy utrzymaniu wymaganych wielkości wydobywania w systemie ścianowym.

#### Utlnianie mikrobiologiczne $H_2S$

Przeprowadzono analizę zmierzającą do uzyskania wstępnego dowodu na utlenianie mikrobiologiczne  $H_2S$  i jego usuwanie z węgla. Ważniejsze sprawy podjęte w badaniach to odporność organizmu na toksyczne ilości /"poziomy toksyczności"/  $H_2S$ , zdolność organizmów do wydalania  $H_2S$  z pustek w węglu oraz do wytrzymania wzrostu i metabolicznego oddziaływania na otoczenie węgla w pokładzie. Analiza wykazała, że możliwy jest wzrost kultur *T. denitrificans* na siarczku jako jedynym źródle energii, lecz bakterie wzrastały wolniej na siarczku niż na mniej toksycznym tiosiarczku.

Kultura *T. denitrificans*  $H_2S$  znosiła /dost. tolerowała – przyp. tłum./ stężenia siarczku aż do 1500  $\mu m$ . (48 ppm  $S^{2+}$ ), lecz mogła być „przepuszczona” jedynie pięciokrotnie przy 800  $\mu m$ . (26 ppm  $S^{2+}$ ) zanim utraciła swoją żywotność. Obecność tiosiarczku umożliwiła kilka „przeżyć” więcej aż do momentu nim kultura również zmartwiała. W dysponowanym czasie nie było możliwe uzyskanie stabilnego, tolerującego siarczek mutantu kultury *T. denitrificans*.

Uzyskano wstępne stwierdzenia wskazujące na to, że kultura *T. denitrificans* jest zdolna do wykorzystania  $H_2S$  z rdzenia węglowego. Jednakże poziom zawartości  $H_2S$  osiągnął wielkość tylko 0,69 ppm w otaczającym roztworze, z uwagi na niskie poziomy zawartości w wykorzystanym rdzeniu węglowym. Zawartość  $H_2S$  w roztworze została usunięta w ciągu dwóch dni. Wykazano, że z próbki węgla o małej porowatości i z wysokimi poziomami zawartości  $H_2S$  usunięcie  $H_2S$  mogłoby być ograniczone przez zdolność  $H_2S$  do „uwolnienia do roztworu” /"released into solution"/. Jest prawdo-

The infusion process was carried out as follows:

- Infusion fluid was prepared on the surface by mixing of Sesquicarbonate and water.
- The mixture flowed to the underground manifold to be distributed into the odd number boreholes under static head pressure.
- The fluid filled the boreholes under pressure.
- As each borehole end was blocked by a high-pressure packer the fluid was forced to flow through the coal seam (cleats, matrix and pores).
- The fluid migrated towards the even number boreholes. As the fluid flowed through the seam  $H_2S$  from the coal passed into solution.
- The  $H_2S$  laden fluid flowed from the even boreholes into an underground tank for pumping to the surface.
- On the surface neutralisation occurred and sulphides present in the fluid broke down quickly.

The chemical infusion process significantly reduced the  $H_2S$  emissions within the panel, decreased risks to employees and improved the productivity of the longwall retreat operation. The infusion process was analysed for ability to reduce  $H_2S$  gas emissions whilst maintaining the required longwall production rates.

#### Microbiological Oxidation of $H_2S$

A study was undertaken to obtain preliminary evidence for microbiological oxidation of  $H_2S$  and its removal from coal. The major matters for investigation were the resistances of the organism to toxic levels of  $H_2S$ , the ability of the organism to remove  $H_2S$  from voids in the coal, and to sustain growth and metabolic activity in the coal environment. The study found that it was possible to grow the cultures of *T. denitrificans* on sulphide as the sole source of energy but the bacteria grew more slowly on sulphide than on the less toxic thiosulphate.

The culture of *T. denitrificans* tolerated sulphide concentrations up to 1500  $\mu m$  (48 ppm  $S^{2+}$ ) but could only be passaged up to five times at 800  $\mu m$  (26 ppm  $S^{2+}$ ) before losing viability. The presence of thiosulphate allowed a few more passages before also dying out. It was not possible to obtain a stable sulphide-tolerant mutant of *T. denitrificans* during the time available.

Preliminary evidence has been obtained to show that *T. denitrificans* is able to utilise  $H_2S$  evolved from a coal core. However, the level of  $H_2S$  only reached 0.69 ppm in the surrounding solution due to the low levels in the coal core used. This level of  $H_2S$  was removed from solution in two days. It was demonstrated that in a coal sample of low porosity with high levels of  $H_2S$ , the removal of the  $H_2S$  might be limited by the ability of the  $H_2S$  to be released into solution. It is likely that pressure would be required to assist with the solubilisation of the  $H_2S$  in the surrounding water medium. There is sufficient evidence to suggest that the microbiological removal of  $H_2S$  from coal could be achieved with *T. denitrificans* provided the  $H_2S$  can be extracted from the coal and provided the  $H_2S$  concentration does not exceed toxic levels that can be handled by the microbiological agent.

podobne, że może być konieczne wywarcie ciśnienia do wspomżenia przejścia  $H_2S$  w roztwór w otaczającym medium wodnym. Są dostateczne dane pozwalające przyjąć, że mikrobiologiczne usunięcie  $H_2S$  z węgla mogłoby być osiągnięte z wykorzystaniem kultury *T.denitrificans* pod warunkiem, że  $H_2S$  można wydość z węgla i pod warunkiem, że stężenie nie przekracza poziomów toksyczności, którym może poddać czynnik mikrobiologiczny.

#### Analiza przenikalności

Podjęto program analiz laboratoryjnych przenikalności, aby uzyskać dane niezbędne do przygotowania prób podejmowanych w kopalni German Creek Southern Colliery. Podjęto szeroko zakrojone próby fizyczne, wykorzystując głównie urządzenia zaprojektowane na Uniwersytecie Queensland do badania większych rdzeni o wysokiej jakości /"HQ" – High Quality?/.

Dane te były potrzebne dla opracowania systemu infuzyjnych odwiertów zdolnych do drenowania i zalewania pokładów chemikaliami w celu przetworzenia  $H_2S$  na substancję obojętną /"inertną"/ przed uwolnieniem do atmosfery. Próby przenikalności podjęto również na rdzeniu z kopalni Oaky Creek Colliery w celu wyjaśnienia widocznych, znacznych różnic w charakterystykach desorpcji węgla pomiędzy dwiema kopalniami leżącymi w przyległych obszarach zalegania. Próbką rdzeniową z kopalni German Creek Southern Colliery wykazała większą przenikalność równoległą do płaszczyzn łupliwości niż prostopadle do nich. Odmiennie było z próbką rdzenia z Oaky Creek, dla której przenikalność w kierunku prostopadłym do płaszczyzn łupliwości była rzędu 50 razy większa niż równoległa do płaszczyzn łupliwości.

Zwiększona przepuszczalność w kierunku prostopadłym do płaszczyzn łupliwości zaprzecza oczekiwanemu trendowi. Możliwym wyjaśnieniem jest obecność wad /"faults" – "uskoków"/ w próbce niewykrywalnych wizualnie na obrzeżach próbki i biegnących prostopadle do kierunku płaszczyzn łupliwości, stwarzających ścieżki relatywnie niskich oporów przepływu w porównaniu z płaszczyznami łupliwości.

#### WNIOSKI

Podjęto wszechstronną analizę trudności występujących podczas eksploatacji górniczej w wielu obszarach stanu Queensland w Australii. Do problemu przystąpiono z udziałem zespołu interdyscyplinarnego /"multi-disciplined"/. Pewne aspekty były natury fundamentalnej, z bazowaniem na badaniach laboratoryjnych, podczas gdy inne narzucały wdrożenie na miejscu w systemach wydobywczych praktycznej technologii wspierającej przedsięwzięcie /"projekt"/.

#### Permeability Study

A programme of laboratory permeability studies was undertaken to gain data necessary for the design of the infusion tests undertaken at German Creek Southern Colliery. Extensive physical testing was undertaken principally using permeability facilities developed at the University of Queensland for testing HQ sized core. This data was needed to allow development of a system of infusion boreholes with the ability to drain and flood the seam with chemicals to convert  $H_2S$  to an inert substance before release to atmosphere. Permeability tests were also undertaken on core from Oaky Creek Colliery in an attempt to understand the apparent significant differences in desorption characteristics of coals between the two mines lying on adjacent leases.

The German Creek Southern Colliery core sample exhibited greater permeability parallel to the cleats than perpendicular to the cleats. This was in contrast to the Oaky Creek core sample for which the permeability in the direction perpendicular to the cleats was of the order of 50 times greater than parallel to the cleats. The increased permeability perpendicular to the cleat direction is contrary to the expected trend. A possible explanation is the presence of faults within the sample not visually discernible from the sample ends and running perpendicular to the cleat direction providing a relatively low resistance flow path compared with the cleats.

#### CONCLUSIONS

A comprehensive study has been undertaken on a major impediment to mining in a number of areas in Queensland, Australia. It has been approached using a multi-disciplined team. Some aspects have been of a fundamental nature and laboratory based while others have involved implementation of applied engineering technology on-site at the mining operations supporting the project.

The study was the first of its kind. Prediction of future occurrences of  $H_2S$  zones can occur with greater reliability. A major benefit has been that mines facing extraction in  $H_2S$  coal seam zones have greater confidence due to the findings of studies and trials undertaken. Safety risk assessments can be undertaken from a base of objective data.

There is a greater ability to quantify the cost of not mining through or sterilising  $H_2S$  affected coal compared to the cost of proactively altering (and possibly slowing down) the mining system and incorporating aspects such as changed ventilation, chemical sprays and seam neutralisation. Respiratory filters represent a cost-effective and short-term safe way for miners to work in a potentially lethal environment.

Analiza była pierwszą w swoim rodzaju. Przewidzenie przyszłych wystąpień stref  $H_2S$  jest możliwe z większą wiarygodnością. Poważniejszą korzyścią było to, że kopalnie, które czeka podjęcie eksploatacji w strefach pokładu węgla z  $H_2S$  mają większą pewność dzięki wynikom podjętych analiz i prób. Na bazie obiektywnych danych można (*już – przyp. tłum.*) podjąć się ocen ryzyka w zakresie bezpieczeństwa pracy.

Jest też większa możliwość ilościowego ujęcia kosztu niepodjęcia eksploatacji węgla poprzez strefy  $H_2S$  lub ich sterylizacji w porównaniu z kosztem „wspomagającej” zmiany systemu eksploatacji (i możliwym spowolnieniem) oraz włączenia takich aspektów jak zmieniona wentylacja, zraszanie chemiczne i neutralizacja pokładu. Filtry oddechowe reprezentują efektywny, doraźny /*dosł. krótkoterminowy*/ środek umożliwiający pracę górników w potencjalnie „trującym” otoczeniu.

### PODZIĘKOWANIA

Analizę przeprowadzono na bazie finansowania z funduszu Australian Coal Association Research Program i kopalni Queens-Land Oaky Creek i German Creek Southern i niniejszym składa się podziękowanie za to wsparcie i wspaniałomyślną pomoc personelu firmy.

### Literatura

1. Elvers, B., Hawkings, S., Ravenscroft, M. and Schultz, G.: 1989 Encyklopedia Ullmann'a Chemii Przemysłowej, Vol. A13, str. 467-485, VCH.
2. Gillies, A.D.S. and Kizil, M.S.: 1997. "Próby pomiaru gazowego  $H_2S$  w pokładzie węgla na bębnie czyszczącym. Definicje i postępowanie." Raport złożony w BHP. Department of Mining, Minerals and Materials Engineering, The University of Queensland, Australia.
3. Gillies, A.D.S., Kizil, M.S., Wu, H.W. and Harvey, T.J.M.: 1999. "Modelowanie występowania siarkowodoru w pokładach węgla". Obrady VIII Sympozjum USA – Wentylacja Kopalni, Editor Tien J.C. 11-17 czerwca, str. 709-720. Rolla, USA.
4. Gillies, A.D.S., et al.: 2000. "Maksymalizacja produkcji węgla w obecności gazowego  $H_2S$  w pokładzie. Raport Końcowy dla ACARP. University of Queensland, Department of Mining, Mineral and Materials Engineering, Australia.
5. Harvey, T.J.M. Cory, S., Kizil, M.S. and Gillies, A.D.S.: 1998. "Eksploatacja przez strefy gazowego  $H_2S$  w pokładach podziemnych kopalni węgla". 100. Walne Zgromadzenie CIM, 3-7 maja, Montreal, Quebec, Canada.
6. Ko Ko C. and Ward B.: 1996. "Występowanie i wpływ siarkowodoru na eksploatację w kopalni Southern Colliery", German Creek, Queensland.
7. Moelle, K.H.R.: 1987. "Wybrane uwagi o występowaniu  $H_2S$  w górotworze złóż węglowych". Capcoal Internal Report
8. Phillips, R., Smith, J.W., and Byrnes, R.: 1990. Występowanie gazowego siarkowodoru w kopalni Southern Colliery", Bowen Basin Symposium, str. 91-97, Australia.
9. Ryan, M., Harvey, T.J.M., Bride, J. And Kizil, M.S.: 1998. "Raport o doświadczeniu kopalni Southern Colliery z siarkowodorem". Obrady 1. Australazjatyckiej Konferencji Eksploatatorów Węgla. COAL98, 18-20 luty 1998, str. 392-402, Wollongong, NSW, Australia.
10. Shell Safety Committee, 1996. Siarkowódor, Shell International Petroleum, Netherlands
11. Smith, J.W. and Phillips, R.: 1990. "Analiza izotopowa siarkowodoru towarzyszącego złożom węgla". W geochemii siarki i paliw kopalnych, Orr, W.L. and White, C.M. (eds). American Chemical Society Symposium Series No. 429, Ch. 28, str. 568-574.
12. Strang, J., and Mackenzie-Wood, P.: 1990. Podręcznik Ratownictwa Górniczego, Bezpieczeństwo i Wykrywanie Gazów.
13. CSM Press Wollongong.

Recenzent: doc. dr hab. inż. Stanisław Wasilewski

### ACKNOWLEDGEMENT

The study was undertaken with funding from the Australian Coal Association Research Program and the Queensland Oaky Creek and German Creek Southern collieries and this support and the generous assistance of company personnel is acknowledged.

### References

1. Elvers, B., Hawkings, S., Ravenscroft, M. and Schultz, G.: 1989. Ullmann's Encyclopaedia of Industrial Chemistry, Vol. A13, pp. 467-485. VCH.
2. Gillies, A.D.S. and Kizil, M.S.: 1997. "Drum Tumbler Testing for  $H_2S$  Coal Seam Gas Measurement, Definitions and Procedures," Report Submitted to BHP. Department of Mining, Minerals and Materials Engineering, The University of Queensland, Australia.
3. Gillies, A.D.S., Kizil, M.S., Wu, H.W. and Harvey, T.J.M.: 1999. "Modelling the Occurrence of Hydrogen Sulphide in Coal Seams," Proceedings of the 8<sup>th</sup> U.S. Mine Ventilation Symposium, Editor Tien, J.C. 11-17 June, pp 709-720. Rolla, USA.
4. Gillies, A.D.S., et al.: 2000. "Maximising Coal Production in the Presence of  $H_2S$  Seam Gas," Final Report to ACARP. University of Queensland, Department of Mining, Mineral and Material Engineering, Australia.
5. Harvey, T.J.M., Cory, S., Kizil, M.S. and Gillies, A.D.S.: 1998. "Mining Through  $H_2S$  Seam Gas Zones in Underground Coal Mines," 100<sup>th</sup> Annual General Meeting of CIM, 3-7 May, Montreal, Quebec, Canada
6. Ko Ko, C. and Ward, B.: 1996. "The Occurrence and Impact of Hydrogen Sulphide on Longwall Mining at Southern Colliery," German Creek, Queensland.
7. Moelle, K.H.R.: 1987. "Some Notes on the Occurrence of  $H_2S$  in Coal Measure Strata," Capcoal Internal Report.
8. Phillips, R., Smith, J.W. and Byrnes, R.: 1990. "Hydrogen Sulphide Gas Occurrence at Southern Colliery," Bowen Basin Symposium, pp 91-97. Australia.
9. Ryan, M., Harvey, T.J.M., Bride, J. and Kizil, M.S.: 1998. "Report on Hydrogen Sulphide Experience at Southern Colliery," Proceedings of 1st Australasian Coal Operators Conference COAL98, 18-20 Feb 1998, pp 392-402. Wollongong, NSW, Australia.
10. Shell Safety Committee, 1996. Hydrogen Sulphide, Shell International Petroleum, Netherlands.
11. Smith, J.W. and Phillips, R.: 1990. "Isotopic Study of Coal Associated Hydrogen Sulphide," In Geochemistry of Sulfur in Fossil Fuels, Orr W.L. and White C.M. (eds). American Chemical Society Symposium Series No. 429, Ch. 28, pp. 568-574.
12. Strang, J. and Mackenzie-Wood, P.: 1990. Manual on Mines Rescue, Safety and Gas Detection. CSM Press, Wollongong.

Recenzent: doc. dr hab. inż. Stanisław Wasilewski

Oryginalny zapis ilustracji można znaleźć w materiałach Międzynarodowego Kongresu Górniczego, Kraków 2002.