

Zbigniew Piotrowski\*, Krzysztof Łukowicz\*\*

## STOSOWANIA POPIOŁÓW LOTNYCH DLA CELÓW PROFILAKTYKI POŻAROWEJ I METANOWEJ NA PRZYKŁADZIE KWK „BRZESZCZE”

---

### 1. Wstęp

Złoże węgla eksploatowanego przez KWK „Brzeszcze” należy do typu tzw. złóż zamkniętych, charakteryzujących się dużą zawartością metanu pochodzenia naturalnego. Wszystkie pokłady zaliczone są do IV kategorii zagrożenia metanowego, a ich metanonośność zawiera się w przedziale od 4,5 do 26,6 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/Mg<sub>csw</sub>. Tak wysoka metanonośność oraz występowanie znacznej liczby cienkich pokładów pozabilansowych w strefach odprężen powoduje, że metanowość bezwzględna kopalni jest bardzo wysoka, a kopalnia należy do najsilniej metanowych w Europie. Na poziom metanowości bezwzględnej nieco mniejszy wpływ ma wielkość wydobycia niż warunki geologiczne i gazowe, w jakich jest ono prowadzone.

Różnicowanie zagrożenia metanowego w warunkach kopalni „Brzeszcze” ma znaczenie względne — zagrożenie to występuje w całej kopalni w natężeniu nieporównywalnym z innymi zakładami górniczymi i wymaga stosowania specjalnych środków profilaktyki.

W latach rozpatrywanych, to znaczy 1986–2005 wyróżnić można dwa okresy:

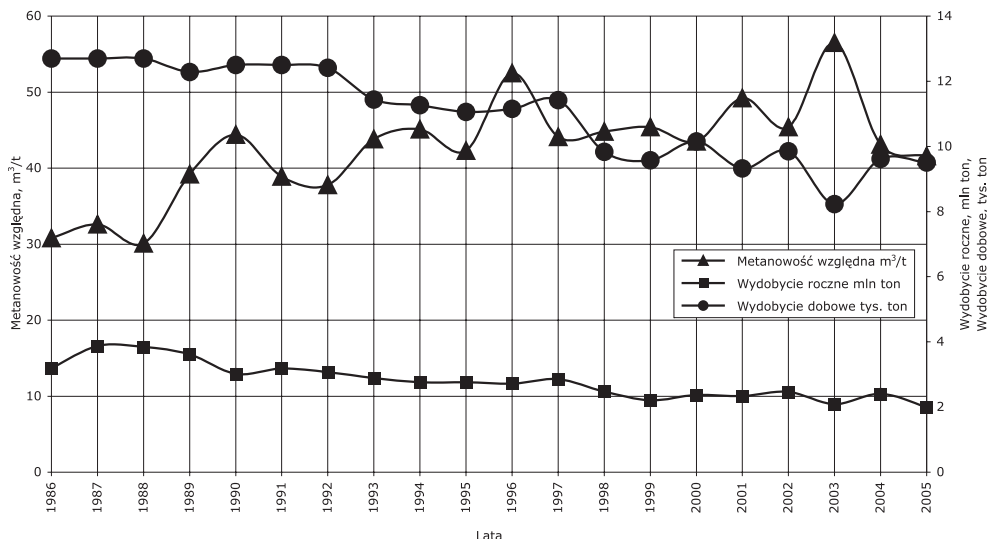
- 1) Związany z planową gospodarką, występujący do roku 1990, z wydobyciem rocznym utrzymującym się na poziomie 3,2÷3,9 mln ton oraz dobowym na poziomie 12,5÷12,7 tys. ton.
- 2) Następujący po roku 1990, związany już z gospodarką rynkową, w którym zaznacza się systematyczny spadek wydobycia z około 3,2 mln ton rocznie (12,5 tys. ton/dobę) do około 2,4 mln ton rocznie (około 8,2÷9,5 tys. ton/dobę). Nie można jednoznacznie określić zależności pomiędzy wielkością wydobycia a wielkością metanowości bezwzględnej.

---

\* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

\*\* Kopalnia Doświadczalna „Barbara”, GIG, Katowice

Na rysunku 1 przedstawiono zmiany w czasie wielkości wydobycia oraz przebieg metanowości względnej — z porównania tych parametrów ocenić można, że przy systematycznym zmniejszaniu wydobycia podobnie systematycznie wzrasta metanowość względna, co świadczy o wzroście zagrożenia metanowego w kopalni.



Rys. 1. Przebieg metanowości względnej na tle zmian wydobycia kopalni

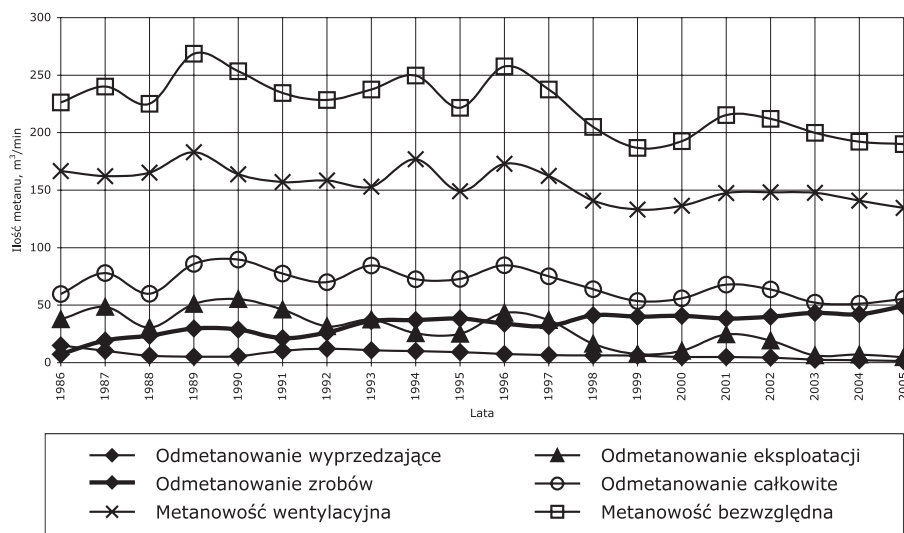
Największa metanowość bezwzględna, wynosząca średnio 268,7 m<sup>3</sup>/min, występowała w roku 1989, natomiast najwyższa średnia miesięczna, wynosząca 289,4 m<sup>3</sup>/min, wystąpiła w maju tego roku. Najwyższa średnia metanowość wentylacyjna wystąpiła w roku 1994 i wynosiła 177,0 m<sup>3</sup>/min, natomiast miesięcznie osiągnęła średnio 200,0 m<sup>3</sup>/min w lutym 1988 roku. Do roku 1990 zaznaczają się znaczne wahania metanowości wentylacyjnej, po tym czasie amplituda wahań ulega wyraźnemu zmniejszeniu. Pominąć można wielkość odmetanowania wyprzedzającego i zmiany tego parametru z uwagi na to, że jest ono prowadzone niezależnie od zmian zachodzących w przewietrzaniu kopalni i zupełnie niezależnie od zjawisk zachodzących w zrobach.

Odmetanowanie eksploatacji wzrasta do roku 1990 (z 37,64 do 55,23 m<sup>3</sup>/min), po czym systematycznie maleje, aż do 4,76 m<sup>3</sup>/min w roku 2005. Proces taki wiąże się nie tylko ze zmniejszeniem wydobycia, ale i ze zmianą warunków prowadzenia odmetanowania, a także z wyraźną zmianą charakteru gazowego górotworu. Od roku 2000 ciężar eksploatacji przeniósł się do pokładu 510, w którego otoczeniu nie występują korzystne warunki do prowadzenia odmetanowania. W odmetanowaniu zrobów zachodzą wyraźne zmiany w kierunku wzrostu wielkości ujęcia — w porównaniu do roku 1986, kiedy ujęcie ze zrobów wynosiło zaledwie 7,18 m<sup>3</sup>/min, aktualna jego wielkość wynosi 49,21 m<sup>3</sup>/min i jest najwyższa. Widoczny jest wyraźny trend wzrostu ujęcia metanu ze zrobów.

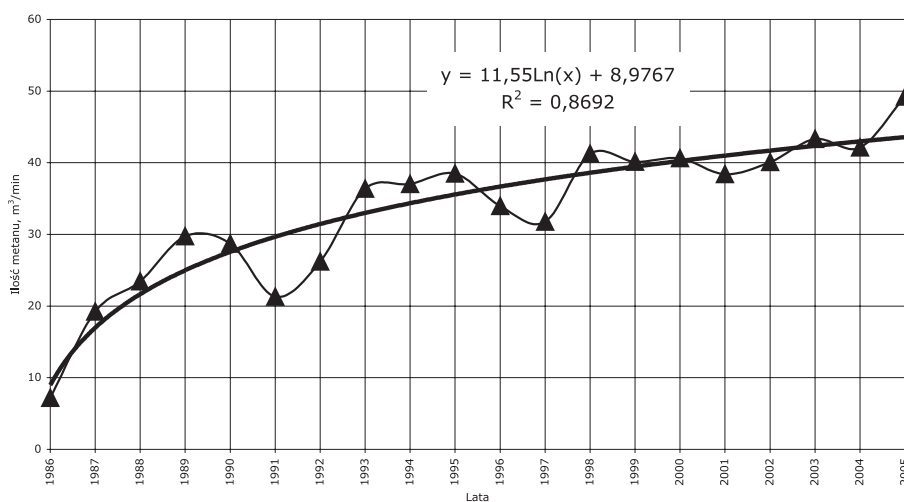
Parametry metanowe kopalni w omawianym okresie przedstawiono w tabeli 1 oraz na rysunkach 2 i 3.

TABELA 1  
Parametry metanowe

Rok	Ilość metanu					
	Odmetanowanie				Wentylacja	Bezwzględna
	Wyprzedzające	Eksploatacja	Zroby	Razem		
	m <sup>3</sup> /min	m <sup>3</sup> /min	m <sup>3</sup> /min	m <sup>3</sup> /min	m <sup>3</sup> /min	m <sup>3</sup> /min
1986	14,86	37,64	7,18	59,68	166,50	226,18
1987	10,23	48,39	19,22	77,83	162,23	240,06
1988	6,17	30,33	23,44	59,93	165,19	225,13
1989	5,15	50,94	29,72	85,81	182,93	268,73
1990	5,63	55,23	28,68	89,54	163,89	253,43
1991	10,18	46,08	21,30	77,55	156,95	234,50
1992	12,23	31,50	26,19	69,93	158,46	228,38
1993	10,85	37,33	36,38	84,56	152,96	237,52
1994	10,04	25,53	37,01	72,58	161,17	233,75
1995	9,22	24,98	38,46	72,65	149,06	221,71
1996	7,54	43,21	33,97	84,72	172,90	257,62
1997	6,49	36,92	31,78	75,19	162,35	237,54
1998	6,29	16,43	41,23	63,94	140,98	204,92
1999	6,00	7,46	40,13	53,58	133,17	186,75
2000	5,00	10,40	40,63	56,03	136,51	192,53
2001	5,00	24,46	38,42	67,88	147,39	215,27
2002	4,50	19,16	40,08	63,74	148,17	211,91
2003	2,67	6,23	43,33	52,23	147,60	199,83
2004	2,00	7,13	42,13	51,25	140,90	192,15
2005	1,40	4,76	49,21	55,37	134,65	190,02



Rys. 2. Przebieg parametrów metanowych kopalni



Rys. 3. Przebieg odmetanowania zrobów poeksploatacyjnych

## 2. Wentylacyjne warunki zwalczania zagrożenia metanowego

Na stan zagrożenia metanowego w kopalni ma wpływ powiązanie parametrów metanowych ze zdolnością wentylacyjną kopalni [8], przy czym zdolność tę rozpatrywać należy pod kątem warunku określającego dopuszczalną zawartość metanu w szybach wydechowych

na 0,75%. Kopalnia „Brzeszcze” posiada trzy szyby wdechowe, zapewniające możliwości doprowadzenia powietrza świeżego w ilości ponad 50 tys. m<sup>3</sup>/min oraz pięć szybów wydechowych, zapewniających odprowadzenie powietrza zużytego w ilości około 40 tys. m<sup>3</sup>/min. Część powietrza w ilości około 11 tys. m<sup>3</sup>/min zużytkowana jest na przewietrzanie rejonów, w których nie prowadzi się eksploatacji, pozostała ilość, to jest około 22 tys. m<sup>3</sup>/min odprowadzana jest z rejonów eksploatacyjnych, to znaczy z tych obszarów kopalni, w których występuje największe wydzielanie metanu.

W sieci wentylacyjnej następują zmiany w wielkości wydzielania się metanu, co wpływa bezpośrednio na zmianę koncentracji metanu w szybie wentylacyjnym.

Do zjawisk tych należą:

- zmiany metanonośności pokładów węgla, zarówno w pokładzie eksploatowanym, jak i w pokładach odprężanych przez eksploatację — dotyczy to przede wszystkim ścian i w znacznie mniejszym zakresie wyrobisk korytarzowych drążonych w węglu;
- zmiany postępu ścian i wyrobisk korytarzowych;
- zmiany ciśnienia atmosferycznego — dotyczy to przede wszystkim zrobów poeksploatacyjnych jak również zrobów czynnych ścian, a w bardzo niewielkim stopniu wyrobisk korytarzowych;
- zmiany wydatków powietrza i potencjału aerodynamicznego w sieci wentylacyjnej.

Zmiany metanowości bezwzględnej określić można za pomocą bezwymiarowego współczynnika nierównomierności wydzielania się metanu. O ile maksymalną wielkość tego współczynnika można przyjąć  $n = 1,45$  dla drążonych w węglu wyrobisk korytarzowych oraz  $n = 1,55 \div 1,65$  dla ścian, o tyle dla zrobów zależy on od szczelności ich izolacji i może się zawierać w przedziale od 0 do nawet 3. Im szczelniejsza izolacja zrobów, tym współczynnik ten jest mniejszy, a zatem zawartość metanu w szybie wentylacyjnym będzie mniejsza.

Do roku 1990 kopalnia „Brzeszcze” korzystała z odstępstwa od postanowień przepisów nakazujących utrzymanie dopuszczalnej zawartości metanu 0,75% w szybie Andrzej VI — odstępstwo pozwalało na osiągnięcie 1,5% CH<sub>4</sub> w tym szybie. Wiązało się to z koniecznością przeprowadzenia uszczelniania zrobów, głównie z zastosowaniem popiołów lotnych. Brak wystarczająco szczelnej izolacji zrobów był często przyczyną występowania w czasie zniżeń barycznych metanowości bezwzględnej na poziomie przekraczającym 400 m<sup>3</sup>/min oraz braku efektów w ujęciu metanu ze zrobów. Prowadzono intensywne uszczelnianie zrobów w celu ograniczenia tej metanowości oraz zwiększenia ujęcia metanu ze zrobów. Pomimo zmniejszenia się zdolności wentylacyjnej kopalni z uwagi na wydłużenie się dróg wentylacyjnych aktualnie przekroczenia dopuszczalnych zawartości metanu w szymbach nie występują.

Docelowo zrealizowany zostanie model kopalni oparty na trzech szymbach wentylacyjnych — Andrzej II (10 tys. m<sup>3</sup>/min), Andrzej III (10 tys. m<sup>3</sup>/min) oraz Andrzej IX (20 tys. m<sup>3</sup>/min). Będzie mogła być zatem osiągnięta metanowość wentylacyjna 200 m<sup>3</sup>/min, przy zapewnieniu nie przekraczania 0,75% zawartości metanu w którymkolwiek szymbie wentylacyjnym.

### **3. Techniczne warunki stosowania popiołów lotnych w kopalni „Brzeszcze”**

W latach 1986–1990 stosowanie popiołów lotnych odbywało się na bazie stanowiska powierzchniowego otwartego, zlokalizowanego na Ruchu II kopalni, w sąsiedztwie szybu wentylacyjnego Andrzej IV [3].

Układ ten był rozwiązaniem prowizorycznym, generującym określone, poważne trudności związane głównie z ochroną środowiska (duże zapylenie znacznej przestrzeni wokół składowiska, zapylenie na stanowiskach pracy). Ponadto układ ten cechował się:

- brakiem możliwości zachowania niezmiennych własności fizycznych popiołów ze względu na oddziaływanie czynników atmosferycznych,
- trudnościami w pracy układu w okresie zimowym (zamarzanie instalacji),
- znaczną awaryjnością urządzeń,

a jednocześnie

- dużą wydajnością,
- nieskomplikowaną obsługą,
- pomimo prostoty możliwością dokładnego ustalania proporcji poszczególnych składników mieszaniny.

W roku 1990 stanowisko podsadzkowe, zlokalizowane w tym samym miejscu, uległo całkowitej przebudowie. Celem przebudowy było przede wszystkim dostosowanie obiektu do norm ochrony środowiska oraz uniezależnienie się od zewnętrznych warunków atmosferycznych.

Popioły lotne dostarczane są boczną koleją w cysternach hermetycznych 30-tonowych, a rozładunek odbywa się za pomocą sprężonego powietrza o ciśnieniu 2 barów. Możliwe jest również dostarczanie popiołów lotnych za pomocą autocystern samochodowych i ich pneumatyczny rozładunek. Popioły mogą być kierowane do dwóch hermetycznych silosów o pojemności 300 ton lub bezpośrednio do układu sporządzania zawiesiny bądź równoległe do silosów i mieszalnika. Do sporządzania zawiesiny jest wykorzystywana woda z układu głównego odwadniania kopalni (wody dołowe o niewielkim zasoleniu), której zbiornik o pojemności 10 tys. m<sup>3</sup> znajduje się w sąsiedztwie obiektu. Woda może być podawana do układu pod ciśnieniem do 30 barów. Mieszanina jest sporządzana w hydraulicznym mieszalniku wirowym, który jest wykonany w postaci dwóch komór o przekroju kołowym, umieszczonych koncentrycznie. Do komory wewnętrznej podawane są pod ciśnieniem popioły lotne, natomiast do komory zewnętrznej dostarczana jest woda. W ścianie oddzielającej komory wykonane są zwymiarowane, usytuowane stycznie do powierzchni otwory, przez które woda przepływa między komorami, wytwarzając w komorze wewnętrznej wir. Mieszanie popiołów z wodą następuje w komorze wewnętrznej, natomiast proporcje mogą być dobierane dowolnie na podstawie wskazań przepływomierza wody i ciśnienia powietrza podającego popioły lotne. Gotowa mieszanina spływa ze zbiornika stalowego do zbiornika betonowego, z którego z kolei jest podawana do szybu Andrzej IV za pomocą układu pompowego.

W nowym układzie możliwe było również dodawanie odpadów popłuczkowych z osadnika Dorra. Odpady mieszane z popiołami lotnymi lokowane były wyłącznie w zrobach i zlikwidowanych wyrobiskach korytarzowych, nie były wykorzystywane do wykonywania korków izolacyjnych. Od roku 1998 operacja taka nie jest prowadzona z uwagi na zlikwidowanie zakładu przeróbki mechanicznej węgla na Ruchu II.

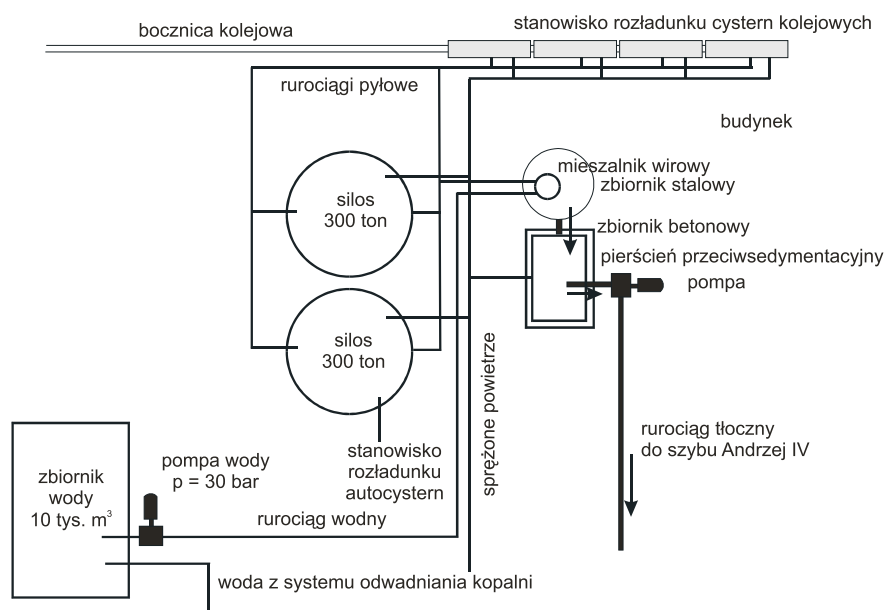
Zarówno silosy, jak i budynek mieszalnika zostały wyposażone w filtry mechaniczne pozwalające na likwidację zapylenia.

Układ podsadzkowy odznacza się:

- spełnieniem norm ochrony środowiska,
- dużą niezawodnością,
- prostotą obsługi,
- odpornością na zewnętrzne czynniki atmosferyczne,
- dokładnością ustalania proporcji składników mieszanki.

Należy jednak zaznaczyć, że wydajność urządzeń podsadzkowych w porównaniu z pierwotną (prowizoryczną) instalacją zmniejszyła się o około 40%.

Schemat stanowiska podsadzkowego przedstawiono na rysunku 4.



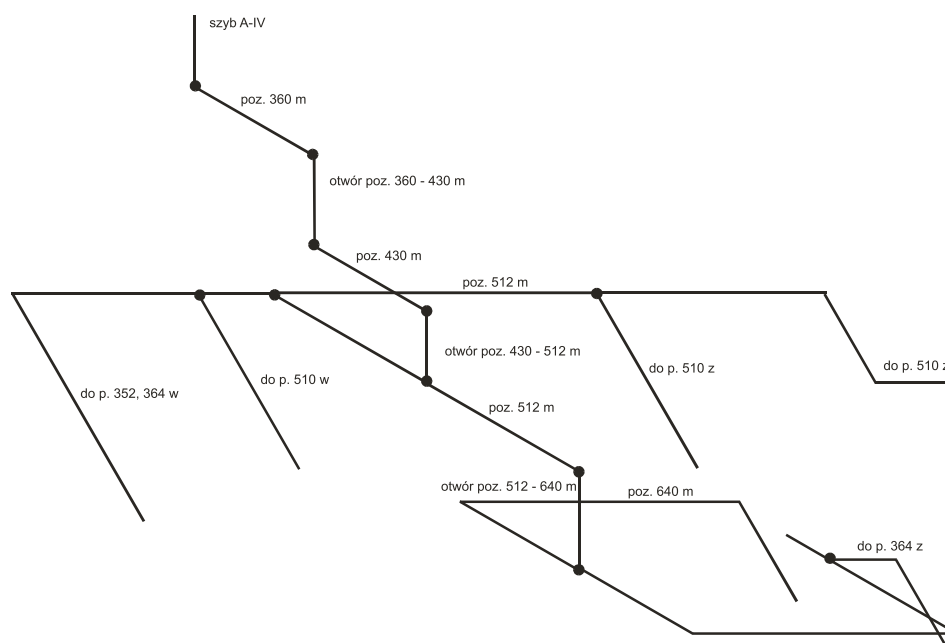
**Rys. 4.** Stanowisko podsadzkowe na powierzchni

Ze względu na znaczne wyeksploatowanie urządzeń pracujących w niezmiennym układzie od ponad 15 lat, a szczególnie ze względu na zejście z eksploatacją na głębsze poziomy i oddalenie się jej w kierunku północnym, pilnym zadaniem jest wykonanie nowego

stanowiska podsadzania popiołami lotnymi w rejonie szybów głównych. Podjęte działania wskazują, że inwestycja ta będzie wykonana do roku 2007. Istniejące stanowisko zabezpieczy ostateczną likwidację wyrobisk na Ruchu II i będzie utrzymywane w najbliższym czasie.

Na potrzeby podsadzania w wyrobiskach dołowych adaptowane lub wykonywane były odcinki rur stalowych o średnicy 150 mm. Sporadycznie końcowe odcinki rurociągów mogą być wykonywane ze średnic 100 mm.

Na powierzchni stanowisko podsadzkowe z szybem Andrzej IV łączy rurociąg o średnicy 150 mm. Rurociąg ten jest prowadzony na podporach i jest izolowany termicznie. W pewnych okresach cały rurociąg jest obracany o 1/3 obrotu w celu zabezpieczenia przed nierównomiernym ścieraniem.



**Rys. 5.** Schemat sieci rurociągów podsadzkowych

Schemat rurociągów podsadzki popiołowo-wodnej pokazano na rysunku 5.

W szybie Andrzej IV od zrębu do poziomu 360 m ułożony jest rurociąg stalowy o średnicy 200 mm. Na podszybiu poz. 360 m w rurociągu zabudowany jest manometr, który zdalnie wyłącza pompę tłoczną na powierzchni, jeśli ciśnienie przekroczy wartość 30 barów, oraz załącza, jeśli ciśnienie spadnie poniżej tej wartości. Różnica średnic wymienionych rurociągów częściowo zabezpiecza układ przed wzrostem ciśnienia powyżej tej wartości. Na poziomie 360 m jest zabudowany rurociąg, który biegnie w kierunku północnym. W sąsiedztwie szybu Andrzej III wykonany jest otwór między poziomami  $\varnothing 150$  mm do poziomu 430 m. Od tego otworu biegnie rurociąg w kierunku północnym. W przekopie głównym



wykonany jest kolejny otwór międzypoziomowy  $\varnothing 150$  mm do poz. 512 m. Na poziomie 512 m następuje rozgałęzienie rurociągów w kierunku południowym i północnym. W kierunku północnym rurociąg dochodzi do otworu międzypoziomowego  $\varnothing 150$  mm do poz. 640 m. W kierunku południowym rurociąg biegnie na wysokość pokładu 510, gdzie rozgałęzia się w kierunku wschodnim i zachodnim. W kierunku zachodnim rurociąg jest doprowadzony do pokładu 510 w partii centralnej i za I uskokiem zachodnim. W kierunku wschodnim rurociąg jest doprowadzony do pokładu 510 w partii przed I uskokiem wschodnim oraz do partii za II uskokiem wschodnim do pokładów 352 i 364.

Na poziomie 640 m spod otworu rurociąg poprowadzony jest w kierunku południowym do pokładu 510, a w kierunku północnym do przekopu zachodniego, nim dalej w kierunku południowym do pokładu 364.

Aktualnie długość sieci rurociągów wynosi 36,8 km.

#### **4. Praktyczne uwarunkowania aplikacji popiołów lotnych**

Uszczelnianie zrobów za pomocą popiołów lotnych rozpoczęto w kopalni od roku 1981. W latach 1981–1986 uszczelnianie to koncentrowało się na wykonywaniu korków izolacyjnych, bez lokowania popiołów w zrobach oraz zlikwidowanych wyrobiskach korytarzowych.

Wykonanie stanowiska podsadzkowego oraz budowa sieci rurociągów podsadzkowych pozwoliła na rozszerzenie zakresu uszczelniania zrobów oraz wykonywania korków. Opracowano w kopalni metody izolacji i podsadzania oraz wprowadzono rygory dotyczące ochrony załogi i środowiska przed negatywnymi skutkami stosowania popiołów. Rygory te są określone normą PN-G-11011 *Materiały do podsadzki zestalanej i doszczelniania zrobów* [4] oraz opracowanych przez WUG *Zasady gospodarczego wykorzystania odpadów w podziemnych wyrobiskach górniczych* [9].

Od roku 1986 w kopalni prowadzony jest dokładny rejestr podawania do wyrobisk dołowych zarówno popiołów, jak i wody użytej do tworzenia mieszanin. W rozpatrywanym okresie (do października 2005 roku) zużyto ponad 805 tys. ton popiołów, co daje łączną ilość około 1,4 mln ton. W poszczególnych latach średnio miesięcznie zużywano od 6328 do 2063 ton popiołów oraz od 2640 do 776 m<sup>3</sup> wody. W latach 1986–1990 zużycie popiołów wynosiło średnio od 6278 do 5532 ton na miesiąc, natomiast zużycie wody od 2194 do 1887 m<sup>3</sup> na miesiąc. Po roku 1990 zużycie popiołów wynosiło średnio od 4975 do 2218 ton na miesiąc, a zużycie wody od 2640 do 725 m<sup>3</sup> na miesiąc. Zauważyć przy tym należy, że w miarę wzrostu oporów w sieci rurociągów podsadzkowych, co wynika z systematycznego oddalania się miejsc stosowania od obiektów podsadzkowych, maleje stosunek masowy popiołów suchych do wody. O ile do roku 1998 stosunek ten zawierał się w przedziale od 3,11 do 2,83, to po roku 1998 spadł do wielkości  $2,10 \div 1,39$ . Oznacza to, że praktycznie kończą się możliwości sporządzania zawiesin składzie zapewniającym wiązanie popiołów z wodą bez konieczności odprowadzania wody nadmiarowej. Woda występująca w nadmiarze w mieszaninie podawanej do wyrobisk nie tylko pogarsza proces wiązania, ale może stwarzać w szczególnych przypadkach zagrożenie wodne. Komplikuje to również procesy technologiczne związane z prowadzeniem odwodnienia w kopalni.

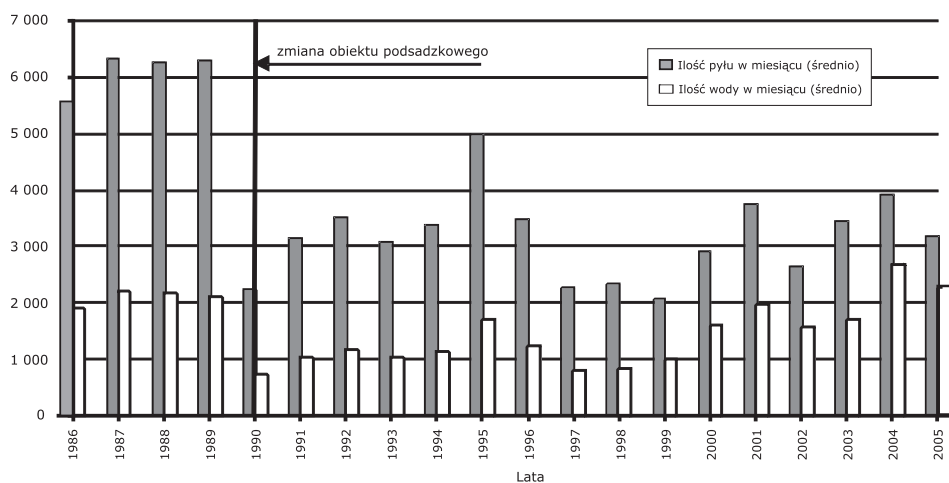
W tabeli 2 oraz na rysunkach 6, 7 i 8 podano szczegółowy bilans stosowania popiołów lotnych w kopalni. Zauważalny jest spadek ilości podawanych popiołów, począwszy od roku 1990, co związane jest z modernizacją obiektów podsadzania na powierzchni. Kolejny spadek następuje w latach 1997–1999. W tym okresie zostały w kopalni przeprowadzone działania związane z przejściem na model jednoruchowy, a w związku z tym zlikwidowane zostały niektóre połączenia pomiędzy ruchami, zlikwidowany został jeden poziom wentylacyjny oraz cała partia położona za III uskokiem wschodnim. Jednorazowe odcięcie od czynnej sieci wentylacyjnej znacznych obszarów kopalni spowodowało zmniejszenie zapotrzebowania na popioły stosowane do izolacji zrobów.

TABELA 2

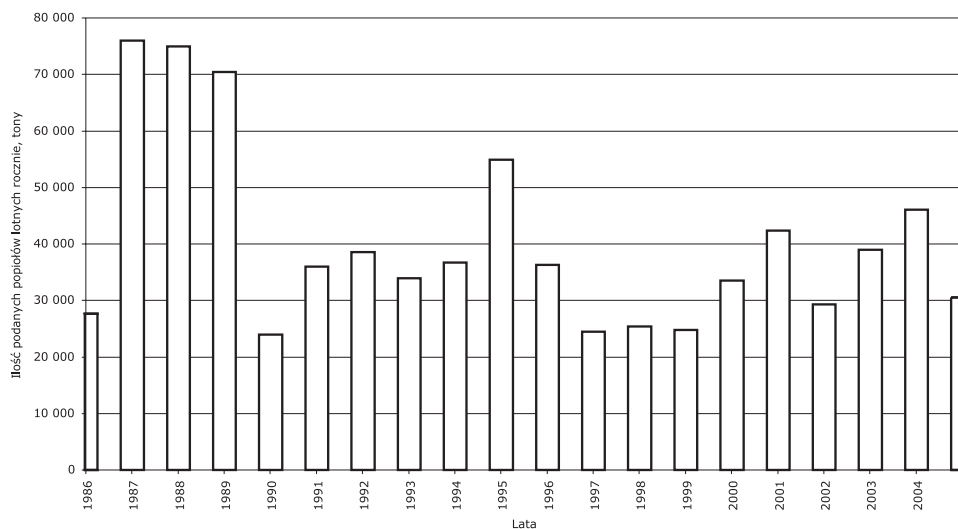
**Ilości popiołów i wody aplikowanych do wyrobisk podziemnych**

Rok	Ilość dni podsadzania w roku	Ilość popiołu w miesiącu (średnio) [Mg]	Ilość wody w miesiącu (średnio) [m <sup>3</sup> ]	Ilość popiołu w roku [Mg]	Ilość popiołu od początku podsadzania w kopalni [Mg]	Stosunek popiół : woda
1986	70	5 532	1 887	27 660	27 660	2,91
1987	211	6 328	2 194	75 940	103 600	2,89
1988	225	6 248	2 155	74 980	178 580	2,91
1989	206	6 278	2 101	70 390	248 970	3,00
1990	114	2 218	725	24 004	272 974	3,01
1991	198	3 138	1 023	35 981	308 955	3,06
1992	207	3 499	1 152	38 533	347 488	3,05
1993	212	3 058	997	33 904	381 392	3,07
1994	187	3 369	1 100	36 753	418 145	3,11
1995	230	4 975	1 687	54 870	473 015	3,03
1996	196	3 465	1 206	36 341	509 356	2,82
1997	161	2 236	776	24 449	533 805	2,89
1998	134	2 306	808	25 394	559 199	2,83
1999	146	2 063	976	24 757	583 956	2,10
2000	189	2 902	1 566	33 570	617 526	1,89
2001	199	3 739	1 966	42 392	659 918	1,88
2002	166	2 618	1 538	29 283	689 201	1,79
2003	201	3 429	1 685	38 985	728 186	1,86
2004	244	3 912	2 640	46 048	774 234	1,48
2005	189	3 160	2 268	30 494	804 728	1,39

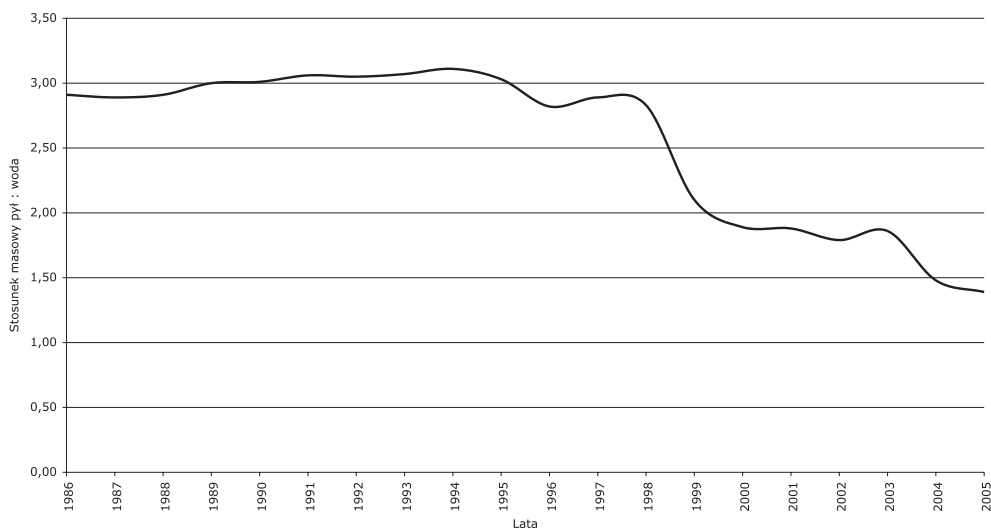
Pewien wzrost zużycia popiołów zaznacza się od roku 2000, kiedy to została uruchomiona eksploatacja pokładu 510. Popioły w tym pokładzie, oprócz izolacji zrobów, używane są w dość szerokim zakresie do celów profilaktyki pożarowej, a mianowicie podawane są do zrobów czynnych ścian w czasie ich biegu. Profilaktyka ta ma również pewien wpływ na proporcje składników zawieszin, ponieważ podając je do zrobów czynnych ścian, należy zachować większą ich płynność niż w czasie podawania do zrobów otamowanych lub do tworzenia korków.



Rys. 6. Średnie miesięczne ilości popiołów i wody aplikowane do wyrobisk kopalni



Rys. 7. Ilości popiołów lotnych podawanych do wyrobisk podziemnych



**Rys. 8.** Zmiana stosunku masowego popioły : woda

## 5. Izolacyjne właściwości korków podsadzkowych

Celem izolacji wykonywanej z zastosowaniem popiołów lotnych jest uzyskanie szczelności otamowanych przestrzeni wobec wyrobisk, w których występuje przepływ powietrza wywołany przez depresję wytwarzaną przez wentylatory główne kopalni. Jeżeli zroby zostaną szczelnie otamowane to można rozpatrywać pod kątem możliwości przepływu dwa ośrodki:

- 1) występujący w przewietrzonym wyrobisku,
- 2) tworzony przez zroby.

Między tymi ośrodkami występować będzie różnica ciśnień. Przy stosowaniu wentylacji ssącej zawsze w przewietrzonym wyrobisku panować będzie ciśnienie mniejsze niż w zrobach. W przybliżeniu wartość ciśnienia powietrza w przewietrzonym wyrobisku będzie nieznacznie większa od ciśnienia atmosferycznego. Ciśnienie to zależy od wielu czynników, jak parametry pracy wentylatora, opory wyrobisk, skład i własności powietrza i szeregu innych. Ciśnienie gazów zrobowych, które przy szczelnym otamowaniu nie będą poddane wpływowi przewietrzania, określić można na podstawie równania stanu gazu doskonałego. Wynika stąd, że zawsze ciśnienie w zrobach, w których występuje metan, będzie większe niż w przewietrzanych, sąsiadujących ze zrobami wyrobiskach. Przykładowo przy zawartości metanu w gazie zrobowym wynoszącej 60% (co jest wartością powszechnie spotykaną w IV kategorii zagrożenia metanowego) ciśnienie w zrobach będzie większe o około 13% od ciśnienia panującego w przewietrzonym wyrobisku. Oznacza to, że w skrajnym przypadku,

przy założeniu całkowitej szczelności izolacji, na korek izolacyjny od strony zrobów, oddziaływać może ciśnienie wielokrotnie przewyższające np. spiętrzenie wentylatora głównego. W praktyce jednak korek izolacyjny oraz górotwór wokół niego nie jest całkowicie szczelny i dzięki temu nie występują tak znaczne nadciśnienia w zrobach. Przykłady pochodzące ze zlikwidowanych, a zatem nieprzewietrzanych, kopalń wskazują, że przy wysokich zawartościach metanu mogą występować ciśnienia dochodzące do 5000 Pa. Są to wartości bardzo wysokie, powodujące intensywną migrację metanu ze zrobów do otoczenia, a na skutek tego generowane jest duże zagrożenie metanowe.

W czynnej kopalni nieszczelna izolacja zrobów jest przyczyną występowania zagrożenia metanowego w wyrobiskach, którego charakter można określić jako nieustalony i niemożliwy do skutecznej kontroli oraz przeciwdziałania jego skutkom. Wynika to przede wszystkim z niemożliwości przewidywania zmian w kształtowaniu się ciśnienia atmosferycznego, które jest podstawowym czynnikiem warunkującym intensywność wypływów metanu ze zrobów. Do tego mogą dochodzić niekontrolowane zmiany w sieci wentylacyjnej wpływające na wzrost lub spadek ciśnienia powietrza w wyrobisku. Taki skomplikowany układ oddziaływania na zroby wymaga bezwzględnie ich szczelnej izolacji, z zastosowaniem materiałów o wystarczająco małej przepuszczalności gazowej.

Z danych dotyczących długości korków izolujących zroby w podsieciach szybów Andrzej II i Andrzej VI (poziom 512 m) wynika, że:

- w podsieci szybu Andrzej VI, na którym spiętrzenie wentylatora głównego wynosi od 4600 do 5000 Pa:
  - średnia długość korków wynosi 20 m;
  - minimalna długość korków wynosi 3 m;
  - maksymalna długość korków wynosi 85 m;
- w podsieci szybu Andrzej II, na którym spiętrzenie wentylatora głównego wynosi od 3600 do 4200 Pa:
  - średnia długość korków wynosi 16 m;
  - minimalna długość korków wynosi 4 m;
  - maksymalna długość korków wynosi 50 m.

Wymienione długości korków były dostosowane do lokalnych warunków oraz technicznych możliwości ich wykonania. Stosunkowo niewielkie długości (3÷4 m) wynikają z tego, że były one wykonywane w miejscach, w których uprzednio wykonane były tamy izolacyjne murowe lub kłocowe, a za tymi tamami wyrobiska były z reguły wyrabowane, dlatego nie było możliwości wykonania tam oporowych w większych odległościach. Pozostałe korki starano się wykonać tak, aby długość przestrzeni podsadzanej nie była mniejsza niż 6 m, co przyjęto za ogólnie stosowane wymaganie minimalne.

W wyrobiskach nachylonych długość korków była tak określana, aby samoczynne rozlewanie się materiału podsadzkiego zapewniało zakrycie dolnej tamy i stropu wyrobiska na odległość co najmniej 6 m. Pozostała objętość przestrzeni między tamami była podsa-

dzana po zestaleniu się mieszaniny i uzyskaniu przez nią odpowiedniej wytrzymałości. Długość takich korków zawiera się w granicach 6÷15 m.

W wyrobiskach poziomych projektowane były korki o jak największej długości, tak aby można było uzyskać szczelną izolację przynajmniej na niektórych odcinkach podsadzanych. Technologia podsadzania wymagała tu wykonania jednej lub kilku wyrw w stropie wyrobiska, o możliwie jak największej wysokości, nie mniejszej jednak niż około 2 m. W korkach krótkich, których długość wynosiła do kilkunastu metrów, wykonywana była jedna wyrwa stropowa, w korkach dłuższych kilka wyrw. Do wyrw wprowadzane były dwie rury — podsadzkowa (do podawania pyłu) i odpowietrzająca. Stosowanie rur odpowietrzających w korkach poziomych jest sprawą bardzo istotną, zapobiegającą rozsądzeniu korka w momencie jego dopełniania. Tamy korków wykonywane są jako murowe, z kostki betonowej na zaprawie cementowej. Tamy muszą być posadowione we wrębach wykonanych na całym obwodzie wyrobiska, na litych skałach. Wykonywanie tam bez wrębów jest zabronione. Grubość tam oblicza się pod kątem możliwego ciśnienia hydrostatycznego.

W korkach budowanych w wyrobiskach pochyłych tama od strony upadu wykonywana jest jako cylindryczna. Tama od strony wzniosu może być wykonana jako prosta. Tamy oporowe w wyrobiskach poziomych wykonuje się jako proste.

Wszystkie tamy oporowe od strony zewnętrznej wzmacniane są poprzez opięcie ich powierzchni połowicami lub balami drewnianymi oraz podparcie zastrzałami drewnianymi. Przez korki przeprowadza się rurociągi, których średnice i liczba dobrane są do lokalnych warunków. Każdy korek powinien mieć przechodzące rurociągi służące do wykonywania pomiarów ( $\text{Ø}3/4''$ ), odmetanowania ( $\text{Ø}100\div400$  mm), podsadzania przestrzeni za korkiem ( $\text{Ø}100\div150$  mm) oraz odwadniania ( $\text{Ø}100\div150$  mm). Rurociągi te wewnątrz korka powinny być dokładnie uszczelnione, a ich nachylenie powinno zapewniać samoczynny spływ wody.

## 6. Pomiar współczynnika gazoprzepuszczalności

Przepuszczalność skał jest jednym z ważniejszych parametrów złożowych i na ogół jest wykonywany w laboratorium na próbkach pobranych z rdzeni wiertniczych [2, 7].

Wartość współczynnika przepuszczalności gazowej  $k_g$  oblicza się wg wzoru zalecanego przez normy USA pt. API — Recommended Practice RP-27 *Recommended Practice for determining permeability of porous media* [1].

$$k = \frac{2 \cdot Q_0 \cdot p_b \cdot L \cdot \eta}{A \cdot (P_1^2 - P_2^2)} \quad [\text{m}^2] \quad (1)$$

gdzie:

$Q_0$  — wydatek gazu przeliczony na warunki normalne [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],

$P_b$  — ciśnienie barometryczne [Pa],

$L$  — długość próbki rdzenia [m],

- $\eta$  — lepkość gazu [Pa s],
- $P_1$  — ciśnienie gazu przed próbką [Pa],
- $P_2$  — ciśnienie gazu za próbką [Pa],
- $A$  — przekrój poprzeczny próbki [m<sup>2</sup>].

Badania przepuszczalności przeprowadza się najczęściej za pomocą powietrza jako gazu testowego, a jego lepkość w temperaturze 0°C wynosi  $\eta = 17,08 \cdot 10^{-6}$  Pa s i w związku z tym istnieje konieczność przeliczania lepkości podanej w temperaturze 0°C na wartość lepkości w temperaturze pomiaru. Do tego celu wykorzystuje się wzór (2)

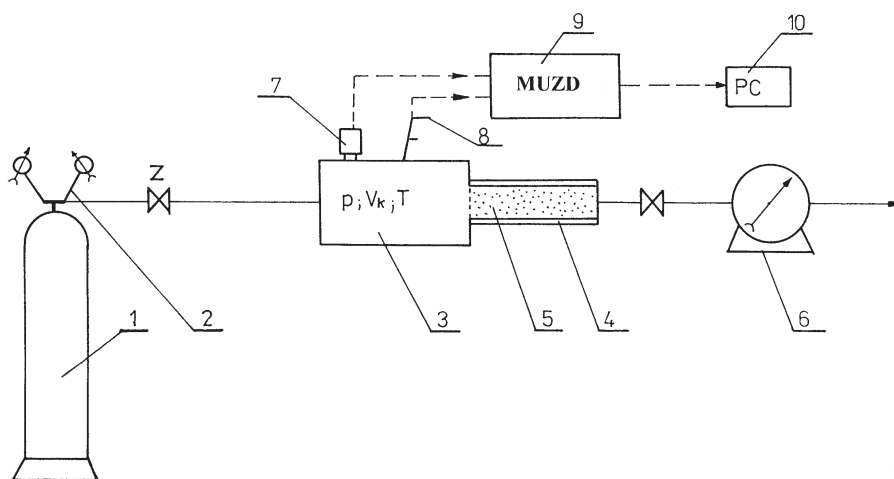
$$\eta_r = \eta_0 \frac{1 + \frac{C}{273}}{1 + \frac{C}{T}} \cdot \sqrt{\frac{T}{273}} \quad (2)$$

gdzie:

- $\eta$  — lepkość gazu w temperaturze 0°C [Pa s],
- $T$  — temperatura pomiaru [K],
- $C$  — współczynnik tzw. stała Sutherlanda [-].

Wartość współczynników  $C$  można znaleźć w normie PN-93/M-53950/01 [5] lub co jest bardziej wygodne, skorzystać z programu komputerowego dołączonego do ZN-G-4002 wydanej przez PGNiG w Warszawie [6].

Pomiar przepuszczalności przeprowadza się na stanowisku badawczym przedstawionym na rysunku 9.



**Rys. 9.** Schemat stanowiska badawczego pomiaru współczynnika gazoprzepuszczalności

Gaz testowy przepływa z butli (1) poprzez regulator ciśnienia (2) do komory pośredniej (3).

W komorze pośredniej (3) następuje pomiar ciśnienia ( $p$ ) za pomocą elektronicznego przetwornika ciśnienia (7) oraz temperatury ( $T$ ) za pomocą elektronicznego przetwornika temperatury (8). Sygnały pomiarowe o wielkościach 4÷20 mA są przesyłane do tzw. loggera (9), gdzie są rejestrowane.

Pomiar ciśnienia dokonywany jest z dokładnością 0,01 bara a temperatury z dokładnością 0,1°C.

W zainstalowanym loggerze typu DDL-12S można zarejestrować 4000 pomiarów obejmujących zapis daty, godziny, minuty, sekundy oraz dwóch wartości ciśnienia i dwóch wartości temperatury. Po zakończeniu pomiaru cały plik danych pomiarowych jest przesyłany do PC gdzie jest rejestrowany w formie pliku Exela co umożliwia dalszą obróbkę i analizę.

Gaz testowy z komory pośredniej (3) przepływa przez badany rdzeń (5), który jest umieszczony w obudowie (4) za pomocą odpowiedniego kleju. Jako kleju używa się najczęściej różnego rodzaju tworzyw polimerowych — np. może to być guma silikonowa, silikon, parafina itp.

Gaz po przejściu przez badany rdzeń wpływa do gazomierza gdzie następuje pomiar jego ilości w czasie tzw. wydatku. Do pomiaru wydatku gazu najczęściej używa się laboratoryjnych gazomierzy wodnych lub suchych.

Opisane stanowisko badawcze i metoda zostały wykorzystane do badania przepuszczalności stwardniałych zawiesin popiołowo-wodnych. Miejsce rdzenia (5) zajmowały próbki zawiesin. Zawiesiny sporządzane w laboratorium wlewano do obudów (4) i sezonoowano je tam przez 28 dób. Następnie uszczelniano silikonem i poddawano badaniu. Próbki zawiesin pobranych w kopalni najpierw szlifowano ręcznie dostosowując ich wymiar do wymiaru obudowy (4), po czym umieszczano je w obudowie i uszczelniano silikonem, lub parafiną. Niestety tylko co trzecia próbka nie została zniszczona podczas tych zabiegów, co można było łatwo stwierdzić na krańcowo różnych wynikach.

Wyniki badania zawiesin z popiołów EC „Bielsko-Biała” zestawiono w tabeli 3. Dla porównania i łatwiejszej oceny wykonano również badania przepuszczalności gipsu i zamieszczono zmierzone na tym stanowisku wyniki badań dwóch różnych piaskowców. Zawiesina popiołowo-wodna po stwardnięciu charakteryzuje się przepuszczalnością podobną do piaskowców, a nieco większą od mało przepuszczalnego gipsu. Próbki z kopalni charakteryzują się podobnymi własnościami do sporządzonych w laboratorium. Jedną z próbek laboratoryjnych o znacznie większej przepuszczalności była próbka o małym udziale popiołu lotnego.

Wykonane badania pozwalają na dokonywanie wstępnej oceny przydatności zawiesin odpadowo-wodnych jako materiałów stosowanych w kopalni podziemnej do izolacji i uszczelnień.



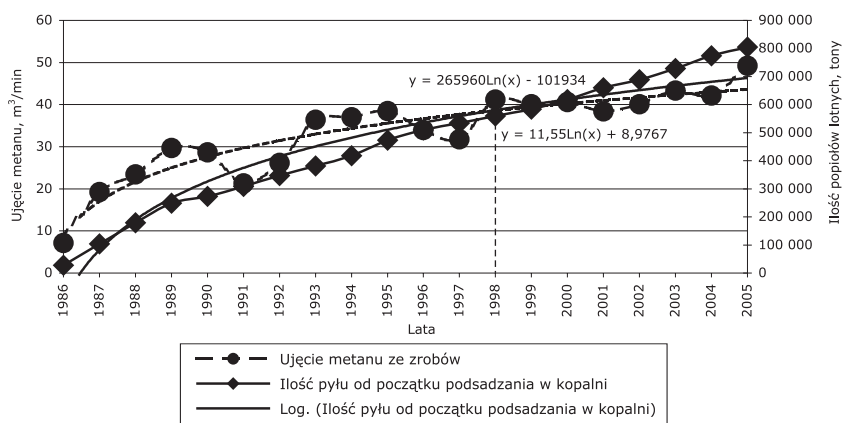
TABELA 3

Wyniki badania gazoprzepuszczalności próbek stwardniałych zawieszin z popiołu lotnego EC Bielsko-Biała sporządzonych w laboratorium i pobranych w kopalni

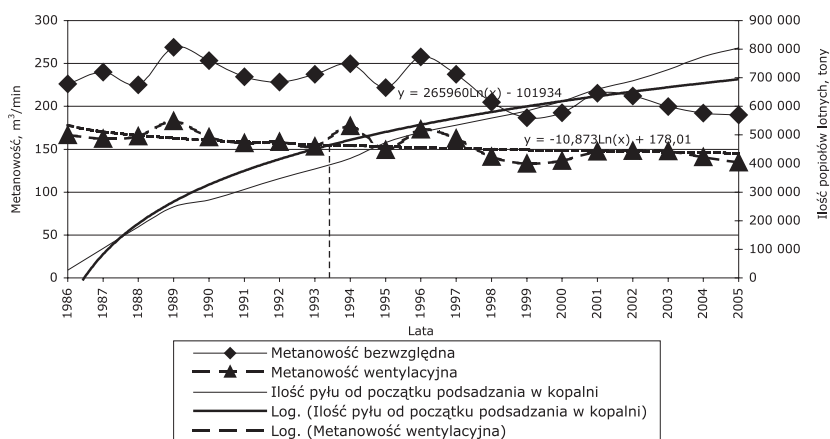
Rodzaj próbki	Długość próbki mm			Średnica próbki mm			Czas pomiaru $T$ s			Współczynnik przepuszczalności $K$ $10^{-15} \text{ m}^2$		
	od	do	średnia	od	do	średnia	od	do	średnia	od	do	średnia
Gips górniczy	0,0805	0,0817	0,0816	0,0605	0,0505	0,0610	514,25	656,18	613,27	0,1342	0,1713	0,1562
Zawiesina popiotowo-wodna z EC B-B sporządzona w laboratorium	0,063	0,0680	0,0650	0,0505	0,0510	0,0505	74,20	190,06	130,4	1,3302	2,4105	1,9130
	0,064	0,0066	0,0650	0,0500	0,0515	0,0507	148,30	280,25	245,5	0,4010	0,8816	0,6056
Pobrane w kopalni próbki stwardniałej zawiesziny	0,6625	0,067	0,0660	0,0500	0,0515	0,0510	165,10	305,20	275,9	0,4001	0,7203	0,5442
	0,0685	0,074	0,0710	0,0500	0,0515	0,0510	192,81	302,20	291,84	0,3402	0,4450	0,4269
	0,0650	0,070	0,0685	0,0515	0,0515	0,0513	104,25	216,40	184,80	0,6281	1,6612	1,1114
Piaskowiec „Słupia”	0,4535											
Piaskowiec „Wartowice”	0,9430											

## 7. Ocena wpływu stosowania zawieszin popiołowo-wodnych na poziom zagrożenia metanowego w kopalni

Z danych przedstawionych w tabeli 1 oraz na rysunkach 10 i 11 wynika, że równoległe z ilością ułokowanych popiołów lotnych w kopalni zmienia się zarówno metanowość (bezwzględna i wentylacyjna), jak i ujęcie metanu ze zrobów. Zmniejszania się metanowości bezwzględnej nie można wiązać bezpośrednio i jedynie ze skutkami podsadzania, lecz i ze zmianami wydobywania oraz zróżnicowanymi warunkami gazowymi. Charakterystyczne jest zmniejszenie się metanowości wentylacyjnej oraz złagodzenie jej zmian przy braku — od roku 1990 — przekroczeń dopuszczalnej zawartości metanu w szybach wentylacyjnych.



Rys. 10. Przykładowe wyznaczenie czasu, w którym następuje normalizacja zagrożenia metanowego — nie przekraczanie zawartości 0,75% metanu w szybach wentylacyjnych



Rys. 11. Przykładowe wyznaczenie czasu, w którym następuje normalizacja zagrożenia metanowego — nie przekraczanie dopuszczalnych zawartości metanu na głównych i grupowych drogach wentylacyjnych

Na rysunku 10 przedstawiono korelację pomiędzy ilością ulokowanych w zrobach popiołów a metanowością wentylacyjną w kopalni „Brzeszcze”. Przy przyjęciu odpowiednich warunków brzegowych dotyczących metanowości bezwzględnej i wentylacyjnej oraz ilości ulokowanych w zrobach popiołów i wyznaczeniu linii trendu badanych parametrów dla wykresów tych parametrów z punktu przecięcia tych linii można w przybliżeniu określić, kiedy odniesiony zostanie pozytywny skutek wynikający z uszczelniania zrobów. W analizowanym przypadku wyznaczony został rok 1993–1994. Wynik uzyskany w ten sposób pokrywa się z praktyką górnictwem. Począwszy od roku 1994, można zauważyć systematyczny spadek metanowości wentylacyjnej oraz całkowitą eliminację wzrostów zawartości metanu w szybach powyżej 0,75%.

Podobną korelację można zauważyć pomiędzy ilością popiołów ulokowanych w zrobach a wielkością ujęcia metanu ze zrobów. Przy przyjęciu określonych warunków brzegowych dla wielkości ujęcia metanu ze zrobów oraz ilości popiołów ulokowanych w zrobach i wyznaczeniu linii trendu zmian tych parametrów określić można czas, po którym zrob stanie się największym źródłem ujęcia metanu w kopalni. W analizowanym przypadku jest to rok 1998. Dane liczbowe potwierdzają całkowicie to spostrzeżenie.

Przedstawione powyżej spostrzeżenia wymagałyby uogólnienia na podstawie pomiarów i analiz przeprowadzonych w kilku kopalniach metanowych. Mogłaby być na tej podstawie opracowana metoda prognozowania, która z przewidywanej metanowości bezwzględnej oraz ilości ulokowanych w zrobach i wykorzystanych do izolacji popiołów pozwalałaby określić, kiedy uzyskany zostanie stabilny poziom bezpieczeństwa metanowego w szybach lub też kiedy zrob stanie się głównym źródłem ujęcia metanu.

#### LITERATURA

- [1] API — Recommended Practice RP 27. Recommended practice for determining permeability of porous media
- [2] *Majcherczyk T.*: Badania fizyczne własności skał. Skrypt AGH nr 11755, Kraków 1989
- [3] *Mazurkiewicz M., Piotrowski Z., Tajduś A.*: Lokowanie odpadów w kopalniach podziemnych. Część I. Ekologia i technologia. Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków 1997
- [4] Norma PN-G-11011: Materiały do podsadzki zestalanej i doszczelniania zrobów — wymagania i badania
- [5] Norma PN-93/M-53950/01: Pomiar strumienia masy i strumienia objętości płynów za pomocą zwęzek pomiarowych
- [6] Norma zakładowa PGNiG 2002 nr ZN-G-4001-4011: Pomiary paliw gazowych
- [7] *Rybicki Cz., Wójcikowski M.*: Nowa laboratoryjna metoda wyznaczania współczynnika przepuszczalności skał. Nafta, Gaz, nr 5, 1997
- [8] *Szłazak N., Szłazak J.*: Filtracja powietrza przez zrob ścian zawałowych w kopalniach węgla kamiennego. UWND AGH, 2005
- [9] Zasady gospodarczego wykorzystania odpadów w podziemnych wyrobiskach górniczych. WUG, 1997