

Stanisław NAWRAT\*, Kazimierz GATNAR\*\*

## Ocena stanu i możliwości utylizacji metanu z powietrza wentylacyjnego podziemnych kopalń węgla kamiennego

**STRESZCZENIE.** Metan, towarzyszący w kopalniach eksploatacji kopaliny podstawowej jaką jest węgiel kamienny, nie ujęty przez odmetanowanie w większej części wydziela się do powietrza wentylacyjnego tworząc mieszaniny metanowo-powietrzne o różnym stężeniu metanu.

Wykorzystanie metanu z pokładów węgla jest bardzo ważne z przyczyn:

- ✧ gospodarczych, co znalazło odzwierciedlenie w Prawie geologicznym i górniczym zaliczającym metan z pokładów węgla (MPW) do kopaliny podstawowej, oraz
- ✧ ekologicznych, gdyż emisja metanu do atmosfery przyczynia się do powstawania efektu cieplarnianego, co znalazło odzwierciedlenie w Protokole z Kioto.

W polskich kopalniach węgla kamiennego od wielu lat następuje stopniowy rozwój odmetanowania podziemnego i gospodarczego wykorzystania ujętego metanu w instalacjach ciepłowniczo-energetycznych. Jednakże nie tylko polskim, ale światowym dużym problemem jest utylizacja i gospodarcze wykorzystanie metanu z powietrza wentylacyjnego kopalń (MWENT).

W kopalniach, metan z pokładów węgla w czasie procesu urabiania węgla wydziela się do powietrza w kopalni i ulega rozrzedzeniu, tworząc w wyniku regulacji strumienia powietrza mieszaniny metanowo-powietrzne (MWENT) zawierające od 0,0 do 0,75% metanu (górna granica określona w polskich górniczych przepisach bezpieczeństwa).

Na świecie prowadzone są intensywne prace badawczo-rozwojowe, które doprowadziły do opracowania wielu technologii i urządzeń, pozwalających przeprowadzać proces spalania metanu o niskiej koncentracji.

---

\* Prof. dr hab. inż., – Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków; e-mail: nawstan@agh.edu.pl

\*\* Mgr inż. – Jastrzębska Spółka Węglowa S.A., Jastrzębie Zdrój; e-mail: Kgatnar@jsw.pl

Materiał zawarty w artykule stanowi próbę oceny stanu i możliwości utylizacji metanu z powietrza wentylacyjnego podziemnych kopalń.

SŁOWA KLUCZOWE: metan, węgiel, węgiel kamienny, wentylacja, utylizacja

## 1. Zasoby metanu w mieszaninie z powietrzem w polskich kopalniach węgla kamiennego

W polskich kopalniach węgla kamiennego od wielu lat następuje stopniowy rozwój odmetanowania podziemnego i gospodarczego wykorzystania ujętego metanu w instalacjach energetyczno-ciepłowniczych. Natomiast dużym problemem, nie tylko polskim, ale i światowym, jest utylizacja i gospodarcze wykorzystanie metanu z powietrza wentylacyjnego (MWENT) kopalń.

### 1.1. Zasoby metanu w mieszaninie z powietrzem w polskich kopalniach węgla kamiennego

W polskich kopalniach węgla kamiennego metanowość bezwzględna od roku 2001 systematycznie rocznie mimo zmniejszania się ilości kopalń oraz wydobywania. W 2006 roku metanowość bezwzględna wynosiła 871 mln m<sup>3</sup>/rok (1 657,2 m<sup>3</sup>/min), przy czym wentylacyjnie odprowadzono 581 mln m<sup>3</sup> metanu/rok (1 105,4 m<sup>3</sup>/min), a systemem odmetanowania ujęto 290 mln m<sup>3</sup>/rok (551,8 m<sup>3</sup>/min) (Raporty roczne...). Metanowość wentylacyjną, z odmetanowania oraz bezwzględną polskich kopalń węgla kamiennego w latach 2001–2006 przedstawia tabela 1 oraz rysunek 1 (Raporty roczne...).

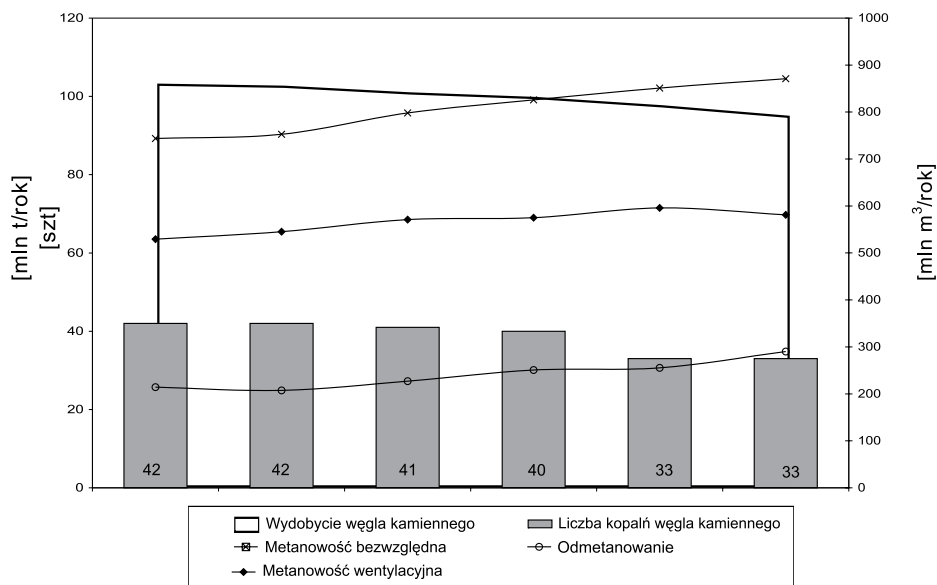
Odmetanowanie, metanowość wentylacyjna – a co za tym idzie – metanowość bezwzględna w ostatnich latach systematycznie rosną (rys. 1).

Z rysunku 1 wynika, że roczne zasoby metanu w powietrzu wentylacyjnym kopalń węgla kamiennego w roku 2006 wynosiły około 581 mln m<sup>3</sup> (Raporty roczne...) i z roku na rok zwiększają się. Tylko w 50% zasoby te były wykorzystane, jako paliwo w instalacjach ciepłowniczo-energetycznych.

TABELA 1. Metanowość kopalń węgla kamiennego w latach 2001–2006  
(Raporty roczne...)

TABLE 1. Methane content compared to coal mines number and total output in Poland  
between 2001–2006

Wyszczególnienie	Jednostka	Rok					
		2001	2002	2003	2004	2005	2006
Metanowość bezwzględna	mln m <sup>3</sup> /rok	743,7	752,6	798,1	825,9	851,1	871,0
	m <sup>3</sup> /min	1 415,0	1 431,9	1 518,5	1 571,3	1 623,2	1 657,2
Odmetanowanie	mln m <sup>3</sup> /rok	214,3	207,3	227,1	250,9	255,3	290,0
	m <sup>3</sup> /min	407,8	394,4	432,1	477,4	515,9	551,8
Metanowość wentylacyjna MEWENT	mln m <sup>3</sup> /rok	529,4	545,3	571,0	575,0	595,9	581,0
	m <sup>3</sup> /min	1 007,2	1 037,5	1 086,4	1 093,9	1 116,3	1 105,4
Ilość kopalń węgla kamiennego	szt.	42,0	42,0	41,0	40,0	33,0	33,0
Wydobycie węgla kamiennego	mln t/rok	102,6	102,1	100,4	99,2	97,1	94,4

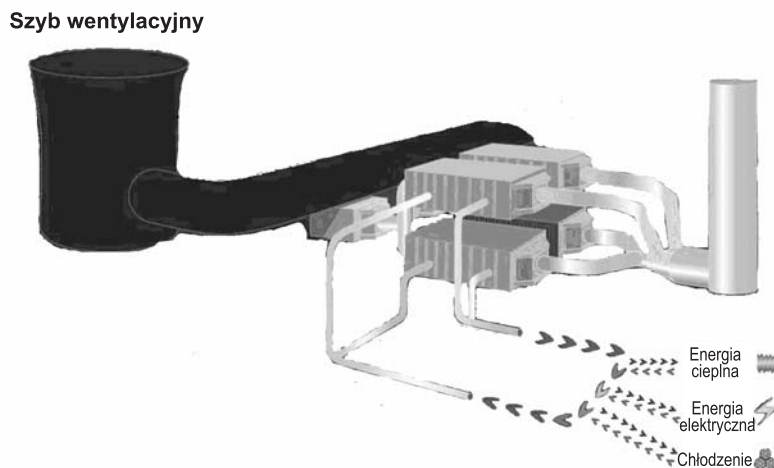


Rys. 1. Metanowość kopalń węgla kamiennego w odniesieniu do liczby kopalń i wydobycia węgla kamiennego w Polsce w latach 2001–2006

Fig. 1. Methane content compared to coal mines number and total output in Poland between 2001–2006

## 2. Możliwości techniczne wykorzystania metanu z powietrza wentylacyjnego (MWENT) w instalacjach ciepłowniczo-energetycznych

Liczne prace badawczo-rozwojowe prowadzone w ostatnich latach doprowadziły do powstania wielu technologii i urządzeń, które umożliwiają wykorzystanie metanu z powietrza wentylacyjnego jako paliwa. Jednakże podstawowym problemem jest zapewnienie mieszanki metanowo-powietrznej o koncentracji metanu co najmniej od 0,5 do 1,0%, aby urządzenia – reaktory spalające metan mogły pracować ekonomicznie efektywnie. Podstawowe założenia wykorzystania metanu z powietrza wentylacyjnego kopalń przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Podstawowy układ technologiczny wykorzystania metanu z powietrza wentylacyjnego kopalń węgla kamiennego (Raporty roczne...)

Fig. 2. Standard technological layout of VAM use

Podstawowymi urządzeniami instalacji umożliwiającej utylizację metanu z powietrza wentylacyjnego podziemnych kopalń węgla kamiennego są:

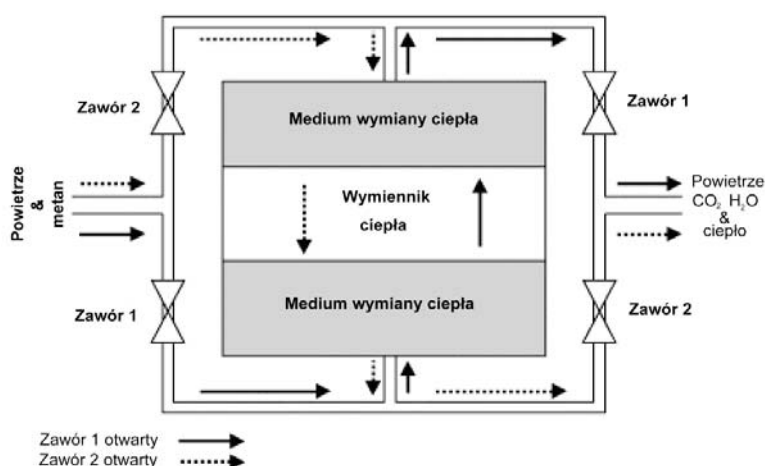
- 1) urządzenia do pobierania gazów MWENT (powietrze i metan) z szybu wentylacyjnego kopalni,
- 2) urządzenia do transportu MWENT do reaktorów spalających metan,
- 3) reaktory spalające metan z MWENT i wytwarzające spaliny zawierające głównie dwutlenek węgla oraz energię cieplną,
- 4) wymienniki ciepła gaz-woda, umożliwiające wykorzystanie energii cieplnej dla celów energetycznych, np. ogrzewania lub produkcji energii elektrycznej,
- 5) kominy odprowadzające spaliny do atmosfery.

## 2.1. Ciepły reaktor przepływowo-rewersyjny TFRR (VOCSIDIZER)

Vocsidizer został opracowany przez amerykańską firmę Megtec Systems i jest reaktorem, w którym następują cykliczne procesy samozapalenia metanu i wydzielania ciepła do złoża (Nawrat 2006). Schemat urządzenia przedstawia rysunek 3.

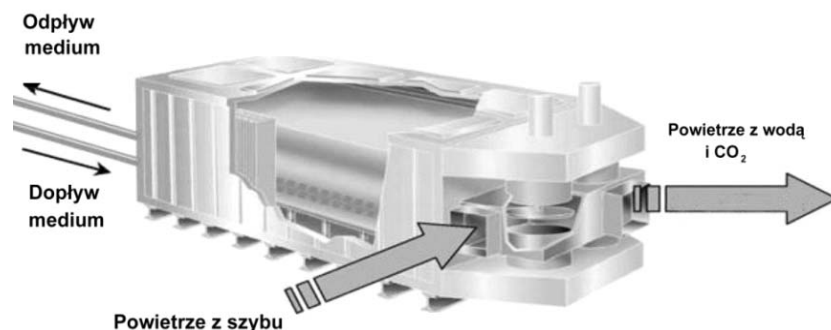
TFRR składa się ze złoża wykonanego ze żwiru krzemionkowego lub ceramiki, które pełni rolę wymiennika ciepła, z umieszczonymi wewnątrz instalacjami elektrycznymi służącymi do podgrzewania. Odpowiedni przepływ mieszaniny MWENT przez złożo zapewniony jest przez szereg kanałów i zaworów. TFRR działa na zasadzie regeneracyjnej wymiany ciepła pomiędzy przepływającym gazem a wymiennikiem ciepła i medium. Aby zainicjować proces, elektryczne podgrzewacze umieszczone w wymienniku ciepła są podgrzewane do temperatury umożliwiającej utlenianie się metanu (około 1000°C) lub wyższej. Powietrze wentylacyjne o temperaturze otoczenia wpływa przez wlot do reaktora w jednym kierunku, gdzie następuje utlenianie się metanu oraz wzrost temperatury w pobliżu środka wymiennika ciepła. Gorące produkty spalania oraz nieprzereagowana część MWENT płyną wzdłuż wymiennika oddając ciepło. W wyniku tego procesu nagrzewa się przeciwna strona wymiennika. Gdy jej temperatura osiągnie temperaturę zapłonu metanu, reaktor automatycznie odwraca kierunek przepływu powietrza. Nowy strumień MWENT przepływa przez złożo z drugiej strony pobierając ciepło od wymiennika. W centralnej części złoża osiąga temperaturę zapłonu i w wyniku utleniania zaczyna oddawać ciepło. Następuje ponowne odwrócenie przepływu i proces powtarza się (Assessment of the Worldwide Market...).

Przekrój przez urządzenie pokazuje rysunek 4. Zastosowanie ciepłego reaktora przepływowo-rewersyjnego pozwala efektywnie wykorzystać metan z powietrza wentylacyjnego do produkcji ciepła, energii elektrycznej i chłodu. Instalacja oparta na takim urządzeniu pozwala uzyskać ze strumienia 800 000 m<sup>3</sup>/h powietrza wentylacyjnego o stężeniu metanu



Rys. 3. Schemat ciepłego reaktora przepływowo-rewersyjnego TFRR (Assessment of the Worldwide Market...)

Fig. 3. Schematic of a TFRR (Assessment of the Worldwide Market...)



Rys. 4. Przekrój przez ciepły reaktor przepływowo-rewersyjny TFRR (VOCSIDIZER)  
(Materiały reklamowe firmy MEGTEC)

Fig. 4. Cross-section of TFRR (VOCSIDIZER)

1%, 72 MW ciepła, które może być następnie przetworzone na 18 MW energii elektrycznej lub na 16 MW energii elektrycznej i 36 MW chłodu (Materiały reklamowe firmy MEGTEC; Carothers et al. 2006; Hall D. West Cliff powers up. Australian Mining...).

Po raz pierwszy Vocsidizer został zademonstrowany w 1994 roku w kopalni węgla Thorseby należącej do British Coal w Wielkiej Brytanii, gdzie pracował wykorzystując 8000 m<sup>3</sup>/h gazu zawierającego 0,3–0,6% metanu.

Od kwietnia 2007 roku przy kopalni BHP Billiton Illawarra w pełni rozpoczęła pracę elektrownia powstała w ramach projektu West Cliff Ventilation Air Methane Project (WestVAMP). Jest to pierwsza na świecie elektrownia wykorzystująca jako paliwo powietrze wentylacyjne MWENT o niskiej zawartości metanu (rys. 5). Oficjalnego otwarcia



Rys. 5. Elektrownia WestVAMP (Mattus R. Presentation for UNECE Ad Hoc)

Fig. 5. Power station WestVAMP

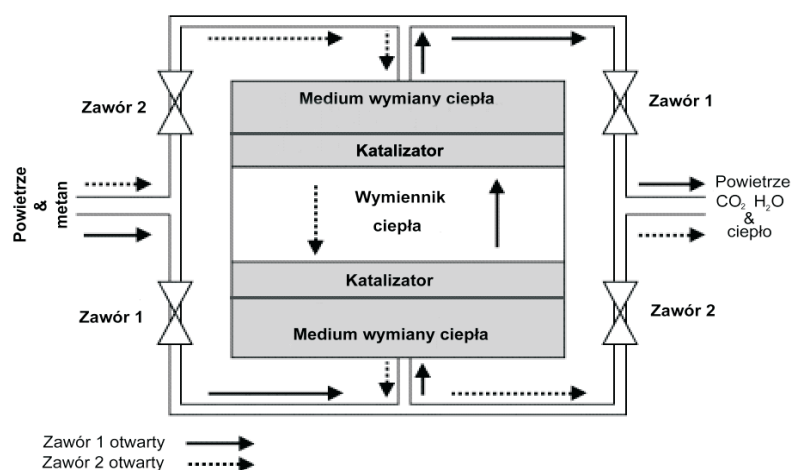
dokonał 14 września 2007 roku premier Nowej Południowej Walii Morris Iemma. Koszt instalacji wyniósł 30 mln A\$ przy wsparciu Australijskiego Biura ds. Efektu Ciepłarnianego (Australian Greenhouse Office) w ramach programu ograniczenia emisji gazów cieplarnianych (Greenhouse Gas Abatement Program) w kwocie 6 mln A\$ (Moore 2007)

Do produkcji energii elektrycznej instalacja zawierająca reaktory Vocsidizer wykorzystuje 250 000 m<sup>3</sup>/h powietrza wentylacyjnego MWENT o stężeniu metanu 0,9%. Jest to około 20% strumienia powietrza wentylacyjnego z szybu. Stężenie metanu rzędu 0,9% uzyskiwane jest przez dodatkowe zmieszanie z gazem pochodzącym z odmetanowania. Elektrownia wytwarza około 5 MW energii elektrycznej, jednocześnie ograniczając emisję metanu do atmosfery, w przeliczeniu na CO<sub>2</sub>, wynoszącą 250 000 ton rocznie. 24 września 2007 roku projekt WestVAMP zdobył główną nagrodę Australijskiego Instytutu Energetycznego (Australian Institute of Energy) Excellence Energy Award 2007 w kategorii Energia i Środowisko (Mattus R. Presentation for UNECE Ad Hoc).

Koszt oraz opłacalność zastosowania instalacji Vocsidizer zależy przede wszystkim od stężenia metanu w powietrzu wentylacyjnym, ale także od wielkości tego strumienia, sposobu wykorzystania oraz aktualnych cen uprawnień do emisji CO<sub>2</sub>.

## 2.2. Katalityczny reaktor przeplywowo-rewersyjny CERR

Zasada działania katalitycznego reaktora przeplywowo-rewersyjnego jest taka sama jak cieplnego reaktora przeplywowo-rewersyjnego, jednakże wprowadzony został tu katalizator powodujący obniżenie temperatury utleniania metanu o kilkaset stopni Celsjusza (do około 340°C). Firma CANMET (Canadian Mineral and Technologies) zademonstrowała ten system w wersji pilotażowej, a obecnie prowadzi badania nad poprawą efektywności działania



Rys. 6. Schemat katalitycznego reaktora przeplywowo-rewersyjnego CERR (Technical and Economic Assessment)

Fig. 6. Flow diagram of the CFRR

turbiny. Podczas działania urządzenia, przy niskiej koncentracji metanu w powietrzu, dostarczana jest dodatkowa ilość metanu z innego źródła, w celu polepszenia efektywności działania (Assessment of the Worldwide Market...). Schemat takiego układu przedstawia rysunek 6. W skali półtechnicznej i technicznej planowane są zastosowania tego układu w Wielkiej Brytanii i Chinach (Nawrat 2006).

### 2.3. Adsorpcyjne koncentratory metanu

Koncentratory lotnej mieszaniny organicznej (VOC) oferują inne możliwości wykorzystania MWENT. W ostatnich latach zwiększył się udział w rynku urządzeń podnoszących koncentrację metanu w powietrzu. Małe instalacje budowane są w celu obniżenia kosztów utleniania metanu. Strumień powietrza wentylacyjnego zawiera przeważnie około 0,5% metanu (objętościowo). Możliwe jest podwyższenie koncentracji metanu z 0,5% aż do 20% przy użyciu koncentratorów. Zmniejszona w ten sposób objętość gazu oraz podwyższona koncentracja metanu powoduje, że mieszanina mogłaby być dobrym paliwem dla turbin gazowych. Koncentratory mogą także podwyższać koncentracje metanu z bardzo niskich do odpowiadających potrzebom TFRR i CFRR. Istnieje wiele typów koncentratorów pracujących w przemyśle, z tarczami węglowymi i zeolitowymi. Największe znaczenie mają płynne koncentratory warstwowe, ze względu na dużą efektywność działania. Istnieje wielu dostawców tego typu urządzeń, jednym z nich jest Environmental C&C Inc. (Clifton Park,



Rys. 7. Koncentrator firmy Environmental C&C Inc.  
(Assessment of the Worldwide Market...)

Fig. 7. Fluidized Bed Concentrator Environmental C&C Inc.



Nowy Jork), którego instalacja przedstawiona jest na rysunku 7 (Assessment of the Worldwide Market...). Instalacja pokazana na rysunku 7 pracuje dla nominalnego strumienia objętościowego gazu wynoszącego około 83 tys. m<sup>3</sup>/h, co jak dla warunków kopalnianych jest wartością bardzo niską.

## 2.4. Turbiny gazowe CGT

Projektanci opracowują nowe rodzaje turbin, które mogłyby pracować na paliwo MWENT lub na paliwo pochodzące z koncentratorów lub gazu z odmetanowania. Do urządzeń tych można zaliczyć turbiny gazowe CGT. Jest to gaźnikowa turbina gazowa (Carbureted Gas Turbine) opracowana przez australijską firmę Energy Developments Limited. Urządzenie takie wymaga koncentracji metanu w paliwie minimum 1,6% i w związku z tym w większości przypadków MWENT wymagałoby wzbogacenia. Spalanie odbywa się w zewnętrznej części komory spalania w temperaturze około 1200°C. Na rysunku 8 pokazana jest testowa instalacja w kopalni Appin w Australii, gdzie zastosowano zmodyfikowany model turbiny słonecznej Solar 3000R, o mocy elektrycznej 2,7 MW (Assessment of the Worldwide Market...).



Rys. 8. Gaźnikowa turbina gazowa CGT w kopalni Appin  
(Assessment of the Worldwide Market...)

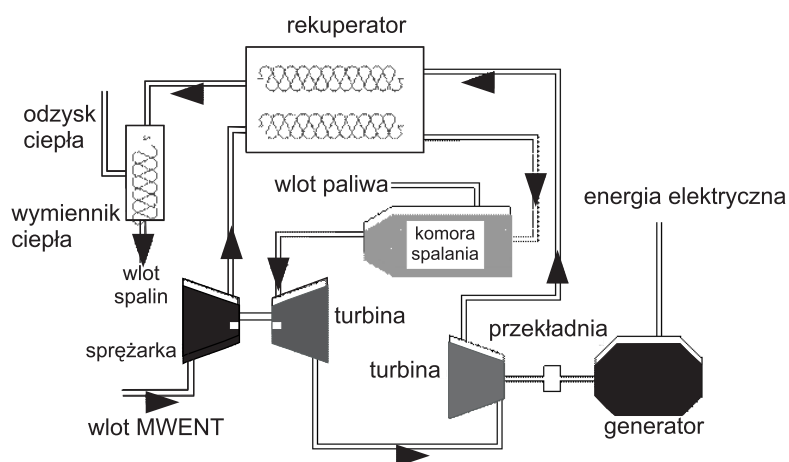
Fig. 8. Carbureted gas turbine (CGT) in Appin coal mine

## 2.5. Turbiny z katalitycznym spalaniem CCGT

Firma CSIRO wraz z rządową organizacją ds. górnictwa w Australii opracowuje projekt katalitycznej turbiny gazowej (CCGT), która mogłaby wykorzystywać powietrze wentylacyjne MWENT. CCGT jest rozwinięciem CGT w połączeniu ze spalaniem katalitycznym. Paliwem jest mieszanina powietrza z metanem o niskiej koncentracji, którą zostaje sprężana i spalana w obecności katalizatora ułatwiającego przebieg reakcji. Podobnie jak w CGT, powietrze dolotowe musi posiadać dodatkowy dopływ paliwa. Turbina taka może pracować przy stężeniu metanu 1%, w ten sposób minimalizuje się potrzebę uzupełniania mieszaniny o dodatkowy metan (Assessment of the Worldwide Market...).

## 2.6. Mikroturbiny gazowe na paliwo o niskiej koncentracji

Ingersoll-Rand Energy Systems, przedsiębiorstwo z USA, rozwija technologię mikroturbin pracujących na mieszance metan–powietrze o koncentracji metanu poniżej 1%. Mikroturbina (PowerWorks Microturbine) ma moc elektryczną 70 kW i składa się z prądnicy, turbiny gazowej, komory spalania, rekuperatora, turbiny energetycznej i generatora. Ingersoll-Rand zaprezentował w ostatnim czasie mikroturbinę o mocy 250 kW (Assessment of the Worldwide Market...). Powietrze MWENT sprężone w kompresorze jest następnie ogrzewane w rekuperatorze, po czym przechodzi do komory spalania, gdzie w wyniku spalania powstają gazy i ciepło (rys. 9). Strumień powstałych gazów płynie przez łopatki pierwszej turbiny, która napędza sprężarkę, a potem przez drugą turbinę, która napędza generator prądotwórczy. Gazy wydechowe przechodzą przez rekuperator, a następnie przez wymiennik ciepła (Nawrat 2006).



Rys. 9. Mikroturbina gazowa na paliwo o niskiej koncentracji (Nawrat 2006)

Fig. 9. Lean-fueled gas microturbine

## 2.7. Mikroturbiny gazowe na paliwo o niskiej koncentracji ze spalaniem katalitycznym

Dwa przedsiębiorstwa – FlexEnergy i Capstone Turbine Corporation, rozwijają wspólnie projekty mikroturbin o mocy od 30 kW (rys. 10), pracujące na mieszance o koncentracji metanu 1,3%. Takie urządzenie montowane jest na szybie wydechowym wraz ze sprężarką i turbiną. FlexEnergy projektuje obecnie mikroturbiny mogące pracować na paliwo o niskiej koncentracji poniżej 1%, aby dostosować się do rynku MWENT, oraz zwiększa moc urządzeń do 100 kW (Assessment of the Worldwide Market...).



Rys. 10. Mikroturbina gazowa z katalitycznym spalaniem (Nawrat 2006)

Fig. 10. Lean-fueled catalytic microturbine

## 2.6. Turbiny hybrydowe na mieszaninę metan–powietrze–węgiel

Firma CSIRO rozwija nowatorski system, polegający na utlenianiu i produkcji energii elektrycznej z MWENT w połączeniu z odpadowym niskokalorycznym węglem. CSIRO buduje turbinę o mocy 1,2 MW pracującą w oparciu o mieszaninę MWENT i odpadów węglowych. Hybrydowa mieszanina jest spalana w piecu rotacyjnym, gdzie nagrzewa powietrze, które kierowane jest do wymiennika ciepła, a następnie na łopatki turbiny.

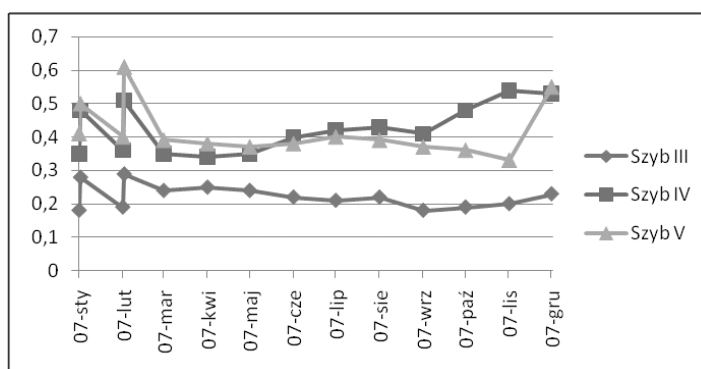
## 3. Możliwości zastosowania technologii dla utylizacji metanu z powietrza wentylacyjnego polskich kopalń

Przedstawiony materiał wykazał, że na świecie zostało opracowanych wiele technologii utylizacji metanu, przy czym w skali przemysłowej uruchomiono tylko jedną instalację w Au-

stralii. W polskich kopalniach główną barierą dla efektywnego wykorzystania energetycznego metanu z powietrza wentylacyjnego w szybach wydechowych są niskie stężenia metanu.

### 3.1. Zawartości metanu w powietrzu w szybach wydechowych

Polskie przepisy górnicze wymagają, żeby zawartość metanu w powietrzu w szybach wentylacyjnych była niższa od 0,75%. Podstawowym środkiem ograniczania i regulowania zawartości metanu w powietrzu w wyrobiskach górniczych jest doprowadzanie odpowiednio dużych strumieni powietrza. W związku z tym zawartości metanu w szybach wentylacyjnych wahają się od 0,0 do 0,5% i mieszaniny takie o bardzo niskiej zawartości metanu są mało przydatne do energetycznego wykorzystania. W Jastrzębskiej Spółce Węglowej S.A., która prowadzi eksploatację metanu w pokładach o wysokiej metanonośności dochodzącej do 20 m<sup>3</sup>/Mg c.s.w., w wyniku stosowania intensywnej wentylacji w szybach wydechowych zawartości metanu w powietrzu wahają się od 0,1–0,4%. Na rysunku 11 i w tabeli 2 przedstawiono zawartości metanu w powietrzu w szybie III, IV i V KWK Pniówek należącej do JSW S.A.



Rys. 11. Zawartości metanu i wydatek powietrza w szybie III, IV i V KWK Pniówek

Fig. 11. Methane content and gas volume in shaft III, IV, V in coal mine Pniówek

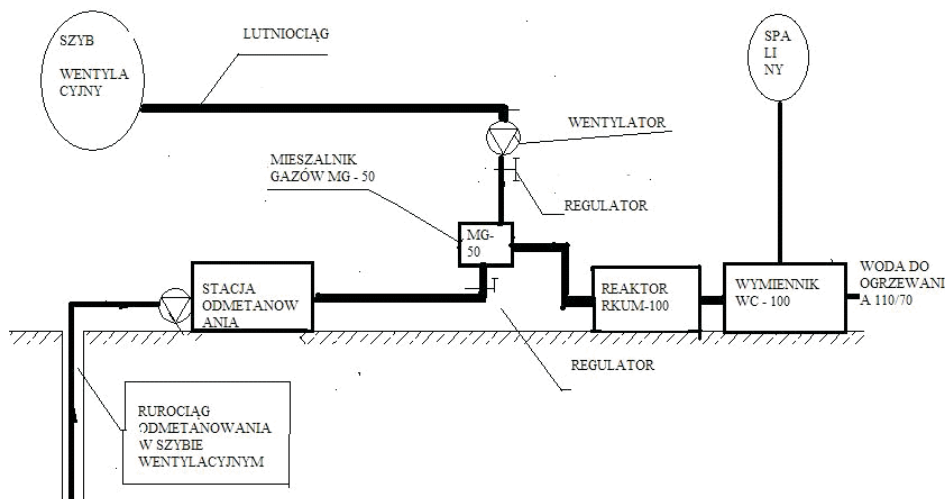
Niskie zawartości metanu – max. 0,6% w powietrzu, uniemożliwiają wykorzystywanie mieszaniny metanowo-powietrznej odprowadzanej przez szyb III w KWK Pniówek do celów energetycznych jako paliwa.

### 3.2. Technologia wykorzystania metanu z powietrza wentylacyjnego dla polskich kopalń

Dla warunków występujących w polskich kopalniach wykorzystanie metanu z powietrza wentylacyjnego jest możliwe jedynie poprzez dodawanie metanu pozyskanego w kopalni w procesie odmetanowania do powietrza wentylacyjnego kierowanego do instalacji spalającej metan w reaktorach. Idee kontrolowanego dodawania metanu z odmetanowania do po-

TABELA 2. Parametry wentylacyjno-metanowe kopalni KWK Pniówek  
TABLE 2. Methane and ventilation parameter of coal mine Pniówek

	sty-07	lut-07	mar-07	kwi-07	maj-07	cze-07	lip-07	sie-07	wrz-07	paź-07	lis-07	grn-07	sty-08	lut-08
Metnowość bezwzględna kopalni [m <sup>3</sup> /min]	238,9	258,3	257,6	260,0	265,8	267,4	271,3	272,3	257,9	249,1	251,3	229,3	231,3	237,2
Wydatek metanu odprowadzany z powietrzem [m <sup>3</sup> /min]	148,6	150,8	157,5	156,7	155,3	159,5	160,9	162,2	150,0	154,1	158,7	164,0	161,8	166,2
Wydatek metanu ujętego odmetanowaniem [m <sup>3</sup> /min]	90,3	107,5	100,1	103,3	110,5	107,9	110,4	110,1	107,9	95,0	92,6	65,2	69,5	71,0
<b>Odmetanowanie</b>														
Ilość mieszaniny metanowo-powietrznej [m <sup>3</sup> /m-c]	7 473 700	8 021 000	8 028 900	8 177 400	8 857 400	8 494 400	8 869 600	8 930 200	8 436 700	7 903 500	7 553 400	6 056 600	6 615 000	5 974 200
Ilość metanu [m <sup>3</sup> /m-c]	4 030 900	4 334 400	4 466 300	4 461 800	4 931 600	4 661 800	4 929 700	4 914 500	4 662 300	4 238 900	3 998 500	2 910 600	3 100 400	2 964 100
Zawartość metanu [%]	53,9	54,0	55,6	54,6	55,7	54,9	55,6	55,0	55,3	53,6	52,9	48,1	46,9	49,6
<b>Szyb III</b>														
Ilość powietrza w kanałach wentylacyjnych [m <sup>3</sup> /min]	20 538	20 622	20 748	20 720	20 664	20 692	20 804	20 846	20 580	19 978	19 908	21 966	21 252	21 182
Zawartość metanu w powietrzu w kanałach wentylacyjnych [%]	0,18	0,19	0,24	0,25	0,24	0,22	0,21	0,22	0,18	0,19	0,20	0,23	0,28	0,29
Wydatek metanu w szybie [m <sup>3</sup> /min]	36,9	39,2	48,8	50,8	48,5	45,5	42,7	44,8	37,0	38,0	39,8	50,5	59,5	61,4
<b>Szyb IV</b>														
Ilość powietrza w kanałach wentylacyjnych [m <sup>3</sup> /min]	11 520	11 592	11 640	11 640	11 664	11 592	11 328	11 424	11 400	11 472	11 640	12 072	13 368	13 344
Zawartość metanu w powietrzu w kanałach wentylacyjnych [%]	0,35	0,36	0,35	0,34	0,35	0,40	0,42	0,43	0,41	0,48	0,54	0,53	0,48	0,51
Wydatek metanu w szybie [m <sup>3</sup> /min]	40,3	41,7	40,7	39,6	40,8	46,4	47,6	49,1	46,7	55,1	62,9	64,0	64,2	68,1
<b>Szyb V</b>														
Ilość powietrza w kanałach wentylacyjnych [m <sup>3</sup> /min]	17 646	17 697	17 646	17 680	17 612	17 782	17 646	17 527	17 918	16 949	16 983	8 993	7 616	6 018
Zawartość metanu w powietrzu w kanałach wentylacyjnych [%]	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,38	0,40	0,39	0,37	0,36	0,33	0,55	0,50	0,61
Wydatek metanu w szybie [m <sup>3</sup> /min]	71,4	69,9	68,0	66,3	66,0	67,6	70,6	68,3	66,3	61,0	56,0	49,5	38,1	36,7



Rys. 12. Schemat instalacji wykorzystującej metan z powietrza wentylacyjnego jako paliwo dla reaktora

Fig. 12. Schematic of plant using methane from ventilation air as a fuel for reactor

wietrza wentylacyjnego doprowadzanego z szybu wentylacyjnego do instalacji spalającej mieszaninę metanowo-powietrzną przedstawia rysunek 12.

Przedstawiona idea została zastosowana w przemysłowej instalacji w kopalni West Cliff w Australii.

Oczywiście możliwe jest dodawanie gazu ziemnego do strumienia mieszaniny metanowo-powietrznej doprowadzanej z szybu wentylacyjnego do reaktora, ale wtedy proces produkcyjny energii cieplnej staje się ekonomicznie mało efektywny.

## Stwierdzenia i wnioski

Przedstawiony materiał pozwala na sformułowanie następujących stwierdzeń i wniosków:

1. Metan z powietrza odprowadzanego szybami wydechowymi z kopalni na powierzchnię – do atmosfery powinien być zutilizowany ze względów energetycznych i ekologicznych.
2. Utylizacji wymaga zarówno metan odprowadzany instalacjami odmetanowania, jak i metan odprowadzany na powierzchnię z powietrzem wentylacyjnym (MWENT).
3. Są znane i stosowane na świecie technologie i instalacje umożliwiające wykorzystanie jako paliwa metanu z powietrza wentylacyjnego odprowadzanego szybami wentylacyjnymi na powierzchnię.
4. Opracowano szereg technologii i urządzeń do utylizacji metanu z powietrza wentylacyjnego, z których najbardziej znanymi są:
  - ✧ ciepły reaktor przepływowo-rewersyjny TFRR (VOCSIDIZER),

- ✧ katalityczny reaktor przepływowo-rewersyjny CERR,
  - ✧ turbiny gazowe CGT,
  - ✧ turbiny z katalitycznym spalaniem CCGT,
  - ✧ mikroturbiny gazowe na paliwo o niskiej koncentracji,
  - ✧ mikroturbiny gazowe na paliwo o niskiej koncentracji ze spalaniem katalitycznym.
5. Szczególnie dużo zastosowań cieplnego reaktora przepływowo-rewersyjnego VOCSIDIZER firmy MEGTEC (ponad 600) świadczy o efektywności instalacji i spadku nakładów inwestycyjnych. Potwierdzeniem dalszego rozwoju technologii jest uruchomienie w 2007 r. przy kopalni BHP Billiton Illawarra elektrowni o mocy 5 MW<sub>e</sub>, która powstała w ramach projektu West Cliff Ventilation Air Methane Project (WestVAMP).
  6. Ciągłe prace nad udoskonaleniem turbin gazowych pozwalają przypuszczać, że także one będą mogły pracować wykorzystując bezpośrednio MWENT.
  7. Przedstawiony przykład wskazuje, że również w polskich kopalniach istnieje możliwość wykorzystania MWENT do celów energetyczno-ciepłowniczych, przy czym koncentracja metanu w powietrzu doprowadzanym do instalacji powinna być większa od 1% w wyniku zmieszania z gazem z odmetanowania kopalni, co pozwoli poprawić efektywność układu.

## Literatura

- Assessment of the Worldwide Market Potential for Oxidizing Coal Mine Ventilation Air Methane. United States Environmental Protection Agency 2003.
- CAROTHERS P., MATTUS R., SCHULZ L., 2005 – Mitigation of Methane Emissions from Coal Mine Ventilation Air. Western States Coal Mine Methane Recovery and Use Workshop Grand Junction, Colorado April 19–20.
- HALL D. – West Cliff powers up. Australian Mining – Australia’s premier mining news website ([www.miningaustralia.com.au/articles/West-Cliff-powers-up\\_z134949.htm](http://www.miningaustralia.com.au/articles/West-Cliff-powers-up_z134949.htm)).
- Innovations in Energy. Ingersoll Rand Technologies and Services that Optimize Energy Efficiency. Ingersoll Rand Corporate Communications, october 2006.
- Materiały reklamowe firmy MEGTEC Systems, czerwiec 2004.
- MATTUS R., 2007 – VAM Power Plant. In full operation – the world’s first.
- MATTUS R., 2007 – Presentation for UNECE Ad Hoc Group of Experts on Coal Mine Gas.
- MOORE R., 2007 – Award for Illawarra Coal’s world-first power plant. Illawarra Coal – Carbon Steel Materials.
- NAWRAT S., 2006 – Możliwości wykorzystania metanu z powietrza wentylacyjnego podziemnych kopalń węgla. Miesięcznik WUG nr 5.
- Raporty roczne (1986–2005) o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego. GIG, Katowice 1986–2005.
- Technical and Economic Assessment: Mitigation of Methane Emissions from Coal Mine Ventilation Air. United States Environmental Protection Agency 2000.

Stanisław NAWRAT, Kazimierz GATNAR

## Estimate of condition and capabilities of VAM utilization from underground coal mines

### Abstract

In coal mines methane companion coal production is sent to atmosphere, making mixtures with air with different content of methane.

Utilization of methane from coal seams is important from:

- ✧ economic reason – in polish Geological and Mining law methane from coal seams is counted as basic minerals,
- ✧ ecological reason because methane emission to atmosphere cause greenhouse effect, what is showed in Kioto Protocol.

Polish coal mines since many years developed underground drainage and utilization of methane in power heat plants. Although in polish and world mining one of biggest challenge is utilization methane from ventilation air.

In mines methane from coal beds in coal exploitation is given to underground atmosphere making methane-air mixtures with methane content 0.0–0.75% (max limit in polish geological and mining law).

In World intensive research and development work are make and result of this work is installation can burn methane with low concentration. Article present estimate of condition and capabilities of VAM utilization from underground coal mines

KEY WORDS: VAM, coal, black coal, ventilation, utilization