

Kazimierz GATNAR\*

## Układy energetyczne wykorzystujące metan z odmetanowania kopalń JSW S.A. jako element lokalnego rynku energii

**STRESZCZENIE.** Referat rozpoczyna informacje o JSW S.A. i SEJ S.A. Następnie na przykładzie zrealizowanych układów: trójgeneracyjnego w EC „Pniówek” (produkcja energii elektrycznej, ciepła i „chłodu”) oraz kogeneracyjnego w EC „Suszec” (produkcja energii elektrycznej i ciepła) omówiono efekty uzyskane dzięki wykorzystaniu w silnikach gazowych metanu z odmetanowania kopalń JSW S.A. Przedstawiono dane techniczne układów i stopień pokrycia potrzeb kopalni produkcją z układów skojarzonych.

**SŁOWA KLUCZOWE:** metan pokładów węgla, skojarzone układy energetyczne, lokalny rynek energii

### Wprowadzenie

Jastrzębska Spółka Węglowa S.A. grupuje 5 czynnych kopalń o obszarze nadania górniczego wynoszącym 122 km<sup>2</sup> i produkcji węgla koksowego typu 35.1 i 35.2 na poziomie około 14 mln Mg rocznie. Eksploatowanemu złożu węgla towarzyszą znaczne ilości metanu, który jest w około 42% ujmowany pod depresją centralnych powierzchniowych stacji odmetanowania w postaci mieszanek metanowo-powietrznych o koncentracjach 50–70%

---

\* Mgr inż. — Jastrzębska Spółka Węglowa S.A., Dyrektor Zespołu Zarządzania Energią.

Recenzent: dr inż. Urszula OZGA-BLASCHKE

CH<sub>4</sub> i przesyłany do odbiorców w Spółce Energetycznej Jastrzębie – SEJ S.A., a w około 58% usuwany z dołu kopalni na drodze wentylacyjnej [1, 3]. Ujęcie metanu odmetanowaniem wynosi około 124 mln m<sup>3</sup> rocznie (w przeliczeniu na czysty CH<sub>4</sub>). Ujmowane mieszanki gazowo-powietrzne nie są oczyszczone i osuszone, a stosowana technologia ujęcia powoduje znaczne wahania tak koncentracji CH<sub>4</sub> jak i ciśnienia.

Odbiorcami mieszanek metanowo-powietrznych z odmetanowania są zakłady SEJ S.A.:

- ✧ EC „Moszczenica” – kotły pyłowe dwupaliwowe OCG-64,
- ✧ EC „Zofiówka” – kotły pyłowe dwupaliwowe OP-140,
- ✧ EEG Zakład nr 3 – kotły gazowe i WR,
  - ✧ silniki gazowe TBG 632 V16 (3 szt.),
  - ✧ silniki gazowe TCG 2032 (2 szt.).

Poniżej podano przykładowy skład mieszanki metanowo-powietrznej:

CH <sub>4</sub>	–	60,53%
O <sub>2</sub>	–	4,87%
N <sub>2</sub>	–	32,80%
CO <sub>2</sub>	–	1,80%

Spółka Energetyczna „Jastrzębie” S.A. została utworzona 01.11.1995 r. przez JSW S.A. (100% akcji) na bazie Elektrociepłowni „Moszczenica” i „zofiówka”, a po włączeniu spółki Elektro Energo Gaz Suszec Sp. z o.o. zrealizowała inwestycje zabudowy silników gazowych wykorzystujących metan z odmetanowania kopalń „Krupiński” i „Pniówek” [2, 5]. Silniki w kopalni „Krupiński” produkują w skojarzeniu energię elektryczną i ciepło w kopalni. „Pniówek” są jednostką napędową układu centralnej klimatyzacji produkując w trójgeneracji energię elektryczną, ciepło i „chłód” dla potrzeb tej kopalni. Aktualnie SEJ S.A. eksploatuje 5 silników w tym 2 w układzie centralnej klimatyzacji kopalni „Pniówek”.

## 1. Trójgeneracyjny układ energetyczny centralnej klimatyzacji

### KWK „Pniówek”

#### 1.1. Charakterystyka kopalni „Pniówek”

- ✧ obszar górniczy i zasoby – 28,5 km<sup>2</sup>, 125 mln Mg,
- ✧ wydobywanie netto – 14.500 Mg/dobę,
- ✧ poziomy wydobycze – 705 m, 830 m i w budowie 1000 m,
- ✧ miąższość pokładów – 1,2–3 m, nachylenie 5–10°,
- ✧ stopień geotermiczny – 28,3 m/°C.

Ze względu na konieczność zapewnienia wymaganych przepisami parametrów pracy w wyrobiskach dołowych, w których pracują ludzie, kopalnia przed realizacją klimatyzacji centralnej stosowała na dole urządzenia chłodnicze typu GUC-250 i DV 290. Jednak perspektywa oddania do użytku poziomu 1000 m i problemy ze „zrzutem” ciepła z chłodnic

były podstawą podjęcia decyzji o realizacji centralnej klimatyzacji o mocy znamionowej  $5 \text{ MW}_{\text{ch}}$  w oparciu o skojarzony układ energetyczno-chłodniczy. Duże ilości nadmiarowego metanu emitowanego do atmosfery zdecydowały o wyborze silnika gazowego jako jednostki napędowej.

## 1.2. Historia budowy i opis instalacji [4]

Decyzja o realizacji inwestycji „Centralna klimatyzacja kopalni „Pniówek” na bazie skojarzonego układu energetyczno-chłodniczego” została podjęta przez JSW S.A. w roku 1998 przy następującym podziale rzeczowym:

- ✧ Spółka Energetyczna „Jastrzębie” S.A. – część powierzchniowa tj. silniki gazowe, instalacje energetyczne, chłodziarki, rurociągi powierzchniowe,
- ✧ JSW S.A. kopalnia „Pniówek” – część dołowa tj. rurociągi w szybie, podajnik trójkomorowy SIEMAG na poz. 853 m, sieć dołowych rurociągów rozprowadzających chłodnicę.

Całość instalacji była realizowana przez szereg wykonawców, przy czym instalację silników gazowych i chłodziarek – po wygranym przetargu – wykonywała (podobnie jak w kop. „Krupiński”) niemiecka firma Saarberg Fernwärme GmbH. Harmonogram został zrealizowany w dwu etapach:

I etap – czerwiec 2000 r.

- ✧ pierwszy silnik gazowy TBG 632 V16 o mocy  $3,2 \text{ MW}_{\text{el}}$  i  $3,7 \text{ MW}_{\text{t}}$  oraz układ chłodniczy o mocy znamionowej  $5,0 \text{ MW}_{\text{ch}}$ ,

II etap – październik 2000 r.

- ✧ drugi silnik gazowy TBG 632 V16 o mocy analogicznej jak pierwszy.

Skojarzony układ energetyczno-chłodniczy (trójkogeneracyjny) w kopalni „Pniówek” składa się z dwu identycznych członów: silnik gazowy, chłodziarka absorpcyjna i chłodziarka sprężarkowa, o mocy chłodniczej znamionowej  $2,5 \text{ MW}_{\text{ch}}$  każdy.

Schemat układu energetyczno-chłodniczego przedstawia rysunek 1, a na rysunku 2 pokazano wykres Sankey’a tego układu.

### Silniki [2, 5]

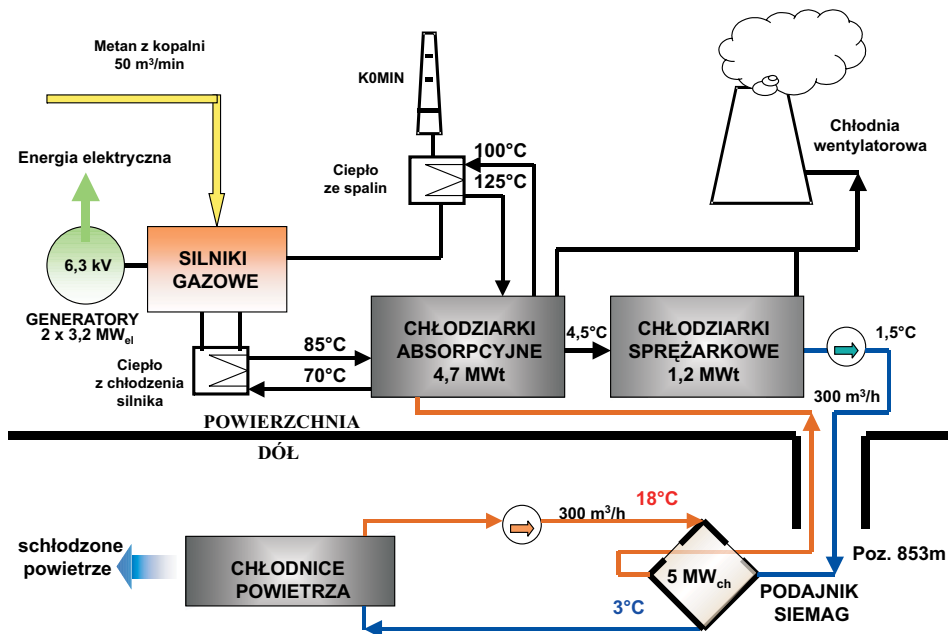
Paliwem dla silników gazowych – TBG 632 V16 – jest mieszanka powietrzno-metanowa z odmetanowania kopalni „Pniówek” o zawartości  $\text{CH}_4$  50–60%.

W celu zapewnienia niskiej emisji tlenków azotu i tlenków węgla, spalanie w cylindrach silnika odbywa się przy znacznym nadmiarze powietrza sięgającym wartości  $\lambda$  1,8–2,0, przy czym regulacja nadmiaru odbywa się osobno dla każdego cylindra przez utrzymywanie temperatury spalania w stosunkowo wąskim przedziale.

### Chłodziarki [2]

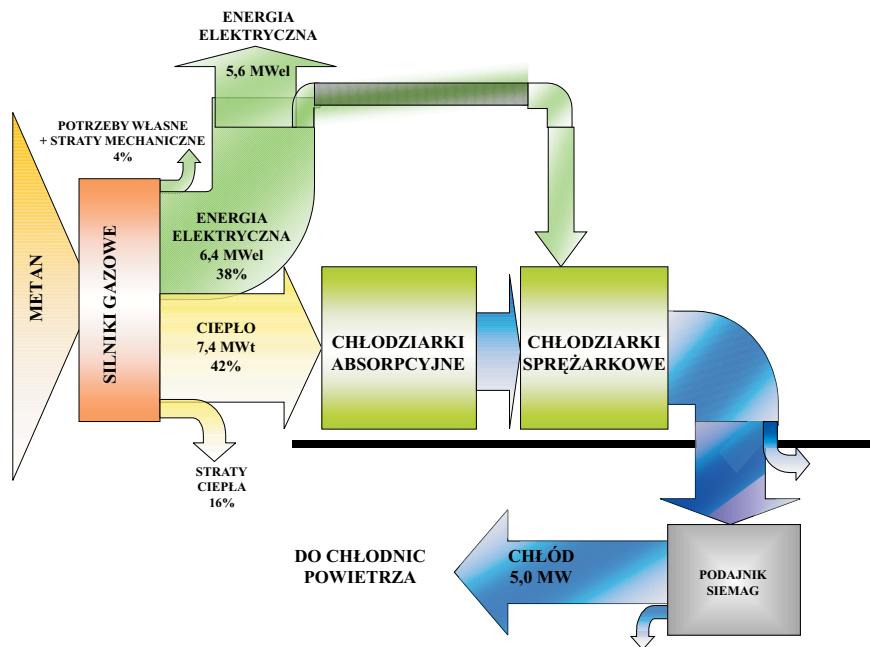
Silnik ma dwa poziomy odzysku ciepła:

- ✧ obieg ciepłowodny o nominalnym gradiencie  $86^\circ\text{C}/72^\circ\text{C}$  – dla odzysku ciepła z chłodzenia korpusu silnika, oleju i powietrza po turbodoładowaniu,
- ✧ obieg gorącowodny o nominalnym gradiencie  $125^\circ\text{C}/100^\circ\text{C}$  – dla odzysku ciepła ze spalin.



Rys. 1. Układ energetyczno-chłodniczy

Fig. 1. Energy cooling system



Rys. 2. Bilans energii

Fig. 2. Energy balance

Taki układ odzysku ciepła daje wskaźnik przetwarzania na energię cieplną na poziomie około 41% i sprawność ogólną na poziomie 80%. Ciepło odzyskane z silnika w pierwszej kolejności służy do napędu chłodziarek absorpcyjnych, a przy zmniejszonym zapotrzebowaniu (praca ze zmniejszoną mocą chłodniczą) jest kierowane do sieci ciepłowniczej kopalni.

Chłodziarki pracują połączone w szereg po stronie wody zimnej stanowiącej medium chłodnicze (300 m<sup>3</sup>/h).

Z każdym silnikiem współpracuje układ chłodniczy:

- ✧ chłodziarka absorpcyjna na obiegu ciepłowodnym o mocy chłodniczej 600 kW wykorzystująca ciepło z chłodzenia silnika (800 kW) schładzająca wodę z 18°C do 14,5°C,
- ✧ chłodziarka absorpcyjna na obiegu gorącowodnym o mocy chłodniczej 1730 kW wykorzystująca ciepło ze spalin (2449 kW) schładzająca wodę z 14,5°C do 4,5°C,
- ✧ chłodziarka sprężarkowa amoniakalna wykorzystująca część mocy generatora (570 kW) schładzająca wodę z 4,5°C do 1,5°C (2,0°C).

Zainstalowane moce chłodnicze dla jednego ciągu wynoszą 2,92 MW<sub>ch</sub> zapewniając odpowiednią nadwyżkę nad moc gwarantowaną 2,5 MW<sub>ch</sub>.

*Chłodziarki absorpcyjne* to chłodziarki bromolitowe (LiBr + H<sub>2</sub>O) gdzie absorbentem jest roztwór bromku litu a czynnikiem chłodniczym woda, która będąc pod niskim ciśnieniem osiąga w chłodziarce gorącowodnej temperaturę wrzenia na poziomie + 3,5°C. Producentem chłodziarek typu YIA HW 3B3 i YIA HW 6c4 jest firma YORK.

*Chłodziarki sprężarkowe* to chłodziarki amoniakalne w rozwiązaniu śrubowym, gdzie czynnikiem roboczym jest amoniak NH<sub>3</sub>, dlatego pracują w układzie zamkniętym w oddzielnych komorach z systemem wykrywania obecności amoniaku i wentylacji awaryjnej. Takie rozwiązanie zapewnia bezpieczeństwo obsłudze i pozwala wcześniej wykrywać i usuwać ewentualne nieszczelności.

#### **Dołowa instalacja chłodnicza [5]**

Woda chłodnicza o temperaturze 1,5–2°C i przepływie 300 m<sup>3</sup>/h rurociągami o średnicy  $\phi$  300 jest kierowana szybem na poziom 853 m do podajnika trójkomorowego SIEMAG DRK 200, gdzie następuje redukcja ciśnienia z 9,5 MPa do 2,0 MPa na obiegu dołowym, a woda zimna wypycha wodę ogrzaną o temperaturze około 18°C na powierzchnię w kierunku chłodziarek. Dla zapewnienia ciągłości przepływu wody chłodniczej w obiegu pierwotnym i wtórnym podajnik tworzą trzy komory rurowe, których cykle pracy są przesunięte w fazie o 120°. Strata ciepła na podajniku wynosi około 0,5°C, a jego praca jest nadzorowana przez system kontrolny, który alarmuje w przypadku wystąpienia nieprawidłowości. Z podajnika SIEMAG woda chłodząca płynie rurami preizolowanymi do chłodnic woda–powietrze w wyrobiskach eksploatacyjnych. Chłodnice te są na bieżąco przebudowywane w miarę postępu robót górniczych.

#### **Silnik nr 3 w układzie energetycznym EC „Pniówek”**

Inwestycja została zrealizowana przez SEJ S.A. w roku 2006.

##### *Kalendarium budowy*

14.11.2005 r. – uruchomienie procedury przetargowej (nierozstrzygnięty – brak ofert),

27.02.2006 r. – ponowna procedura przetargowa,

23.03.2006 r. – wybór Deutz Power System do realizacji inwestycji,

06.10.2006 r. – dostawa agregatu na miejsce budowy,  
 grudzień 2006 r. – uruchomienie agregatu.

*Dane techniczne silników pracujących w EEG zakład nr 3 EC „Pniówek”.*

Typ	TBG 632 V16	TCG 2032 V16
Ilość szt.	2	1
Moc w paliwie	7,66 MW	9,34 MW
Moc elektryczna	32 MW <sub>el</sub>	3,9 MW <sub>el</sub>
Obroty	1000 min <sup>-1</sup>	1000 min <sup>-1</sup>
Zużycie paliwa	780 m <sup>3</sup> /h	940 m <sup>3</sup> /h
Sprawność całkowita	80%	86,8%

### 1.3. Produkcja układu energetycznego w kopalni „Pniówek”

TABELA 1. Pokrycie potrzeb kopalni produkcją z układu skojarzonego

TABLE 1. Fullfilling mine's needs with cogeneration's product. "Pniówek" mine

Rok	2001		2002		2003		2004		2005		2006	
	ilość	udział w zużyciu kopalni [%]	ilość	udział w zużyciu kopalni [%]	Ilość	udział w zużyciu kopalni [%]	ilość	udział w zużyciu kopalni [%]	ilość	udział w zużyciu kopalni [%]	ilość	udział w zużyciu kopalni [%]
Energia elektryczna [MWh]	40 374	20,6	35 160	17,7	30 970	14,9	37 573	17,5	38 588	18,0	39 339	17,7
Ciepło [GJ]	42 957	24,1	23 434	14,1	18 540	10,7	30 726	21,3	41 100	27,0	30 791	21,0
Chłód [MWh]	138 305	92,0	105 408	89,2	106 860	91,3	108 240	90,6	89 535	89,8	92 437	90,4

## 2. Skojarzony układ energetyczny EC „Suszec” [3]

### 2.1. Historia budowy i opis instalacji

#### Silnik nr 1

Inwestycja została zrealizowana przez EEG Suszec Sp. z o.o. (aktualnie w strukturze SEJ S.A.) w roku 1997 w rekordowo krótkim terminie w ciągu 10 miesięcy (od podpisania kontraktu z Saarberg Fernwärme GmbH lutym 1997 r. do uruchomienia w grudniu 1997 r.). Agregat prądowórczy na bazie silnika gazowego TBG 632 V16 produkuje energię elektryczną i ciepło na potrzeby kopalni „Krupiński”, wykorzystując gaz z odmetanowania tej kopalni.

Kompletny zestaw prądotwórczy obejmuje silnik TBG 632 V16 firmy MWM Deutz i generator firmy Van Kaick umieszczone na wspólnej ramie stalowej. Układy odbioru ciepła z chłodzenia silnika i spalin wraz z chłodnicami awaryjnymi do zrzutu ciepła na zewnątrz, tłumik wraz z katalizatorem oraz układy regulacji i sterowania automatyki stanowią podstawowe elementy instalacji. Moc znamionowa agregatu początkowo wynosiła  $2,7 \text{ MW}_{el} + 3,1 \text{ MW}_t$ , jednak w roku 2003 po uzgodnieniach z producentem została podniesiona do  $3,0 \text{ MW}_{el} + 3,4 \text{ MW}_t$ .

Silnik TBG 632 V16 jest silnikiem czterosuwowym pracującym w układzie Otto na mieszance zubożonej, 16-cylindrowym wyposażonym w turboladowanie z dwustopniowym chłodzeniem mieszanki, z zapłonem iskrowym o pojemności skokowej silnika  $271,7 \text{ dm}^3$ .

Generator jest generatorem trójfazowym o mocy znamionowej 3405 KVA i czynnej 2713 kW obrotach  $1000 \text{ min}^{-1}$  i sprawności przy maksymalnym obciążeniu na poziomie 96,4 do 97%.

Sterowanie i kontrola pracy agregatu prądotwórczego odbywa się za pomocą w pełni zautomatyzowanego i zintegrowanego systemu zarządzania TEM firmy MWM Deutz. W przypadku zakłóceń i przekroczenia dopuszczalnych parametrów pracy system ten powoduje automatyczne wyłączenie silnika. W przypadku:

- ✧ ograniczenia dostawy gazu,
- ✧ spadku koncentracji metanu,
- ✧ wzrostu temperatur wody w obiegu chłodzenia,
- ✧ wzrostu temperatury zasysanego powietrza,

następuje automatyczna redukcja mocy proporcjonalna do poziomu zmian powyższych czynników do wysokości 75% mocy znamionowej, po przekroczeniu której następuje wyłączenie agregatu.

#### **Silnik nr 2 [5]**

Inwestycja została zrealizowana przez SEJ S.A. EEG Zakład nr 3, który eksploatuje pozostałe silniki gazowe w EC „Suszec” i EC „Pniówek”. Kalendarium budowy było następujące:

- ✧ 28.04.2004 r. – Rada Nadzorcza SEJ S.A. akceptuje plan zabudowy silnika nr 2,
- ✧ 05.07.2004 r. – Uchwała Zarządu SEJ S.A. o zabudowie agregatu nr 2,
- ✧ 25.10.2004 r. – zakończenie procedury przetargowej,
- ✧ 23.11.2004 r. – podpisanie umowy z SFW Energia Sp. z o.o. na realizację inwestycji „pod klucz” ( $3,9 \text{ MW}_{el} + 4,2 \text{ MW}_t$ ),
- ✧ 14.04.2005 r. – dostawa agregatu na miejsce budowy,
- ✧ 16.06.2005 r. – ruch próbny,
- ✧ 10.08.2005 r. – oddanie silnia gazowego nr 2 do eksploatacji.

Kompletny zestaw prądotwórczy obejmuje silnik TCG 2032 V16 firmy MWM Deutz i generator AvK DIG 150 umieszczone na wspólnej ramie stalowej. Silnik ten jest wersją silnika TBG 632 V16 o analogicznej budowie i następujących parametrach znamionowych:

moc elektryczna	– 3,9 MW
moc termiczna	– 4,2 MW
obroty	– $1000 \text{ min}^{-1}$

Jak widać powyżej, parametry te są wyższe w stosunku do osiągniętych przez silnik TBG 632 V16. Również osiągane sprawności są wyższe i wynoszą:

sprawność elektryczna – 41,9%

sprawność cieplna – 44,2%

sprawność całkowita – 86,1%

przy sprawności mechanicznej na poziomie 42,8%.

Ilość cylindrów i pojemność skokowa są takie same jak w wersji TBG 632 V16. Zużycie metanu w skali rocznej wynosi około 7,5 mln m<sup>3</sup>, co daje produkcję około 31 tys. MW<sub>el</sub> i 33 tys. MW<sub>t</sub>.

## 2.2. Produkcja układu energetycznego w kopalni „Krupiński”

TABELA 2. Pokrycie potrzeb kopalni produkcją z układu skojarzonego

TABLE 2. Fullfilling mine's needs with cogeneration's product. "Krupinski" mine

Rok	2001		2002		2003		2004		2005		2006	
	ilość	udział w zużyciu kopalni [%]	ilość	udział w zużyciu kopalni [%]	ilość	udział w zużyciu kopalni [%]	ilość	udział w zużyciu kopalni [%]	ilość	udział w zużyciu kopalni [%]	ilość	udział w zużyciu kopalni [%]
Energia elektryczna [MWh]	18 055	13,1	22 586	17,4	22 647	17,5	21 782	16,8	37 845	29,4	49 128	36,8
Ciepło [GJ]	31 877	21,4	41 510	36,5	31 121	28,4	31 731	30,0	50 252	46,4	67 686	65,3

## 3. Zużycie metanu w układach skojarzonych

### i ekonomiczne aspekty lokalnej produkcji energii elektrycznej

TABELA 3. Zużycie metanu CH<sub>4</sub> w latach 2002–2006 [tys. m<sup>3</sup>]

TABLE 3. Utilization of methane CH<sub>4</sub> in 2002–2006 [‘000 m<sup>3</sup>]

Silniki gazowe	2002	2003	2004	2005	2006
EC „Pniówek”	12 906,0	11 045,4	13 176,1	13 453,9	13 659,5
EC „Krupiński”	7 454,4	8 383,6	8 009,0	10 562,0	13 946,3
Razem	20 360,4	19 429,0	21 185,1	24 015,9	27 605,8
Udział silników gazowych w wykorzystaniu metanu [%]	30,0	25,8	23,9	27,4	31,2



Wpływ zakupu energii elektrycznej z układów skojarzonych na obniżenie jednostkowej ceny zakupu 1 MWh.

Obniżenie ceny zakupu 1 MWh ogółem o zł/MWh

Rok/miesiąc	KWK „Krupiński”	KWK „Pniówek”
2006		
VII	22	11
VIII	18	12
IX	15	14
X	18	15
XI	18	12
XII	21	14
2007		
I	14	15
II	7	18
III	15	20
IV	16	20
V	19	19
VI	18	20
VII	19	22

## Wnioski końcowe

1. Skojarzone układy energetyczne: kogeneracyjny w EC „Suszec” i trójkogeneracyjny w EC „Pniówek” cechuje wysoka sprawność ogólna (powyżej 80%) i wysoka efektywność ekonomiczna.

2. Praktyka potwierdziła słuszność decyzji realizacji inwestycji wykorzystujących metan z odmetanowania kopalń JSW S.A. w układzie kogeneracyjnym i trójgeneracyjnym (aktualnie pracuje 5 silników gazowych).

3. Produkcja z układów skojarzonych (energia elektryczna, ciepło, „chłód”) w znaczącym stopniu pokrywa potrzeby kopalń, obniżając jednostkowe ceny zakupu z zewnątrz tych mediów energetycznych.

4. Biorąc pod uwagę sprawność całkowitą układów skojarzonych, wykorzystanie taniego, miejscowego, odpadowego paliwa, jakim jest metan z odmetanowania kopalń, a także odbiór całej produkcji przez kopalnię w miejscu wytworzenia jest optymalnym rozwiązaniem z punktu widzenia technicznego i ekonomicznego.

5. Ocena eksploatacji tych układów wskazuje, że jest to najlepsze rozwiązanie dla wykorzystania metanu z odmetanowania kopalń – celowe do realizacji w nowych obiektach.

## Literatura

- [1] NAWRAT S., GATNAR K., 2000 — Recovery and industrial utilisation of coalbed methane in Jastrzebska Coal Company Mining area. Mat. II Międzynarodowej Konf. Zagospodarowania metanu. Nowosybirsk, Rosja.
- [2] GATNAR K., RZEPSKI H., 2002 — Silniki gazowe TBG 632 V16 pracujące w skojarzonym układzie energetyczno-chłodniczym centralnej klimatyzacji KWK „Pniówek”. Mat. II Konf. „Energetyka gazowa” (Politechnika Śląska), Szczyrk.
- [3] GATNAR K., TOR A., 2002 — Drainage and Economical Utilization of Methane from coal Seams in the Mining Field Jastrzebie Coal Company in Cogeneration Power System. Materiały IX Międzynarodowego Forum Energii “Energex 2002”, Kraków.
- [4] GATNAR K., TOR A., 2003 — Metan pokładów węgla jako paliwo w skojarzonych układach energetyczno-chłodniczych stanowiących element zaopatrzenia w energię zakładów JSW S.A. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Szczyrk.
- [5] GATNAR K., 2006 — Silniki gazowe pracujące w skojarzonych układach: energetycznym i energetyczno-chłodniczym Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A. VI Międzynarodowa Konf. Naukowa „Silniki gazowe 2006” Politechnika Częstochowska, Hucisko.

Kazimierz GATNAR

## Cogeneration power system utilizing methane from the mines of Jastrzębie coal company as an element of local energy market

### Abstract

The paper starts with information on JSW SA and SEJ SA. On the basis of completed trigeneration system (electricity, heat and cooling) in EC “Pniówek” and generation system (electricity and heat production) in EC “Suszec” the paper describes results obtained from using of methane from demethanization as a fuel for gas engines. The technical data of those systems and rate of coverage of coal mine energy demand by the cogeneration systems are also presented.

KEY WORDS: coalbed methane, cogeneration power system, local energy market