

Kazimierz Gatnar, Grzegorz Kuś
Jastrzębska Spółka Węglowa S.A., Jastrzębie Zdrój

KOGENERACYJNE ZESPOŁY PRĄDOTWÓRCZE Z SILNIKAMI GAZOWYMI NA GAZ Z ODMETANOWANIA – PRACA GENERATORÓW W UKŁADACH ELEKTROENERGETYCZNYCH KOPALŃ JASTRZĘBSKIEJ SPÓŁKI WĘGLOWEJ S.A.

COGENERATIVE GENERATOR SET WITH GAS ENGINE USING GAS FROM DEMETHANIZATION - OPERATION OF GENERATORS IN POWER SYSTEMS OF COAL MINES OF JSW S.A.

Abstract: The article presents basic information about Jastrzębska Spółka Węglowa S.A. (Jastrzębie Coal Mine Company) as well as investments connected with building up cogenerative generator sets with gas engines using gas from demethanization of coal mines. The detailed data of generator sets – with special attention to generators – that works in “Borynia”, “Budryk”, “Krupiński” and “Pniówek” coal mines as well as their location at medium voltage grid of the mines power systems were provided. Cooperation with medium voltage grid (active and passive energy), the amount and way of utilization of the produced electrical energy and the share in satisfying mines demand were discussed. The attempt was made to motive evaluate of generators work in regard of source of satisfying mines power demand, influence of power system on medium voltage grid work, supply station restoration as well as way of power removal from generator sets.

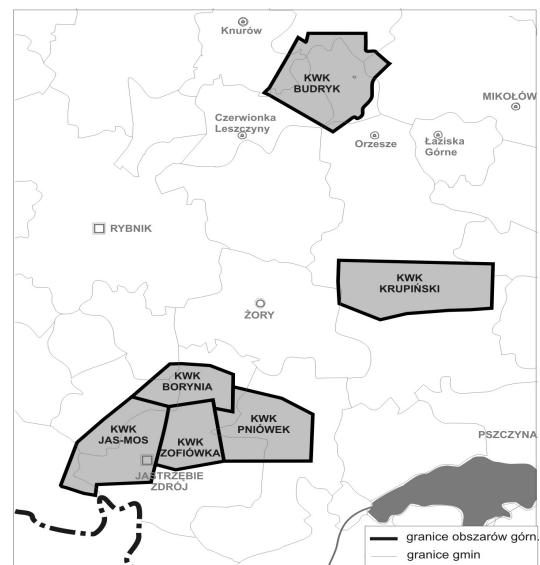
1. Ogólne informacje o JSW S.A

Jastrzębska Spółka Węglowa S.A. grupuje 6 czynnych kopalń: „Borynia”, „Budryk”, „Jas-Mos”, „Krupiński”, „Pniówek”, „Zofiówka” (rys. nr 1) o obszarze nadania górniczego wynoszącym 170 km² i produkcji węgla koksowego typu 35.1 i 35.2 na poziomie ok. 14 mln Mg rocznie. Eksploatowanemu złożu węgla towarzyszą znaczne ilości metanu, który jest w ok. 42 % ujmowany pod depresją centralnych powierzchniowych stacji odmetanowania w postaci mieszanek metanowo-powietrznych o koncentracjach 50 – 70 % CH₄ i przesyłany do odbiorców w SEJ S.A. (Spółka Energetyczna Jastrzębie) a w ok. 58 % usuwany z dołu kopalni na drodze wentylacyjnej. Ujęcie metanu odmetanowaniem wynosi ok. 133 mln m³ rocznie (w czystym, CH₄). Ujmowane mieszanki gazowo – powietrzne są nieczyszczone i nieosuszone, a stosowana technologia ujęcia powoduje znaczne wahania tak koncentracji CH₄ jak ciśnienia.

2. Ogólne informacje o SEJ S.A.

Spółka Energetyczna „Jastrzębie” S.A. została utworzona przez JSW S.A. 01.11.1995r. (100 % akcji JSW S.A.) na bazie Elektrociepłowni „Moszczenica” i „Zofiówka”, a po włączeniu Elektro Energo Gaz Suszec Sp. z o.o. zrealizowała inwestycje zabudowy silników gazowych

wykorzystujących metan z odmetanowania kopalń „Krupiński” i „Pniówek”.



Rys. 1. Obszary górnicze kopalń Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A.

Silniki w kop. „Krupiński” produkują w skojarzeniu energię elektryczną i ciepło a w kop. „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 kop. „Pniówek”. 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 „Pniówek”**
– kotły gazowe i WR
– silniki gazowe TBG 632 V16 (3 szt.),
– silniki gazowe TCG 2032 (2 szt.).

3. Informacja ogólna dotycząca metanu

W kopalniach JSW S.A. ze względu na zaleganie w nadkładzie ilastych osadów miocenu słabo przepuszczalnych, w stropie karbonu występuje licząca 150-200 m strefa wysokiej metanowości pokładów węgla przekraczająca $10 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Mgcsw}$ i dochodząca w kop. „Pniówek” do $35 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Mgcsw}$. Przy zejściu z eksploatacją na poziom 800 – 900 m osiągany jest w kopalniach drugi horyzont metanowy co skutkuje znacznym wzrostem ilości uwalnianego i ujmowanego gazu w trakcie prowadzenia robót górniczych. Przykładowy skład ujmowanych mieszanek (paliwo do silników gazowych) wynosi:

$$\begin{array}{ll} \text{CH}_4 - 60,53 & \text{O}_2 - 4,87 \\ \text{N}_2 - 32,80 & \text{CO}_2 - 1,80 \end{array}$$

Kopalnie Jastrzębskiej Spółki Węglowej należą do najbardziej metanowych w Polsce. Ilość metanu uwolnionego w 2009 r. wyniosła ok. $649 \text{ m}^3/\text{min}$ (341 mln/rok) z czego przez odmetanowanie ujęto 133 mln m^3 .

4. Kogeneracyjne i trójgeneracyjne układy energetyczne

4.1. Kogeneracyjny układ w EC „Suszec”

Inwestycja została zrealizowana przez EEG Suszec Sp. z o.o. (aktualnie w strukturze SEJ S.A.) w roku 1997 w rekordowo krótkim terminie bo od podpisania kontraktu z Saarberg Fernwärme GmbH w lutym 1997 r. do uruchomienia w grudniu tego roku, w ciągu 10 miesięcy. Agregat prądotwórczy na bazie silnika gazowego firmy MWM Deutz typu TBG 632 V16 produkuje energię elektryczną i ciepło na potrzeby kop. „Krupiński” na bazie gazu z odmetanowania tej kopalni. Kompletny zestaw prądotwórczy obejmuje silnik wraz z generatorem firmy Van Kaick na wspólnej ra-

mie stalowej, układy do odbioru ciepła z chłodzenia silnika i spalin wraz z chłodnicami awaryjnymi do zrzutu ciepła na zewnątrz, tłumik z katalizatorem oraz układy regulacji i automatyki. Silnik TBG 632 V16 / TCG 2032 V16 są silnikami czterosuwowymi pracującymi w układzie Otto na mieszance zubożonej, 16-cylindrowymi w układzie V, turbodoładowanymi z dwustopniowym chłodzeniem mieszanki, z zapłonem iskrowym. Pozytywne doświadczenia z eksploatacji pierwszego silnika oraz znaczny wzrost ujmowanego metanu w kop. „Krupiński” były przesłankami do podjęcia decyzji o zabudowie kolejnego silnika w EC „Suszec” w latach 2004 - 2005.

Parametry techniczne układu:

Silnik nr 1

Typ	TBG 632 V16
Moc	2,7 MW _{el} + 3,1 MW _t pierwotne 3,0 MW _{el} + 3,4 MM _t od 2003 r.
Obroty	1000 min ⁻¹
Sprawność ogółem	83 %

Silnik nr 2

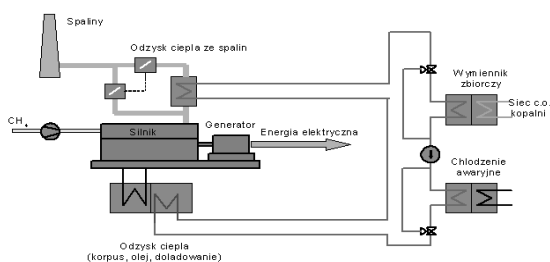
Typ	TCG 2032 V16
Moc	3,9 MW _{el} + 4,2 MW _t
Obroty	1000 min ⁻¹
Sprawność ogółem	87 %

Dane generatorów:

Typ	AVK DIG 150 k/6
Napięcie	6 300 V
Częstotliwość	50 Hz
Moc	3 406 kVA
Prąd	312 A
Sprawność (cos φ = 1)	98 %

Typ	AVK DIG 150 m/6
Napięcie	6 300 V
Częstotliwość	50 Hz
Moc	4950 kVA
Prąd	454 A
Sprawność (cos φ = 1):	98 %

Oba silniki pracujące w kop „Krupiński” w roku 2009 zużyły 13,6 mln m^3 metanu dając produkcję 47,6 tys MWh energii elektrycznej i 68,5 tys GJ ciepła. Układy te w znaczącym stopniu pokrywają zapotrzebowanie kopalni w media energetyczne.

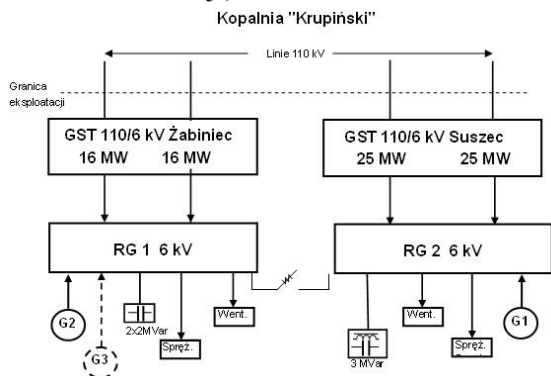


Rys. 2. Kogeneracyjny układ w EC „Suszec”

Tab. 1. Udział energii elektrycznej z generacji własnej w zużyciu kopalni „Krupiński”

Rok	Produkcja [MWh]	Udział [%]
2006	49.128	36,8
2007	45.635	33,0
2008	47.025	32,0
2009	47.614	33,9

Sposób włączenia generatorów do układu elektroenergetycznego kopalni przedstawiono na rys. nr 3 (zaznaczono również planowane włączenie generatora nr 3, którego inwestycja jest w trakcie realizacji).



Rys. 3. Sposób włączenia generatorów do układu elektroenergetycznego kopalni „Krupiński”

Generatory ściśle współpracują z układem automatycznej kompensacji mocy biernej wykorzystującym do kompensacji:

- pracujące maszyny synchroniczne (łączna moc zainstalowana 15 MW),
- dwie baterie kondensatorów (4 MVar),
- filtr wyższych harmonicznych (3 MVar),

Taki sposób współpracy generatorów z siecią elektroenergetyczną powoduje znaczne oszczędności związane z opłatami za ponadnormalny pobór mocy biernej na transformatorach w GST. Dostosowanie wielkości produkcji mocy biernej generatora ($tg\phi$) do potrzeb kompensacji mocy biernej w układzie średnio-

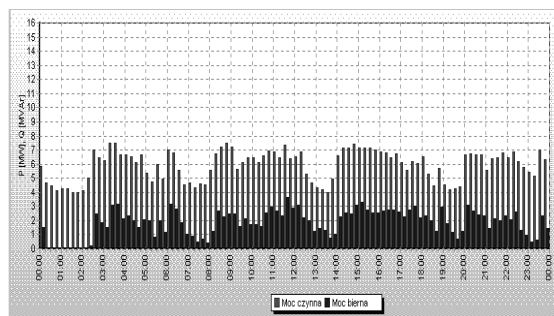
dobowym przedstawia przykładowo poniższa tabela.

Tab. 2. Generator w kompensacji mocy biernej

RAPORT MIESIĘCZNY
dla grupy : EEG 1
za miesiąc : 2009/12

Dzień mies.	Taryfa 1		Taryfa 2		Taryfa 3		Taryfa 4		Całodobowo	
	Energia [kWh]	Tg fi	Energia [kWh]	Tg fi	Energia [kWh]	Tg fi	Energia [kWh]	Tg fi	Energia [kWh]	Tg fi
31	17982.75	0.48	15052.75	0.18	39010.75	0.36	0.00	0.00	72046.25	0.35
30	16522.75	0.48	14960.00	0.48	37943.75	0.48	0.00	0.00	69426.50	0.48
29	17962.25	0.46	14773.75	0.47	37421.50	0.47	0.00	0.00	70167.50	0.47
28	16976.50	0.47	7840.75	0.47	32579.00	0.29	0.00	0.00	57398.25	0.37
27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	57273.00	0.19	57273.00	0.19
26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	61385.00	0.18	61385.00	0.18
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	70061.50	0.18	70061.50	0.18
24	17972.50	0.48	15054.75	0.18	39002.75	0.34	0.00	0.00	72030.00	0.34
23	17976.25	0.47	14770.00	0.47	37545.00	0.47	0.00	0.00	70291.25	0.47
22	17891.75	0.47	14816.00	0.47	38524.75	0.47	0.00	0.00	71232.50	0.47
21	17408.75	0.42	14777.75	0.47	38944.50	0.32	0.00	0.00	71131.00	0.37

Na rysunku nr 4 przedstawiono przykładowo dobowy wykres mocy czynnej i biernej trafo. nr 3 przy współpracy z silnikiem gazowym nr 1 i włączonym układem kompensacji.



Rys. 4. Wykres mocy czynnej dla TR nr 3 (11.02.2010r.)

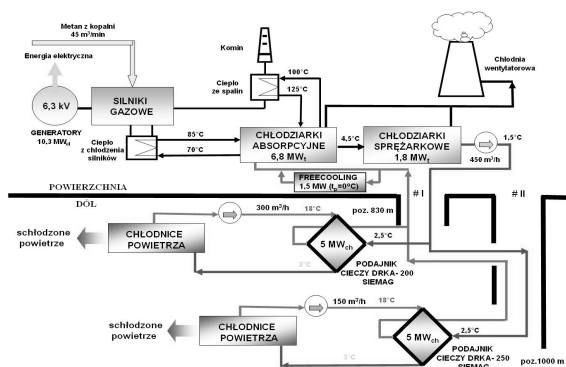
4.2. Trójgeneracyjny układ energetyczno chłodniczy w KWK „Pniówek”

W kop. „Pniówek” zrealizowano trójgeneracyjny układ energetyczny składający się z dwóch członów. W skład każdego wchodzi: silnik gazowy o mocy 3,2 MW_{el}, chłodziarka absorpcyjna i chłodziarka sprężarkowa osiągająca moc 2,5 MW_{ch}. W roku 2006 uruchomiono trzeci silnik o mocy 3,9 MW_{el}, natomiast w 2011 r. planuje się zrealizować budowę kolejnego silnika z generatorem o mocy ok. 4 MW_{el} (G 4 na rys. 6). Wszystkie agregaty wyposażone są w generatory synchroniczne samowzbudne o napięciu wyjściowym 6 kV z regulacją cosφ od 0,8 poj. do 08 ind.

Parametry techniczne układu:

Silnik nr 1 i 2

Typ	TBG 632 V16
Moc	3,2 MW _{el} + 3,7 MW _t
Obroty	1000 min ⁻¹
Sprawność całkowita	83 %



Rys.5. Trójgeneracyjny układ w kop., „Pniówek”

Silnik nr 3

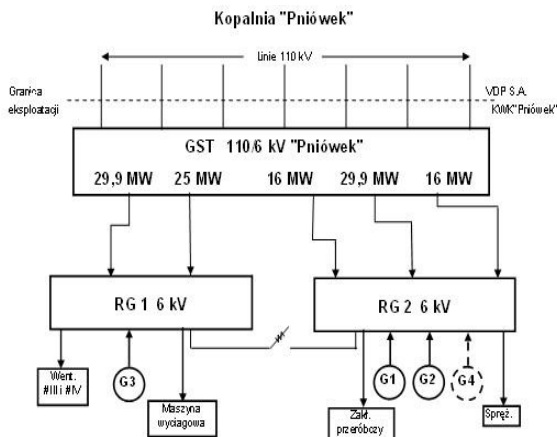
Typ TCG 2032 V16
 Moc 3,9 MW_{el} + 4,3 MW_t
 Obroty 1000 min⁻¹
 Sprawność całkowita 87 %

Dane generatorów:

Typ AVK DIG 150 k/6
 Napięcie 6 300 V
 Częstotliwość 50 Hz
 Moc 3 406 kVA
 Prąd 312 A
 Sprawność (cos φ = 1) 98 %

Typ AVK DIG 150 m/6
 Napięcie 6 300 V
 Częstotliwość 50 Hz
 Moc 4950 kVA
 Prąd 454 A
 Sprawność (cos φ = 1) 98 %

Sposób włączenia generatorów do układu elektroenergetycznego kopalni przedstawiono na rys. nr 6. (zaznaczono również planowane włączenie generatora nr 4, który jest przewidziany do realizacji).



Rys. 6. Sposób włączenia generatorów do układu elektroenergetycznego

Stacja 110/6 kV „Pniówek” posiada dwa systemy szyn zbiorczych, system I sekcjonowany na sekcję A i B oraz system II niesekcjonowany. Posiada również sprzęgło podłużno-poprzeczne, które umożliwia jej pracę w różnych konfiguracjach. Silniki pracujące w kop „Pniówek” w roku 2009 zużyły 22,6 mln m³ metanu dając produkcję 63,7 tys MWh energii elektrycznej i 57,0 tys GJ ciepła. Układy te w znaczącym stopniu pokrywają zapotrzebowanie kopalni w media energetyczne.

Tab. 3. Udział energii elektrycznej z generacji własnej w zużyciu kopalni „Pniówek”

Rok	Produkcja [MWh]	Udział [%]
2006	39.339	17,7
2007	66.482	29,0
2008	57.792	27,0
2009	63.727	31,0

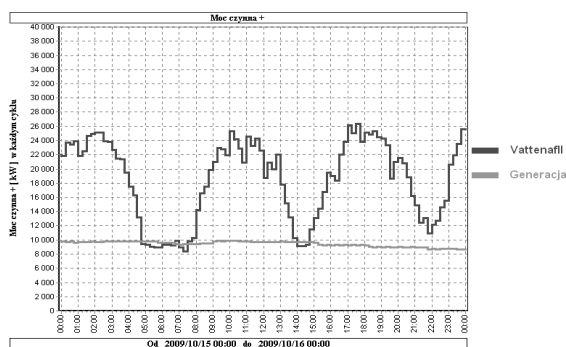


Rys. 7. Generator f-my Van Kaik



Rys. 8. Tabliczka znamionowa generatora

Na rysunku nr 9 przedstawiono generację i pobór mocy przez kopalnię „Pniówek” z sieci zewnętrznej (Vattenfall).



Rys. 9. Pobór mocy przez kopalnię „Pniówek”

4.3. Kogeneracyjny układ energetyczny w KWK „Borynia”

Bazując na pozytywnych doświadczeniach uzyskanych w latach 1997 – 2006 w trakcie realizacji układów kogeneracyjnego i trójgeneracyjnego w kopalniach „Krupiński” i „Pniówek” przez Spółkę Energetyczną „Jastrzębie”, Jastrzębska Spółka Węglowa podjęła decyzję o zabudowie agregatu prądowórczego o mocy 1,8 MW_{el} w kop. „Borynia”. Moc agregatu zdeteterminowała ilość dostępnego gazu z odmetanowania kopalni. Inwestycja została zrealizowana w roku 2008.

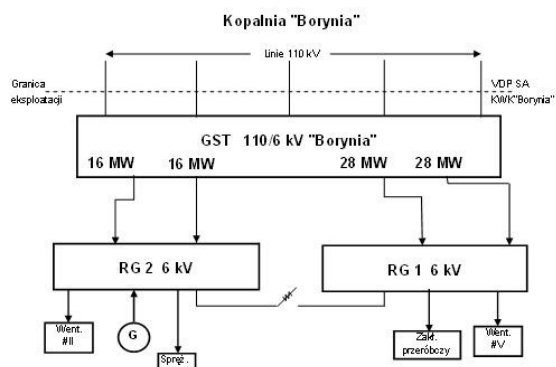
Parametry techniczne układu:

Silnik

Typ JMS 612 GS-S.LC
 Moc 1,8 MW_{el} + 1,86 MW_t
 Obroty 1500 min⁻¹
 Sprawność całkowita: 87 %

Dane generatorów:

Typ AVK DIG 130 i/4
 Napięcie 6 300 V
 Częstotliwość 50 Hz
 Moc 2 600 kVA
 Prąd 238 A
 Sprawność (cos φ = 1) 97 %



Rys. 10. Sposób włączenia generatorów do układu elektroenergetycznego

Sposób włączenia generatora do układu elektroenergetycznego kopalni „Borynia” przedstawia rys nr 10.

Kopalnia „Borynia” posiada główną stację 110/6kV zasilaną pięcioma liniami 110 kV wyposażoną w dwa systemy szyn zbiorczych, przy czym jeden system jest sekcjonowany, natomiast drugi niesekcjonowany. Stacja posiada sprzęgło podłużno-poprzeczne, które umożliwia pracę w różnych konfiguracjach. Agregat gazowy włączony jest do układu energetycznego kopalni po stronie rozdzielni 6 kV. Dwie rozdzielnie 6kV (RG1 i RG2) zasilają wszystkie odbiory kopalni (dół, maszyny wyciągowe, wentylatory głównego przewietrzania, sprężarki powietrza, itp.). Do kompensacji mocy biernej wykorzystane są silniki synchroniczne (napęd sprężarek powietrza i wentylatorów głównego przewietrzania) o mocy zainstalowanej 14 MW (w ruchu ok. 6 MW) oraz agregat gazowy, który pracuje w ruchu ciągłym.

Tab. 4. Udział energii elektrycznej z generacji własnej w zużyciu kopalni

Rok	Produkcja [MWh]	Udział [%]
2008	6.376	4,0
2009	8.221	5,6

Wpływ generatora na kompensację mocy biernej ze względu na małą moc generatora w stosunku do poboru mocy przez kopalnię z sieci zewnętrznej, jest niewielki w związku z czym nie przedstawiono danych liczbowych w tym zakresie.

4.4. Kogeneracyjny układ energetyczny w KWK „Budryk”

Inwestycja została zrealizowana przez ZPC Żory Sp. z o.o. w roku 2003 i zasilą układ elektroenergetyczny kop. „Budryk”.

Parametry techniczne układu:

Silnik nr 1, 2, 3

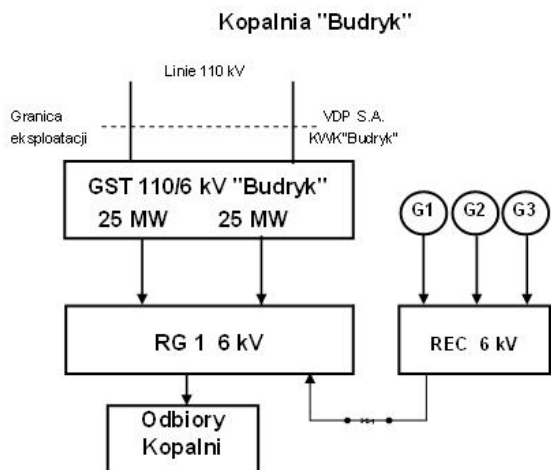
Typ TBG 620 V20K
 Moc 1,66 MW_{el} (1,8) + 3,7 MW_t
 Obroty 1000 min⁻¹
 Sprawność całkowita 84 %

Dane generatorów:

Typ AVK DIG 130 i/4
 Napięcie 6 300 V
 Częstotliwość 50 Hz
 Moc 2 067 kVA

Prąd 190 A
Sprawność ($\cos \varphi = 1$) 98 %

Sposób włączenia generatorów do układu elektroenergetycznego kopalni przedstawia rys. nr 11.



Rys. 11. Sposób włączenia generatorów do układu elektroenergetycznego

Zasilanie zakładu głównego w energię elektryczną jest realizowane z dwóch linii 110 kV, przez GST 110kV „Budryk” pracującą w układzie H4, gdzie następuje transformacja na napięcie 6kV. Główna rozdzielnia 6 kV RG 1 zasilają odbiory kopalni na terenie zakładu głównego. Na rysunku 11 pokazano sposób włączenia generatorów do kopalnianego układu elektroenergetycznego przez rozdzielnię REC 6 kV. Jest to układ nieco inny niż w kopalniach Krupiński i Pniówek. W tym przypadku wykonano dodatkową rozdzielnię, do której włączono trzy agregaty (z własnymi urządzeniami synchronizującymi) i jedną linią wprowadzono moc do rozdzielni RG 1. Całość energii produkowanej przez agregaty jest zużywana na potrzeby kopalni. Silniki pracujące w kop. „Budryk” w roku 2009 zużyły 9,1 mln m³ metanu dając produkcję 33,9 tys MWh energii elektrycznej i 82,5 tys GJ ciepła, w znaczącym stopniu pokrywając zapotrzebowanie kopalni w media energetyczne.

Tab. 5. Udział energii elektrycznej z generacji własnej w zużyciu kopalni „Budryk”

Rok	Produkcja [MWh]	Udział [%]
2006	28.519	20,4
2007	29.483	21,2
2008	28.303	20,2
2009	33.908	23,8

Podsumowanie

1. Produkcja z zespołów prądowórczych wykorzystujących miejscowe tanie paliwo jakim jest metan z odmetanowania kopalń, w skojarzonych układach energetycznych w znaczącym stopniu pokrywa potrzeby kopalń. Jako energia tańsza obniża koszt zakupu z zewnątrz.
2. Aktualna wielkość mocy zainstalowanej w generatorach wynosząca 24 MW stanowi znaczącą wielkość w stosunku do mocy zamówionej z sieci spółki dystrybucyjnej (VDP) wynoszącej 81 MW.
3. Oprócz efektów z tytułu produkcji tańszej energii czynnej generatory mają znaczący udział w poprawie bilansu energii biernej, co przynosi wymierne korzyści ekonomiczne obniżenia opłat za ponadnormatywny pobór mocy biernej.
4. Kogeneracyjne zespoły prądowórcze (wykorzystujące gaz z odmetanowania kopalń) nie mogą stanowić jednak źródeł zasilania awaryjnego zakładów górniczych, ponieważ w przypadku całkowitego zaniku zasilania w GST z sieci zewnętrznej nastąpi postój stacji odmetanowania, a co za tym idzie odcięcie dostawy paliwa do agregatów. Całkowity zanik zasilania uniemożliwia dodatkowo uruchomienie urządzeń pomocniczych niezbędnych do uruchomienia agregatu.
5. Generatory zastosowane w układach kogeneracyjnych pracujących w JSW S.A. cechuje bardzo wysoka pewność ruchowa i w okresie eksploatacji od 1997 r. tj. przez 13 lat nie wystąpiły żadne zdarzenia związane z ich poprawną pracą.
6. Generatory typu AVK DIG cechuje duża elastyczność w zakresie regulacji tg φ , wysoka sprawność przy $\cos \varphi = 1$ a także pewna i bezawaryjna współpraca z układami synchronizacji, co ma zdecydowany wpływ na prawidłową pracę układów elektroenergetycznych kopalń zasilających odbiory po stronie 6 kV.
7. Generacja w układach wykorzystujących metan z odmetanowania kopalń ma istotne znaczenie dla:
 - poprawy bezpieczeństwa prowadzenie robót górniczych w kopalniach,
 - uzyskania znaczących efektów ekonomicznych,
 - ograniczenia skutków ekologicznych związanych z emisją metanu do atmosfery.

Literatura

- [1]. *Dokumentacje Techniczne kogeneracyjnych agregatów prądotwórczych zabudowanych w zakładach JSW S.A.*
- [2]. K.Gatnar, A.Tor: *Metan pokładów węgla jako paliwo w skojarzonych układach energetyczno-chłodniczych stanowiących element zaopatrzenia w energię zakładów JSW S.A.*, Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Szczyrk 2003.
- [3]. K.Gatnar: *Silniki gazowe pracujące w skojarzonych układach: energetycznym i energetyczno-chłodniczym Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A.*, VI Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Silniki gazowe 2006” Politechnika Częstochowska, Hucisko 2006.
- [4]. A. Dużyński: *Analiza rzeczywistych parametrów techniczno-eksploatacyjnych gazowych zespołów kogeneracyjnych.* Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej 2008.