

Stanisław Nawrat, Zbigniew Kuczera*, Rafał Łuczak*, Piotr Życzkowski**

PROBLEMY ZAPEWNIENIA STABILNYCH PARAMETRÓW PALIWA Z ODMETANOWANIA KOPALŃ STOSOWANEGO DO SILNIKÓW GAZOWYCH**

1. Wprowadzenie

Gazy odmetanowania pokładów węgla kamiennego są niskometanowym paliwem, które mogą być wykorzystywane w różnego rodzaju instalacjach ciepłowniczo-energetycznych, np. w kotłach z palnikami gazowymi, silnikach i turbinach gazowych.

Gaz z odmetanowania kopalń jest wykorzystywany w kraju jako paliwo w wielu instalacjach energetycznych, np. w Jastrzębskiej Spółce Węglowej SA, jednak globalny wskaźnik gospodarczego wykorzystania metanu ujętego odmetanowaniem z pokładów węgla polskich kopalń jest niski i wynosił w 2004 r. tylko 53%.

Poważnym problemem utrudniającym prawidłową eksploatację urządzeń spalających gaz z odmetanowania kopalń jest zapewnienie dużej stabilności jego parametrów ilościowych i jakościowych w czasie.

Destabilizacja parametrów ilościowo-jakościowych gazu z odmetanowania powoduje przerwy w pracy i awarie instalacji ciepłowniczo-energetycznych zagrażające często bezpieczeństwu ich pracy oraz przynosi straty ekonomiczne.

W 2003 r. Zakład Produkcji Ciepła ZPC „Żory” Sp. z o.o. uruchomił instalację ciepłowniczo-energetyczną spalającą gazy z odmetanowania KWK „Budryk”. Z powierzchniowej stacji odmetanowania gazy — mieszaniny metanowo-powietrzne — są przesyłane rurociągiem do elektrociepłowni, gdzie spalane są w trzech silnikach gazowych TBG 620V 20K (producent firma Deutz AG), które napędzają trzy generatory AVK DIG 130 o mocy 1666 kW

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

** Wykonano w ramach pracy statutowej AGH nr 11.11.100.851

każdy. Elektrociepłownia przy pełnym obciążeniu posiada moc elektryczną wynoszącą 4998 kW i ciepłą 5271 kW [4].

Parametry gazu z odmetanowania kopalni cechują się okresową niestabilnością ilościową i jakościową. Przeprowadzone badania są próbą określenia przyczyn i możliwości technologicznych zapewnienia stabilnych parametrów ilościowo-jakościowych gazów z odmetanowania kopalni stosowanego silnikach gazowych.

2. Gazy z odmetanowania — paliwo niskometanowe

Ujmowane w procesie odmetanowania mieszaniny gazowe składają się głównie z gazów wchodzących w skład powietrza atmosferycznego i metanu (w wielu przypadkach występują inne gazy jak np. tlenek węgla). Mieszaniny takie charakteryzują się zmienną w czasie zawartością CH_4 (na stacji odmetanowania średnio od 30 do 70%).

Przepisy górnicze określają minimalną zawartość metanu w gazie dopływającym do stacji odmetanowania, która powinna wynosić co najmniej 30%, a w przypadku wystąpienia niższej zawartości metanu powinno nastąpić wyłączenie z pracy stacji.

Wydatek strumienia gazów z odmetanowania cechuje się także zmiennością w czasie i jest uzależniony od metanowości eksploatowanych pokładów w kopalni.

Zmienności parametrów jakościowych i ilościowych gazów z odmetanowania mogą być przyczynami awaryjnych zatrzymań urządzeń ciepłowniczo-energetycznych.

2.1. Paliwo niskometanowe z odmetanowania

Silniki gazowe zużywające gaz z odmetanowania kopalń wymagają paliwa o odpowiednio wysokiej koncentracji metanu spełniającego kryteria mieszanek stechiometrycznych.

O przydatności paliwa decyduje wiele jego własności, z których zasadnicze znaczenie mają [7, 9]:

- wysoka wartość opałowa;
- wysoka odporność na spalanie detonacyjne, tzw. stukowe;
- odpowiednia prędkość spalania mieszaniny metanowo-powietrznej.

W układach energetyczno-ciepłowniczych opartych na tłokowych silnikach spalinowych wymagana jest zwykle mieszanina stechiometryczna o zawartości metanu powyżej 45% objętościowo [8].

Porównując parametry gazu ziemnego wysokometanowego z gazem pochodzącym z odmetanowania kopalń, stwierdza się, iż wartość opałowa mieszaniny gazowej z odmetanowania jest dwa razy mniejsza od wartości opałowej gazu typu GZ-50 i porównywalna z gazem ziemnym zaazotowanym.

Na poprawność procesu spalania wpływa także prędkość spalania mieszanki w silniku gazowym. Odpowiednia prędkość spalania ogranicza możliwość wystąpienia spalania deto-

nacyjnego. Minimalna prędkość spalania w przypadku gazowych silników tłokowych wynosi 0,008 m/s, co zapewnia stabilną pracę takiego silnika [6].

W zależności od metanowości złoża pokładów węgla kamiennego oraz technologii eksploatacji, wentylacji i odmetanowania, ujmowane gazy zawierają więcej lub mniej składników palnych, inertnych, jak również zróżnicowana jest zawartość pary wodnej.

W tabeli 1 przedstawiono skład i charakterystykę energetyczną gazów z odmetanowania z kopalni Jastrzębskiej Spółki Węglowej SA [2].

TABELA 1

Skład i charakterystyka energetyczna gazów z odmetanowania z kopalni JSW SA [2]

Parametr	Wartość	Jednostka
Udział CH ₄	50,89	%
Udział C ₂ H ₆	0,0	%
Udział C ₂ H ₄	0,0	%
Udział N ₂	40,39	%
Udział CO	0,0008	%
Udział CO ₂	1,37	%
Udział O ₂	7,35	%
Udział H ₂	0,0	%
Wartość opałowa	18,1	MJ/m ³
Gęstość w warunkach normalnych	1,002	kg/m ³
Masa cząsteczkowa	22,41	kg/kmol
Liczba Wobbego	20,56	MJ/m ³
Udział H ₂ S, NO _x , siarki organicznej	0,0	%
Zawartość cząstek stałych	1÷2	mg/m ³

2.2. Paliwo niskometanowe z KWK „Budryk”

Prowadzenie eksploatacji silnie metanowych pokładów węgla w KWK „Budryk” wymaga stosowania systemu odmetanowania wyrobisk górniczych. Ujmowane odmetanowaniem KWK „Budryk” gazy są mieszaninami metanowo-powietrznymi o wartości opałowej wynoszącej 4,8573 kWh/m³, co stanowi 17,486 MJ/m³.

Skład chemiczny mieszaniny gazów z odmetanowania przedstawia tabela 2 [3].

TABELA 2

Skład chemiczny mieszaniny metanowo-powietrznej z odmetanowania KWK „Budryk” [3]

Parametr	Wartość %	Ujęcie gazu m ³ /min
CH ₄	50,00	78,6
O ₂	7,80	
CO ₂	3,75	
CO	0,005	
N ₂	38,44	

Średnia zawartość metanu w ujmowanych gazach wynosi 50%, co pozwala na wykorzystanie takiej mieszaniny jako paliwa w silnikach gazowych.

3. Wymagania jakościowo-ilościowe wobec mieszaniny metanowo-powietrznej z odmetanowania KWK „Budryk” stosowanej do silników gazowych

Gazy ujmowane w procesie odmetanowania pokładów węgla KWK „Budryk” są przesyłane z ujęć podziemnych rurociągami do stacji odmetanowania, a stamtąd bezpośrednio do elektrociepłowni, w której mogą być spalane w trzech silnikach gazowych. Nominalne zapotrzebowanie na paliwo każdego z nich wynosi od 7÷9 m³/min mieszaniny metanowo-powietrznej o zawartości metanu około 50% objętościowo. W związku z tym dla zapewnienia ciągłości pracy układu trzech silników gazowych konieczne jest utrzymanie wydatku strumienia gazów na poziomie od 20 do 30 m³/min. Z tabeli 2 wynika, że wydatek strumienia gazów z odmetanowania przewyższa potrzeby elektrociepłowni. Jednakże często występują okresy, kiedy następuje obniżenie strumienia ujmowanych gazów z odmetanowania (eksploatacja ścian o niskiej metanowości) i niemożliwa jest jednoczesna praca trzech, a niekiedy nawet dwóch silników gazowych.

Tabela 3 przedstawia wymagane parametry paliwa, jakie muszą być zachowane, by można mówić o prawidłowej pracy silnika gazowego.

TABELA 3

Wymagane parametry paliwa stosowanego w silniku gazowym typu TBG 620V 20K w ZPC „Żory” [4]

Wydatek strumienia gazów m ³ /min	Zawartość CH ₄ %	Ciśnienie mbar
7	40	0,2

4. Stabilność pracy skojarzonego układu ciepłowniczo-energetycznego w ZPC „Żory” sp. z o.o.

Odpowiednie parametry fizykochemiczne mieszaniny gazowej, mają zasadniczy wpływ na prawidłową pracę silników gazowych.

Podstawowymi przyczynami zatrzymania silników gazowych przez układy zabezpieczeń prawidłowej pracy są:

- niższa niż graniczna zawartość metanu,
- skokowa zmiana zawartości metanu w mieszaninie gazów.

W zależności od konstrukcji silników tłokowych wysokość temperatury detonacyjnego spalania oscyluje wokół 450°C (np. silniki Deutz AG). Po przekroczeniu granicznej temperatury spalania, wskutek nadmiaru bądź niedoboru metanu następuje wyłączenie silnika.

Występujące przerwy w pracy w elektrociepłowni układu energetycznego można podzielić na dwie grupy:

- 1) planowane;
- 2) awaryjne z przyczyn:
 - niestabilności ilościowo-jakościowej paliwa,
 - mechaniczno-energetycznych.

Przyczyny zatrzymań i czas postoju silników S1, S2 i S3 w elektrociepłowni ZPC „Żory” przy KWK „Budryk” w okresie od 1.01.2004 r. do 30.11.2005 r. przedstawia tabela 4.

Łączna liczba postojów dla trzech silników pracujących w elektrociepłowni w rozpatrywanym okresie wyniosła 1718.

Na tę liczbę postojów mają wpływ dwie główne przyczyny:

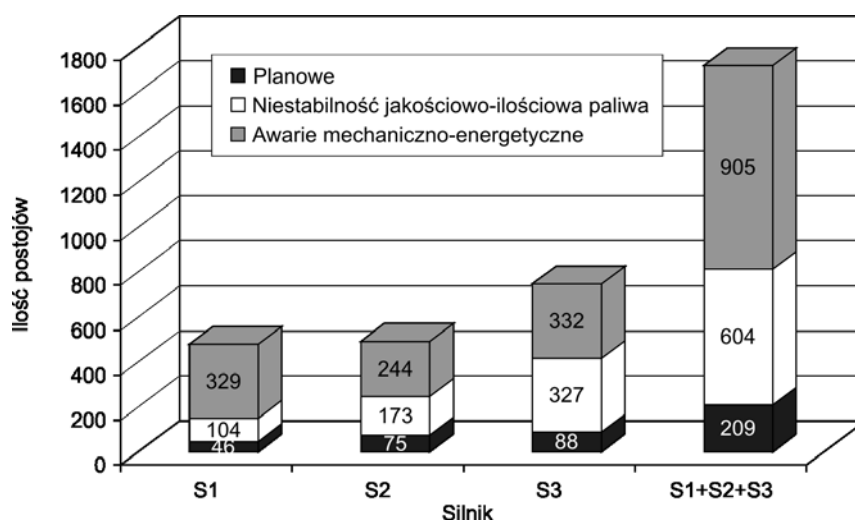
- 1) postoje planowe,
- 2) postoje awaryjne.

Przerwy w pracy silników z przyczyn awaryjnych wynikają z niestabilności ilościowo-jakościowej paliwa oraz z awarii mechaniczno-energetycznych. W opisywanym okresie z powodu niewłaściwych parametrów mieszaniny metanowo-powietrznej nastąpiło 604 przypadków zatrzymania pracy silników, co przedstawia rysunek 1.

TABELA 4

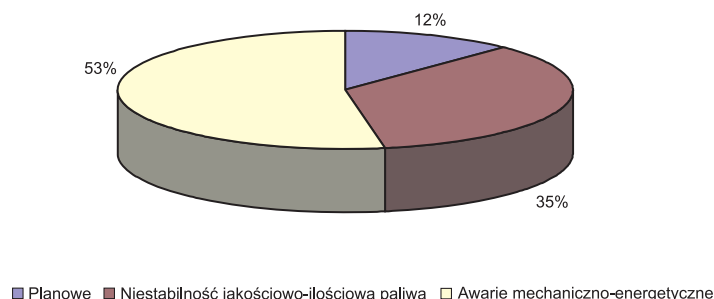
Przyczyny zatrzymań i czas postoju silników [4]

Silnik	Wyszczególnienie	Czas h:min	Średni czas postoiu h:min	Liczba postojów –
S1	Czas postoju ogółem, w tym:	6760:33	14:06	479
	1) planowe	122:34	02:39	46
	2) awaryjne z przyczyn:	6637:59	15:19	433
	– niestabilności ilościowo-jakościowej paliwa	1 153:33	11:05	104
	– mechaniczno-energetycznych	5484:26	16:40	329
	Czas pracy silnika ogółem	10 017:37	–	–
S2	Czas postoju ogółem, w tym:	2196:36	04:27	492
	1) planowe	205:23	02:44	75
	2) awaryjne z przyczyn:	1991:13	04:46	417
	– niestabilności ilościowo-jakościowej paliwa	567:43	03:16	173
	– mechaniczno-energetycznych	1423:30	05:50	244
	Czas pracy silnika ogółem	14 602:39	–	–
S3	Czas postoju ogółem, w tym:	2605:26	03:29	747
	1) planowe	479:28	05:26	88
	2) awaryjne z przyczyn:	2125:58	03:13	659
	– niestabilności ilościowo-jakościowej paliwa	452:17	01:22	327
	– mechaniczno-energetycznych	1673:41	05:02	332
	Czas pracy silnika ogółem	14 193:17	–	–



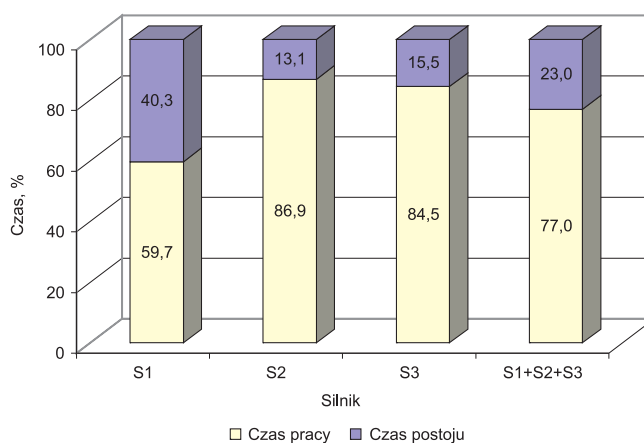
Rys. 1. Przyczyny zatrzymań silników gazowych w okresie styczeń 2004 — listopad 2005

Udziały procentowe przyczyn zatrzymań silników gazowych ZPC „Żory” przedstawia rysunek 2.



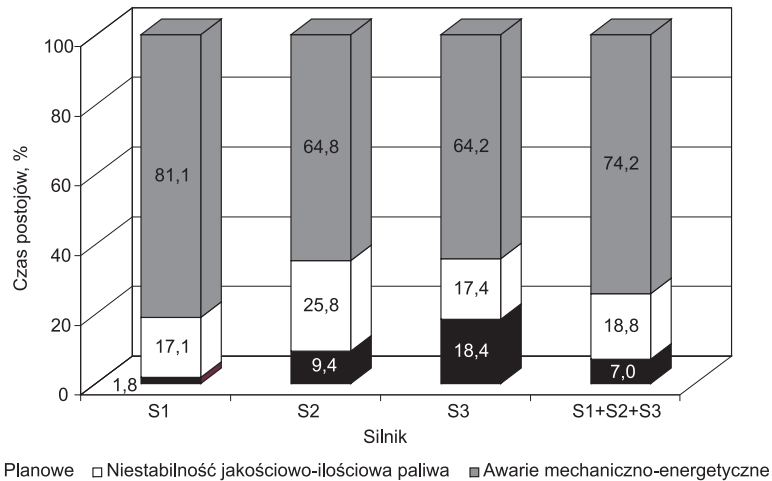
Rys. 2. Udziały procentowe zatrzymań silników gazowych w zależności od przyczyny postojów w okresie styczeń 2004 — listopad 2005

Na długość czasu postojów silników wpływa czas potrzebny na usunięcie przyczyn zadziałania zabezpieczeń silników, które spowodowały jego zatrzymanie oraz czas niezbędny na naprawy ewentualnych awarii i w związku z tym okresy postojów są bardzo zróżnicowane (tab. 4). W rozpatrywanym okresie czas pracy trzech silników wyniósł 38 813 h 33 min, a czas postojów 11 562 h 35 min. Udziały procentowe czasów pracy i postojów silników gazowych przedstawia rysunek 3.



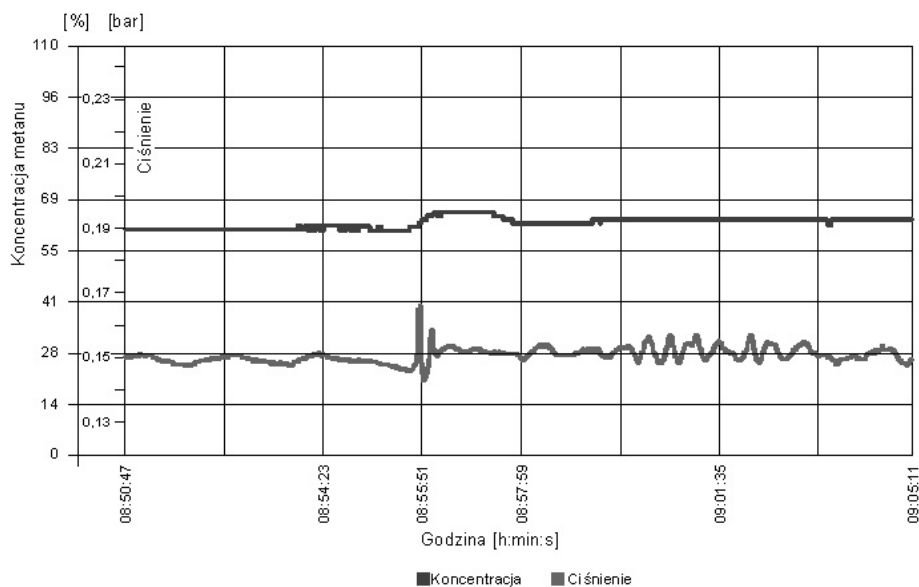
Rys. 3. Udziały procentowe czasów pracy i postojów silników gazowych w okresie styczeń 2004 – listopad 2005

Natomiast niestabilność ilościowo-jakościowa paliwa gazowego spowodowała postój silników na łączny czas 2173 h 33 min co stanowi 18,8% sumarycznego czasu postojów silników wynoszącego 11 562 h 35 min (rys. 4).



Rys. 4. Udziały procentowe zatrzymań silników gazowych w zależności od przyczyny postoju, styczeń 2004 – listopad 2005

Zatrzymanie silników gazowych może także nastąpić na skutek gwałtownego wzrostu zawartości metanu w paliwie. Rysunek 5 przedstawia czasowe zmiany zawartości metanu i ciśnienia gazu z odmetanowania dostarczanego do silników gazowych 16 grudnia 2005 roku [4].



Rys. 5. Koncentracja i ciśnienie mieszanki metanowo-powietrznej w rurociągu zasilającym przed silnikami gazowymi w ZPC „Żory” 16 grudnia 2005 roku [4]

Przez cały rozpatrywany okres zawartość metanu w paliwie jest wyższa od 50%. Mimo odpowiednio wysokiej koncentracji metanu — wymaganej do prawidłowej pracy instalacji — nastąpiło zatrzymanie pracy silników. Powodem był nagły wzrost koncentracji metanu w paliwie dostarczonym do silników o godzinie 8:55. Bezpośrednią przyczyną gwałtownego wstrzymania pracy silników był wzrost ciśnienia. Układ automatyki zareagował po pewnym czasie, wyłączając instalację, aby uniemożliwić dalszy wzrost ciśnienia.

Przedstawione dane wykazują, że zaburzenia parametrów jakościowo-ilościowych paliwa wpływają negatywnie na ciągłość pracy gazowych instalacji energetyczno-ciepłowniczych. Brak stabilizacji tych parametrów powoduje, że praca elektrociepłowni jest ściśle uzależniona od własności gazu dostarczanego ze stacji odmetanowania. Zmienność parametrów jakościowych oraz ilościowych ujmowanego przez odmetanowanie gazu wynika z uzależnienia efektywności odmetanowania od prowadzonej w danym czasie eksploatacji górniczej.

5. Możliwości stabilizacji parametrów gazów z odmetanowania — paliwa do silników gazowych

Prawidłowa praca silników gazowych wymaga zapewnienia paliwa — gazów z odmetanowania o stabilnych w czasie parametrach ilościowo-jakościowych.

Stabilizacja parametrów ilościowo-jakościowych gazu z odmetanowania może być uzyskana w wyniku:

- prowadzenia kontroli i regulacji procesu odmetanowania pokładów węgla w kopalni;
- stosowania urządzeń stabilizacyjnych:
 - podziemnych zbiorników gazu z odmetanowania,
 - powierzchniowych zbiorników gazu;
- doprowadzenia gazu wysokometanowego z zewnętrznej sieci gazowniczej;
- usuwania powietrza z mieszaniny metanowo-powietrznej.

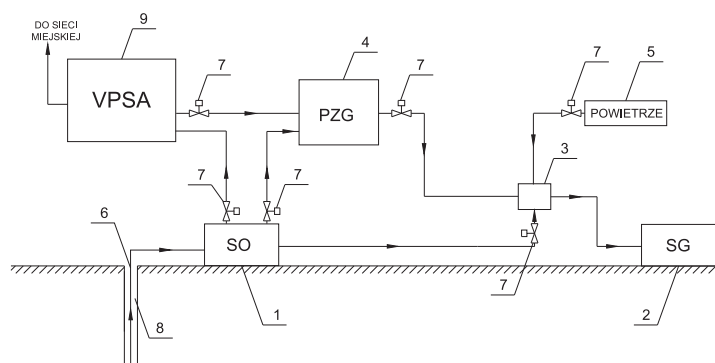
5.1. Wykorzystanie podziemnego magazynu gazu do stabilizacji parametrów mieszaniny metanowo-powietrznej

Systemem odmetanowania ujmowane są mieszaniny gazów o zmiennej zawartości metanu, zależnej od szeregu czynników związanych z procesami technologicznymi eksploatacji i odmetanowania pokładów węgla. Jedną z możliwości utrzymania stabilności mieszaniny jest zastosowanie układu stabilizacyjnego (rys. 6), którego zasada działania polega na tym, że gazy z odmetanowania są gromadzone w podziemnym magazynie gazów PMG. W zależności od potrzeb gazy podawane są do mieszalnika przygotowującego, w sposób kontrolowany, mieszaninę powietrzno-metanową o składzie chemicznym i ciśnieniu wymaganym do silników gazowych lub innych urządzeń cieplnych.

Powierzchniowe zbiorniki gazów z odmetanowania to zbiorniki tzw. suche, pozwalające gromadzić gazy przy nadciśnieniu średnim lub wysokim oraz zapewniające odpowiednią objętość gazu gwarantującą pracę systemu w dostatecznie długim czasie.

5.3. Zintegrowany system wzbogacania i magazynowania mieszaniny metanowo-powietrznej w powierzchniowym zbiorniku gazu do stabilizacji parametrów paliwa gazowego

Możliwość wzbogacania gazu z odmetanowania pozwala na uzyskanie paliwa o lepszych parametrach, a co za tym idzie, pełniejsze jego wykorzystanie. Instalacje energetyczno-ciepłownicze pracujące przy kopalniach węgla można wyposażyć w systemy wzbogacania, np. VPSA, i uzyskany w ten sposób gaz o większej zawartości CH_4 magazynować w zbiorniku powierzchniowym PZG. Rozwiązanie takie ilustruje rysunek 8.

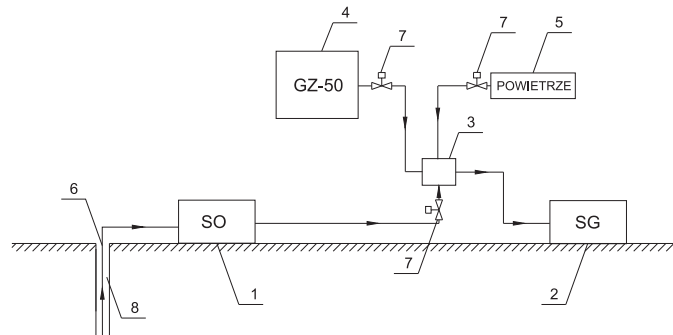


Rys. 8. Stabilizacja parametrów paliwa gazowego z wykorzystaniem systemu wzbogacania i magazynowania mieszaniny metanowo-powietrznej w zbiorniku powierzchniowym:
 1 — stacja odmetanowania, 2 — silniki gazowe, 3 — mieszalnik, 4 — powierzchniowy zbiornik gazu, 5 — system dostarczania powietrza, 6 — rurociąg, 7 — zawór z czujnikami, 8 — szyb kopalniany, 9 — system wzbogacania metanu

W przypadkach wystąpienia zaburzeń w ilości i jakości gazów doprowadzanych ze stacji odmetanowania bezpośrednio do silników gazowych, następuje doprowadzenie gazu z powierzchniowego zbiornika PZG do mieszalnika, w którym zachodzi proces mieszania do założonych parametrów.

5.4. Zastosowanie gazu ziemnego do stabilizacji parametrów paliwa gazowego

Stabilizacja parametrów mieszaniny metanowo-powietrznej przez buforowanie gazem typu GZ-50 (rys. 9) polega na tym, że gaz z sieci gazowniczej jest dodawany do mieszaniny z odmetanowania w celu ujednoczenia parametrów jakościowo-ilościowych paliwa.



Rys. 9. Stabilizacja parametrów mieszaniny metanowo-powietrznej przez buforowanie gazem z sieci gazowniczej GZ-50: 1 — stacja odmetanowania, 2 — silniki gazowe, 3 — mieszalnik, 4 — powierzchniowy zbiornik gazu GZ-50, 5 — system dostarczania powietrza, 6 — rurociąg, 7 — zawór z czujnikami, 8 — szyb kopalniany

W przypadkach wystąpienia zaburzeń w ilości i jakości gazów doprowadzanych ze stacji odmetanowania bezpośrednio do silników gazowych, w mieszalniku zachodzi proces mieszania gazów z odmetanowania z gazem ziemnym zgromadzonym w zbiorniku w stopniu pozwalającym uzyskać założone parametry.

5.5. Kompleksowy układ stabilizacji paliwa gazowego

System stabilizacji parametrów gazu z odmetanowania powinien zapewniać stałość składu chemicznego mieszaniny palnej przy zmieniających się podczas eksploatacji węgla parametrach jakościowo-ilościowych gazów z odmetanowania. System taki powinien również zapewnić prawidłowe funkcjonowanie układu energetycznego podczas chwilowych przerw w dostawie gazu ze stacji odmetanowania.

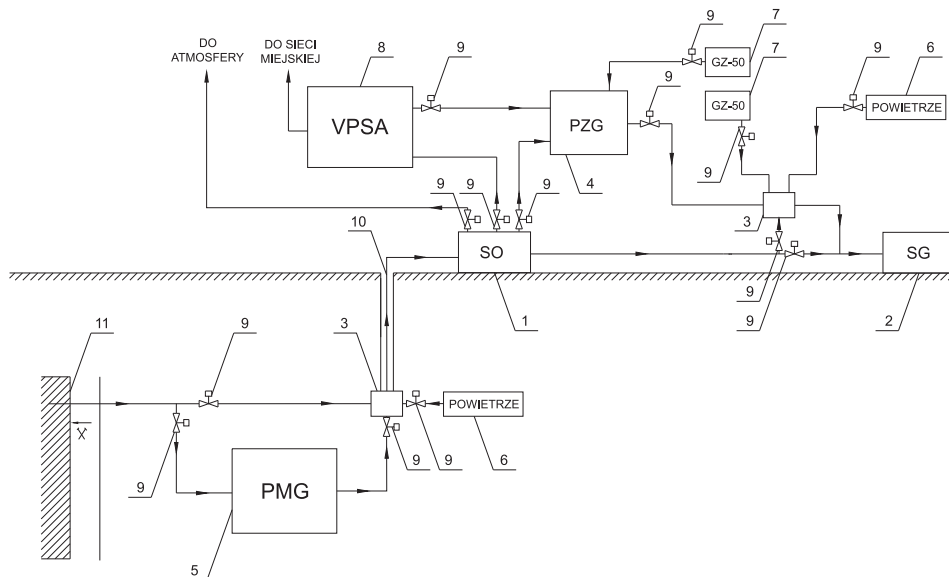
Analizując funkcjonalność układów kogeneracyjnego spalania metanu, należy uwzględnić działanie systemu stabilizacyjnego przy okresowo różnym zapotrzebowaniu na moc przez odbiorniki energii [5].

Kompleksowy układ służący stabilizacji gazu kopalnianego przedstawia rysunek 10.

Poszczególne układy mogą działać przy wykorzystaniu:

- podziemnego magazynu gazu (wraz z mieszalnikiem),
- powierzchniowego zbiornika gazu (bez systemu wzbogacania, z systemem wzbogacania, z buforowaniem gazem GZ-50),
- mieszalnika z buforowaniem gazem GZ-50.

Wybór najbardziej optymalnego rozwiązania jest uzależniony od charakterystyki i możliwości obiektu górniczego, parametrów mieszaniny metanowo-powietrznej, jak również możliwości technicznych i finansowych zakładów energetycznych.



Rys. 10. Kompleksowy układ stabilizacji paliwa gazowego dla silników gzowych:
 1 — stacja odmetanowania, 2 — silniki gazowe, 3 — mieszalnik, 4 — powierzchniowy zbiornik gazu, 5 — podziemny zbiornik gazu, 6 — system dostarczania powietrza, 7 — zbiornik gazu ziemnego, 8 — system wzbogacania metanu, 9 — zawór z czujnikami, 10 — rurociąg, 11 — obszar eksploatacji

6. Możliwości stabilizacji parametrów gazu z odmetanowania KWK „Budryk” w celu zapewnienia prawidłowej pracy instalacji ciepłowniczo-energetycznej ZPC „ŻORY”

W Elektrociepłowni Zakładu Produkcji Ciepła występują problemy z utrzymaniem ciągłości ruchu silników gazowych spowodowane zmiennością parametrów ilościowo-jakościowych mieszanki gazów z odmetanowania kopalni „Budryk”. Niestabilność paliwa gazowego przyczynia się do częstych awarii w pracy silników gazowych, doprowadzających do zatrzymania produkcji energii elektrycznej i ciepła. Gwałtowne zatrzymanie pracy silników wpływa niekorzystnie na ich trwałość i żywotność.

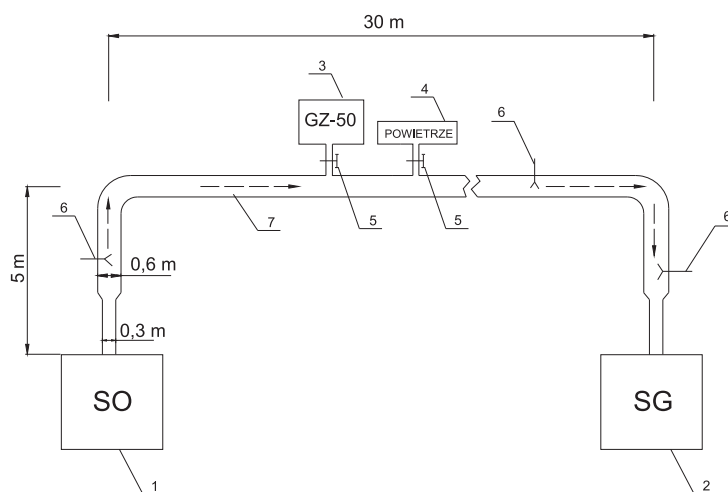
Jedną z głównych przyczyn jest skokowa zmiana jakości paliwa gazowego (nagłe skokowe zmiany zawartości metanu w mieszance gazów z odmetanowania).

Systemy zasilania silników gazowych paliwem z odmetanowania nie są wyposażane w układy stabilizacji parametrów ilościowo-jakościowych tego gazu.

Analiza systemu zasilania paliwem z odmetanowania KWK „Budryk” pozwoliła opracować układy stabilizacji jakościowej paliwa uwzględniające uwarunkowania lokalne ZPC „Żory”.

6.1. Przepływowy układ stabilizacji parametrów mieszaniny gazowej

Jednym z możliwych rozwiązań pozwalających na eliminację krótkotrwałych, nagłych i skokowych zmian zawartości metanu w mieszaninie gazowej podawanej rurociągiem ze stacji odmetanowania KWK „Budryk” jest rozwiązanie polegające na zwiększeniu średnicy rurociągu i doprowadzeniu w sposób kontrolowany do nich powietrza (rys. 11).



Rys. 11. Przepływowy układ stabilizacji paliwa z odmetanowania:

- 1 — stacja odmetanowania, 2 — silniki gazowe, 3 — zbiornik gazu ziemnego,
4 — system dozowania powietrza, 5 — zawór z czujnikami, 6 — czujniki, 7 — rurociąg

Rurociąg gazowy pomiędzy stacją odmetanowania a silnikami gazowymi o długości 30 m ma średnicę 0,3 m. Wydatek objętościowy strumienia gazów w rurociągu wynosił 0,5 m³/s, a prędkość przepływu 7 m/s, w związku z czym czas przepływu gazu między SO i SG był krótki i wynosił około 4 s. Był on zbyt krótki, aby nastąpiło takie mieszanie gazów, szczególnie w przypadkach skokowych zmian zawartości metanu, które eliminowałoby gwałtowne zmiany zawartości CH₄ w paliwie. Zwiększenie średnicy rurociągu z 0,3 m do 0,6 m spowoduje prawie czterokrotne zmniejszenie prędkości gazu w rurociągu i wydłuży czas transportu paliwa rurociągiem do kilkunastu sekund. Działanie takie poprawi proces mieszania gazu, zwłaszcza w stanach nieustalonego przepływu.

Innym rozwiązaniem ograniczającym skokowe zmiany zawartości metanu w paliwie może być wyposażenie istniejącej instalacji w mieszalnik gazowy, który pozwoliłby wyrównywać skokowe zmiany zawartości metanu.

6.2. Stabilizacja parametrów mieszaniny metanowo-powietrznej z wykorzystaniem zbiornika powierzchniowego

Stabilną pracę silników gazowych wykorzystujących jako paliwo gaz z odmetanowania KWK „Budryk” można osiągnąć również przez zastosowanie retencyjnego zbiornika

powierzchniowego. Mieszanka gazów z odmetanowania byłaby magazynowana w zbiorniku pod określonym, stałym ciśnieniem. Magazynowanie gazu ma na celu nie tylko stabilizację jakościowo-ilościową metanu, ale także spełnia funkcję retencyjną, dzięki której istnieje możliwość dostarczenia paliwa gazowego w sytuacji wyłączenia systemu odmetanowania. Zasadę działania układu stabilizacji ilościowej i jakościowej gazów z odmetanowania przedstawia rysunek 7.

Zastosowanie w ZPC „Żory” zbiornika średniociśnieniowego zapewniałoby zmagazynowanie i dostarczanie paliwa napędzającego silniki gazowe firmy Deutz przez 24 godziny.

Pojemność zbiornika jest funkcją $V(\tau, p_r, p_m, \dot{m}_g)$,

gdzie:

τ — czas, min,

p_r — ciśnienie robocze, Pa,

p_m — ciśnienie magazynowania gazu, Pa,

\dot{m}_g — strumień spalnego gazu, m³/min.

Objętość zbiornika można wyznaczyć z zależności

$$V = \frac{\dot{m}_g \cdot \tau \cdot p_r}{p_m} \text{ [m}^3\text{]}.$$

Jeżeli trzy silniki gazowe spalają 30 m³/min mieszanki metanowo-powietrznej, to w okresie doby są w stanie wykorzystać 43 200 m³ gazu o ciśnieniu roboczym 25 kPa.

Dla ciśnienia w zbiorniku 0,5 MPa i ciśnienia roboczego 25 kPa pojemność zbiornika wynosi 2160 m³, co pozwala zapewnić zapotrzebowanie silników na paliwo gazowe przez 24 godzinny. Ponadto zbiornik powinien być napełniony gazem z odmetanowania kopalni o zawartości metanu co najmniej 50%.

W sytuacji kiedy do stacji odmetanowaniem jest odprowadzana mieszanka o większej zawartości metanu niż 50 %, zbiornik jest napełniany gazem. Natomiast kiedy zawartość metanu w podawanym gazie — paliwie do silników — jest niższa od minimalnej, wymaganej zawartości metanu do silników, wynoszącej 50%, następuje automatyczne dozowanie odpowiedniego strumienia gazów ze zbiornika powierzchniowego.

W przypadku kiedy zawartość metanu w podawanym gazie — paliwie do silników — jest wyższa od minimalnej, wymaganej zawartości metanu do silników, wynoszącej 50%, gazy mogą być rozrzedzane powietrzem podawanym z atmosfery do mieszalnika gazów.

W sytuacji braku zasilania gazem (wyłączony system odmetanowania), silniki gazowe nie przerywają pracy, gdyż są zasilane gazem ze zbiornika powierzchniowego.

Odpowiednia objętość i stopień napełnienia gwarantuje podtrzymanie pracy silników gazowych przez co najmniej dobę.

7. Stwierdzenia i wnioski

- 1) Gazy z odmetanowania pokładów węgla kamiennego kopalń są niskometanowymi paliwami, które mogą być wykorzystywane w różnego rodzaju instalacjach ciepłowniczo-energetycznych, np. w kotłach z palnikami gazowymi, silnikach i turbinach gazowych.
- 2) Ujmowane w procesie odmetanowania mieszaniny gazowe składają się głównie z gazów wchodzących w skład powietrza atmosferycznego i metanu (w wielu przypadkach występują inne gazy, np. tlenek węgla), które cechują się zmienną w czasie zawartością CH₄ (na stacji odmetanowania średnio od 30 do 70%).
- 3) Destabilizacja parametrów ilościowo-jakościowych gazów z odmetanowania powoduje przerwy w pracy i awarie instalacji ciepłowniczo-energetycznych zagrażające często bezpieczeństwu ich pracy oraz przynoszące straty ekonomiczne.
- 4) Stabilizacja parametrów ilościowo-jakościowych gazów z odmetanowania może być uzyskana w wyniku:
 - prowadzenia kontroli i regulacji procesu odmetanowania pokładów węgla w kopalni;
 - stosowania urządzeń stabilizacyjnych w:
 - podziemnych zbiornikach gazu z odmetanowania,
 - powierzchniowych zbiornikach gazu;
 - doprowadzenia gazu wysoko metanowego z zewnętrznej sieci gazowniczej;
 - usuwania powietrza z mieszaniny metanowo-powietrznej.
- 5) Dotychczas dla zapewnienia ciągłości pracy silników gazowych nie są stosowane układy stabilizacji ilościowo-jakościowej mieszanin gazowych ujętych w procesie odmetanowania pokładów węgla.
- 6) Możliwe jest zastosowanie wielu rodzajów układów stabilizacji ilościowo-jakościowej paliwa gazowego, które musi być dostosowane do warunków lokalnych, a ich kombinacja i konfiguracją wynika z następujących wariantów:
 - wykorzystania podziemnego magazynu gazu,
 - zastosowania powierzchniowego zbiornika gazu,
 - zintegrowanego systemu wzbogacania i magazynowania mieszaniny metanowo-powietrznej w powierzchniowym zbiorniku gazu,
 - zastosowania gazu ziemnego,
 - kompleksowego układu stabilizacji paliwa gazowego.
- 7) W 2003 r. Zakład Produkcji Ciepła ZPC „Żory” Sp. z o.o. uruchomił instalację ciepłowniczo-energetyczną spalającą gazy z odmetanowania KWK „Budryk”. Z powierzchniowej stacji odmetanowania gazy — mieszaniny metanowo-powietrzne — są przesyłane rurociągiem do elektrociepłowni, gdzie spalane są w trzech silnikach gazowych TBG 620V 20K (producent firma Deutz AG), które napędzają trzy generatory AVK

DIG 130 o mocy 1666 kW każdy. Elektrociepłownia przy pełnym obciążeniu ma moc elektryczną wynoszącą 4998 kW i ciepłą — 5271 kW [4].

- 8) Analiza przyczynowa zaburzeń parametrów jakościowo-ilościowych paliwa do instalacji ciepłowniczo-energetycznej Zakładu Produkcji Ciepła ZPC „Żory” Sp. z o.o, spalającej gazy z odmetanowania KWK „Budryk”, wykazała, że głównymi przyczynami postojów awaryjnych silników gazowych była zmienność parametrów ilościowo-jakościowych paliwa, a także występowanie stanów nieustalonych przepływu gazów, np. charakteryzujących się skokowymi zmianami zawartości metanu w mieszaninie gazów z odmetanowania.
- 9) Analiza systemu zasilania paliwem z odmetanowania KWK „Budrys” pozwoliła opracować układy stabilizacji jakościowej paliwa uwzględniające uwarunkowania lokalne ZPC „Żory” i możliwości relatywnie niskonakładowej realizacji:
 - przepływowego układu stabilizacji parametrów mieszaniny gazowej,
 - stabilizacji parametrów mieszaniny metanowo-powietrznej z wykorzystaniem zbiornika powierzchniowego.

LITERATURA

- [1] *Berger J., Nawrat S.*: Retencyjny magazyn metanu w kopalni podziemnej. Materiały Konferencji Eksploatacji Podziemnej 2003
- [2] *Gatnar K.*: Problematyka ujęcia i optymalnego zagospodarowania MPW z obszarów górniczych kopalń Jastrzębskiej Spółki Węglowej SA. Materiały Międzynarodowej Konferencji „Wykorzystanie metanu pokładów węgla”. Katowice, październik 1994
- [3] *Gembalczyk J., Jaksza Z., Kowacki N., Tabaka A.*: Metan źródłem energii elektrycznej i ciepła na przykładzie KWK „Budryk”. Materiały Konferencyjne Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2005
- [4] Materiały udostępnione przez ZPC „Żory” Spółka z o.o.
- [5] *Nawrat S., Kuczera Z., Luczak R., Życzkowski P.*: Układ urządzeń do utylizacji gazu kopalnianego. Projekt wynalazczy nr P-379769
- [6] *Schneider M.*: Utilization of Natural gas and Biogas in Gas engines – requirements and experiments. Materiały I Konferencji Naukowo-Technicznej „Energetyka Gazowa”. Szczyrk, 2000
- [7] *Skorek J.*: Ocena efektywności energetycznej i ekonomicznej gazowych układów kogeneracyjnych małej mocy. Gliwice, 2002
- [8] *Skorek J., Kalina J.*: Silniki gazowe w układach kogeneracyjnych, <http://www.itc.polsl.pl/kalina/publikacje/15.12.2005>
- [9] Czasopismo PGNiG S.A. Szejki, 2(85), lipiec 2005