

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:

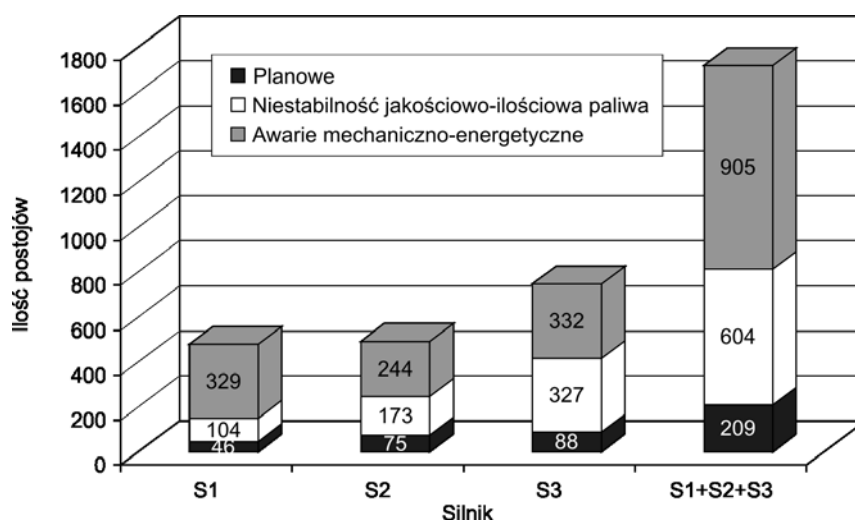
- 1) postoje planowe,
- 2) postoje awaryjne.

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

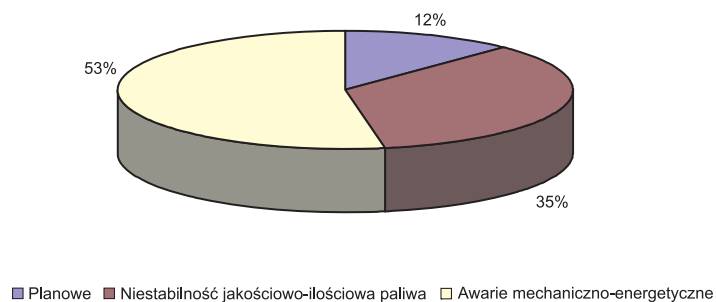
Przyczyny zatrzymań i czas postoju silników [4]

Silnik	Wyszczególnienie	Czas h:min	Średni czas postoju 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	–	–



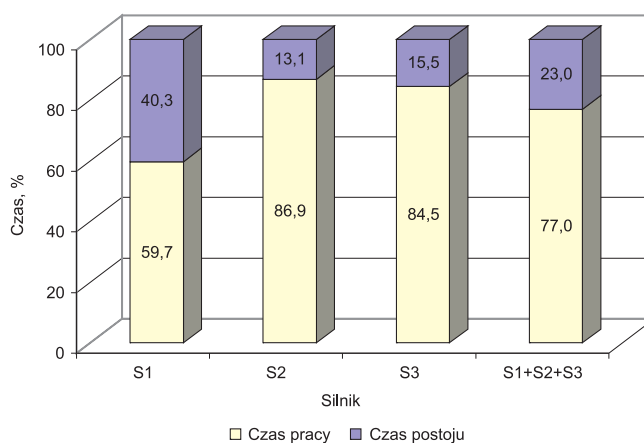
Rys. 1. Przyczyny zatrzymań silników gazowych w okresie styczeń 2004 — listopad 2005

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



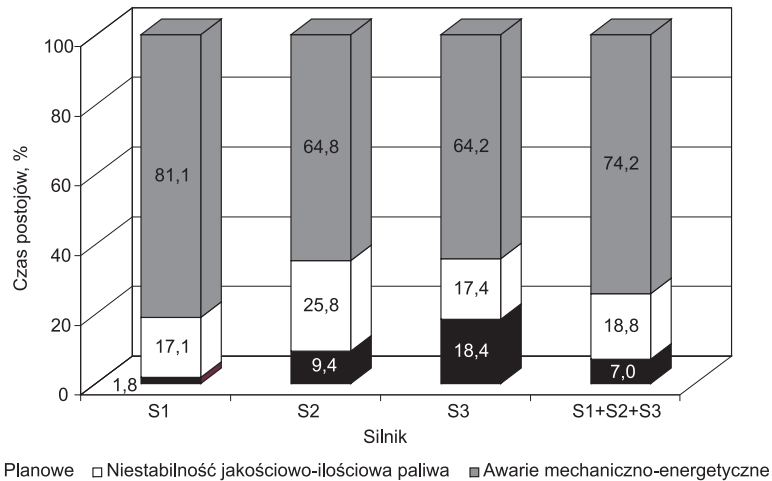
Rys. 2. Udziały procentowe zatrzymań silników gazowych w zależności od przyczyny postojów w okresie styczeń 2004 — listopad 2005

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.



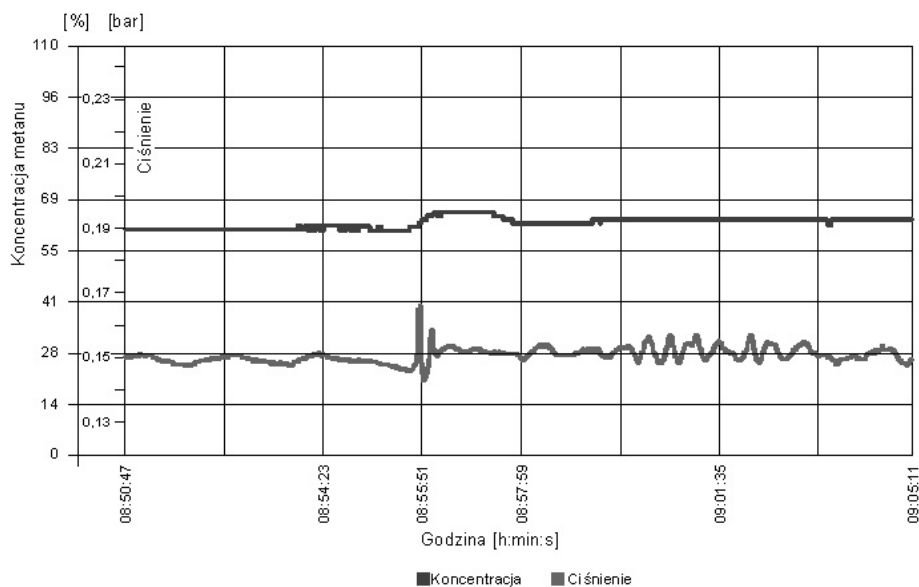
Rys. 3. Udziały procentowe czasów pracy i postojów silników gazowych w okresie styczeń 2004 – listopad 2005

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

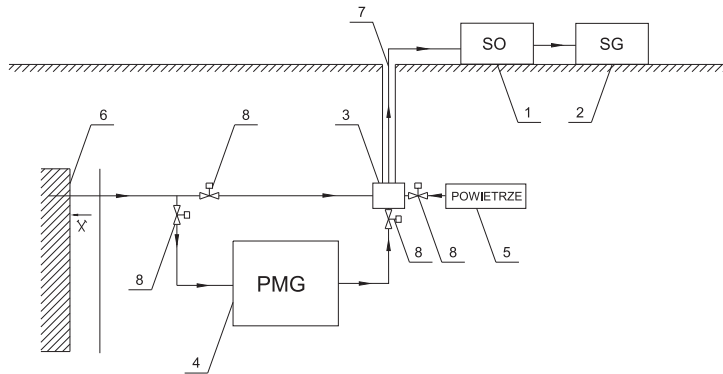
Prawidłowa praca silników gazowych wymaga zapewnienia paliwa — gazów z odmetanowania o stabilnych w czasie parametrach ilościowo-jakościowych.

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.

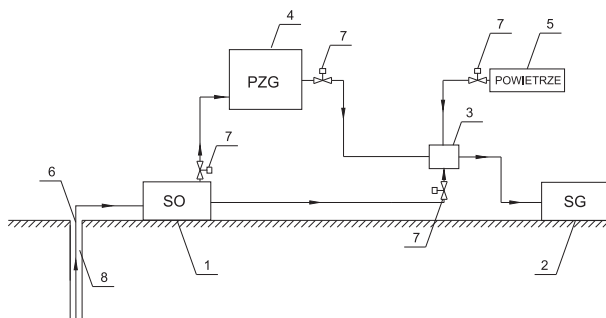


Rys. 6. Stabilizacja parametrów mieszaniny metanowo-powietrznej z wykorzystaniem podziemnego zbiornika gazu: 1 — stacja odmetanowania, 2 — silniki gazowe, 3 — mieszalnik, 4 — zbiornik metanu, 5 — zbiornik powietrza, 6 — obszar eksploatacji, 7 — rurociąg, 8 — zawory z czujnikami

Podziemne magazyny gazu muszą być odpowiednio zbudowane w kopalni tak, aby zapewniać możliwości buforowania i bezpieczeństwo pracy (zapewnienie szczelności podziemnego magazynu gazu) [1].

5.2. Zastosowanie powierzchniowego zbiornika gazu do stabilizacji parametrów paliwa gazowego

Dla zapewnienia prawidłowych parametrów jakościowych i ilościowych mieszaniny gazowej do silników gazowych można stosować układ stabilizujący (rys. 7) polegający na tym, że na powierzchni znajduje się zbiornik gazów PZG, który napełniany jest gazami doprowadzonymi ze stacji odmetanowania kopalni. W przypadkach wystąpienia zaburzeń w ilości i jakości gazów, są one dostarczane ze zbiornika powierzchniowego do mieszalnika, w którym zachodzi proces mieszania gazów do założonych parametrów.

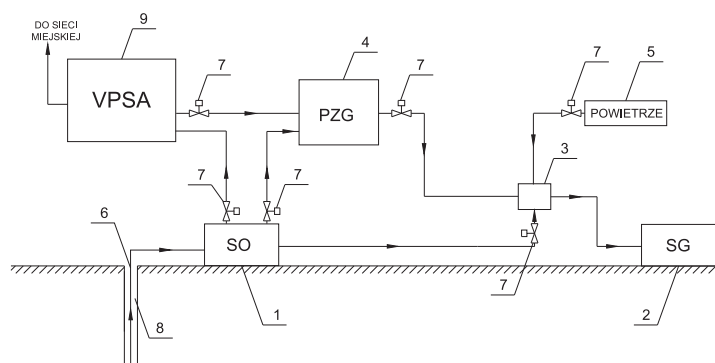


Rys. 7. Stabilizacja parametrów mieszaniny metanowo-powietrznej z wykorzystaniem powierzchniowego zbiornika gazu. 1 — stacja odmetanowania, 2 — silniki gazowe, 3 — mieszalnik, 4 — powierzchniowy zbiornik gazu, 5 — system dostarczania powietrza, 6 — rurociąg, 7 — zawór z czujnikami, 8 — szyb kopalniany

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.

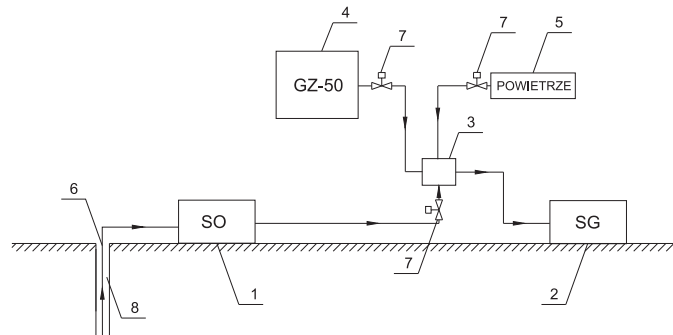


Rys. 8. Stabilizacja parametrów paliwa gazowego z wykorzystaniem systemu wzbogacania i magazynowania mieszaniny metanowo-powietrznej w zbiorniku powierzchniowym:
 1 — stacja odmetanowania, 2 — silniki gazowe, 3 — mieszalnik, 4 — powierzchniowy zbiornik gazu, 5 — system dostarczania powietrza, 6 — rurociąg,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

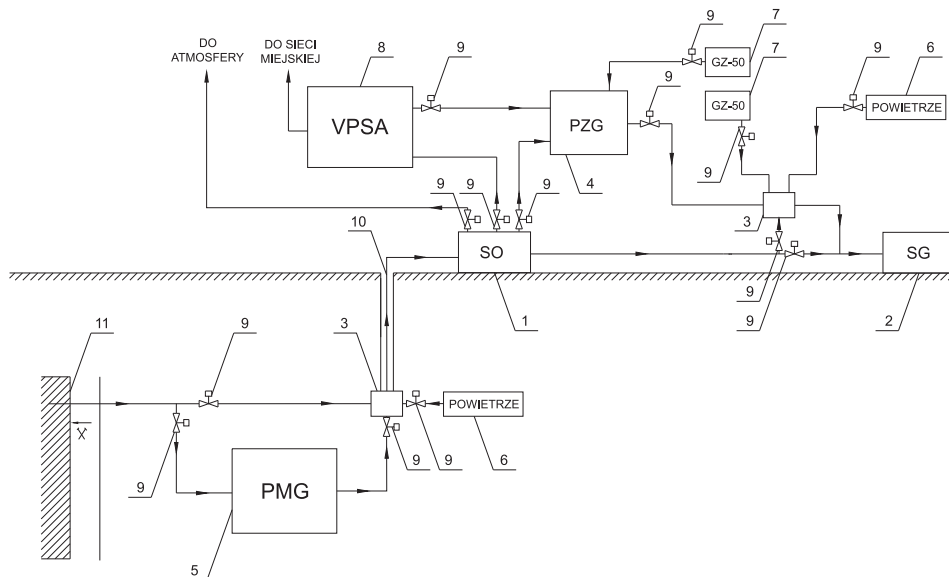
Analizując funkcjonalność układów kogeneracyjnego spalania metanu, należy uwzględnić działanie systemu stabilizacyjnego przy okresowo różnym zapotrzebowaniu na moc przez odbiorniki energii [5].

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.

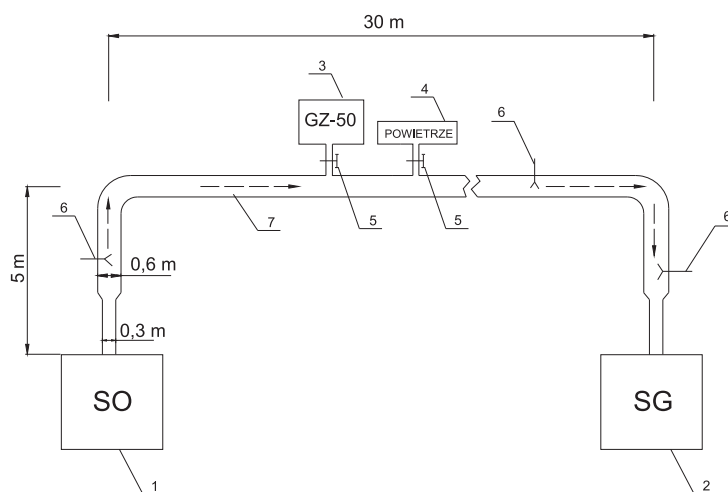
Jedną z głównych przyczyn jest skokowa zmiana jakości paliwa gazowego (nagłe skokowe zmiany zawartości metanu w mieszance gazów z odmetanowania).

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., Jaksa 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