

Technologia wykorzystywania gazów kopalnianych dla celów energetycznych na przykładzie instalacji sprężania metanu

Technology of using mine gases for energy purposes on the example of a methane compression installation

Dominika Sopa Partner, Zbigniew Tałach*

Słowa kluczowe: gazy kopalniane, oczyszczanie gazów, metan, trigeneracja

Streszczenie

Pozyskiwanie metanu z gazów kopalnianych stanowi jedno z najważniejszych zagadnień dotyczących eliminacji gazów cieplarnianych, które w krajowych warunkach powinno być szeroko stosowane. Wynika to z faktu, że Polska jest największym w Europie emitentem metanu do atmosfery. Istnieje kilka metod technologicznych wykorzystania gazów kopalnianych dla celów energetycznych. W artykule przedstawiono nowatorskie rozwiązanie wykorzystanie tych gazów dla celów trigeneracji, produkcji energii elektrycznej, ciepła i chłodu.

Keywords: mine gases, gas purification, methane, trigeneration

Abstract

Obtaining methane from mine gases is one of the most important issues related to the elimination of greenhouse gases, which should be widely used in domestic conditions. This is due to the fact that Poland is the largest emitter of methane into the atmosphere in Europe. There are several technological methods for the use of mine gases for energy purposes. The article presents an innovative solution for the use of these gases for trigeneration, electricity, heat and cold production.

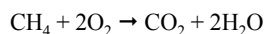
Wstęp

Metan z pokładów kopalnianych można przy pewnych technologiach wykorzystywać jako alternatywne źródło energii i może wówczas zastępować gaz ziemny jako źródło energii. Zasoby metanu, uwalniane podczas eksploatacji węgla kamiennego, w dużej części nie są praktycznie wykorzystywane. Według dostępnych danych zbilansowane zasoby metanu w złożach węgla kamiennego ocenia się na około 90 mld m³, w tym w obecnie eksploatowanych złożach węgla kamiennego na około 34 mld m³. Szacuje się, że zawartość metanu w polskich kopalniach węgla kamiennego jest bardzo wysoka i w trakcie wydobywania jest on odprowadzany na powierzchnię w procesach przewietrzania i odmetanowania kopalń. Należy podkreślić, że wydzielanie się metanu do atmosfery jako gazu cieplarnianego jest bardzo niekorzystnym zjawiskiem, gdyż jego emisja do atmosfery jest 21 razy bardziej szkodliwa niż emisja dwutlenku węgla. Polska jest największym emitentem metanu w Europie i szacuje się, że około 70 % emisji metanu miało miejsce z polskich kopalń. Dane te wskazują jednoznacznie, że dla środowiska naturalnego korzystniejsze jest spalanie metanu do dwutlenku węgla, ale wymaga to odpowiedniego przygotowania technologicznego.

1. Wpływ metanu jako gazu cieplarnianego na środowisko

Metan (CH₄) to organiczny związek chemiczny, który w temperaturze pokojowej jest gazem bezwonnym i bezbarwnym. W praktyce stosowany jest jako gaz opałowy i surowiec do syntezy wielu związków chemicznych w przemyśle. Metan stanowi główny składnik gazu ziemnego i gazów kopalnianych. Metan jest gazem cieplarnianym, którego potencjał cieplarniany jest 72-krotnie większy niż dwutlenku węgla (w skali 20 lat) lub 25 (w skali 100 lat). Szacuje się, że w 2001 r. metan odpowiadał za 20% wymuszenia radiacyjnego wśród gazów cieplarnianych (wykluczając parę wodną). Metan absorbuje więcej promieniowania o długościach fali leżących w zakresie tzw. „okna atmosferycznego w podczerwieni” czyli takich, których nie absorbuje najważniejszy gaz cieplarniany w atmosferze jakim jest para wodna, stąd duże negatywne oddziaływanie metanu w efekcie cieplarnianym naszej planety. Dlatego ważnym czynnikiem jest, aby pozyskiwany metan z kopalń węgla kamiennego wykorzystywać, na przykład dla celów grzewczych, gdyż wówczas można w procesie spalania wytwarzać dwutlenek węgla, który jest mniej szkodliwy dla środowiska naturalnego. Reakcja spalania metanu przebiega następująco:

* Dominika Sopa Partner – HS Halina Sopa, Zbigniew Tałach – NGV AUTOGAS Sp. z o.o.



Warto zaznaczyć, że podczas procesu spalania metanu następuje duża emisja ciepła, która może być wykorzystywana w procesach grzewczych, zarówno komunalnych, jak i przemysłowych.

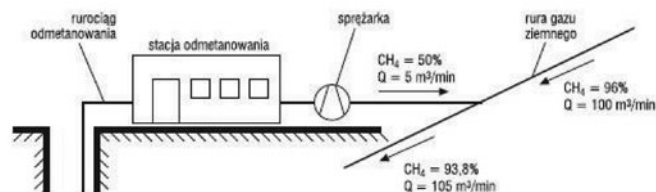
W celu zmniejszenia emisji gazów kopalnianych, których głównym składnikiem jest metan prowadzone są prace mające na celu opracowanie nowych innowacyjnych technologii umożliwiających odzyskiwanie metanu zawartego w gazach kopalnianych. Opracowano nowoczesną instalację do wykorzystania pozyskanego metanu w oparciu o technologię oczyszczania i wstępnego sprężania gazu w ramach zrealizowanego projektu naukowo-badawczego.

2. Technologia odzyskiwania metanu z gazów kopalnianych

W ramach zrealizowanych prac wykonano instalację oczyszczania i wstępnego sprężania gazu. Zrealizowana instalacja, z uwagi na swoje cechy technologiczne, stanowi rozwiązanie innowacyjne, ponieważ opracowana technologia łączy w swoim zakresie procesy:

- oczyszczania/uzdatniania gazu kopalnianego do parametrów gazu grupy E,
- sprężania gazu przy zastosowaniu efektywnej ekonomicznie metody,
- głębokiego osuszania gazu pokopalnianego,
- magazynowania sprężonego gazu w mobilnych pojemnikach rurowych lub bateriach butli.

Na rys. 1 przedstawiono schemat ogólny pozyskiwania metanu z gazów kopalnianych.



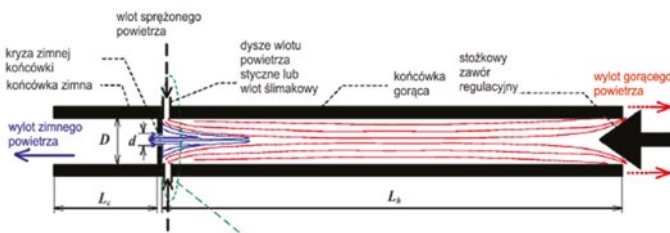
Rys. 1. Schemat ogólny pozyskiwania metanu z gazów kopalnianych

Fig. 1. General diagram of methane extraction from mine gases

Źródło: S. Nawrat, Wykorzystanie metanu z podziemnych kopalń węgla, Rynek Instalacyjny 9/2008

Przedstawiony w artykule opis technologii stanowi nowatorskie rozwiązanie w dziedzinie ograniczenia emisji metanu do atmosfery, które może być wdrożone nie tylko na terenie naszego kraju, ale również wszędzie tam gdzie występuje problem nadmiernej emisji gazów kopalnianych.

Głównym założeniem podjętej pracy było wykonanie i wdrożenie instalacji samowystarczalnej i mobilnej czyli takiej, która będzie możliwa do zastosowania w każdych warunkach, gdzie występuje emisja metanu. Zaletą opracowanej instalacji jest to, że nie ma konieczności budowy specjalnych obiektów, czy też dodatkowych instalacji zasilających. W tym przypadku wykorzystano układy trigeneracyjne zasilane odzyskanym metanem z gazów kopalnianych. Jak wiadomo tego typu układy służą do produkcji energii elektrycznej, ciepła i chłodu, które praktycznie mogą być wykorzystane w wielu dziedzinach energetyki. Elementem wykorzystywanym w instalacji jest technologia rozdzielonej separacji mgły olejowej i mgły wodnej po schłodzeniu w separatorze (multivortex) opartej o zasadę działania rurki wirowej Vortex – rys. 2. Kolejnym założeniem technologicznym procesa uzdatniania było zastosowanie technologii PTSA osuszania gazu, której istota polega na utrzymywaniu w procesie adsorpcji i desorpcji odpowiednich profili temperaturowych w złożach adsorbentów i ogrzewania gazu do regeneracji w zabudowie adsorberów z akumulatorami ciepła.



Rys. 2. Zasada działania rurki Vortex

Fig. 2. Vortex tube principle of operation

Źródło: S. Sopa J., Sopa D., Rudkowski M, Tałach Z., „Zastosowanie rurki wirowej vortex do separacji oleju i wody z mieszanin aerozolowych: gaz-olej, gaz-woda z gazu kopalnianego”, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, marzec 2021 (3/2021).

Poniżej omówiono oparowaną instalację oczyszczania i wstępnego sprężania gazu. Na rys. 3 i 4 pokazano elementy pilotażowej instalacji.



Rys. 3. Kolumny filtracyjne w instalacji technologii PTSA

Fig. 3. Filter columns in the PTSA technology installation



Rys. 4. Sprężarka łopatkowa do wstępnego sprężania gazu do instalacji oczyszczania

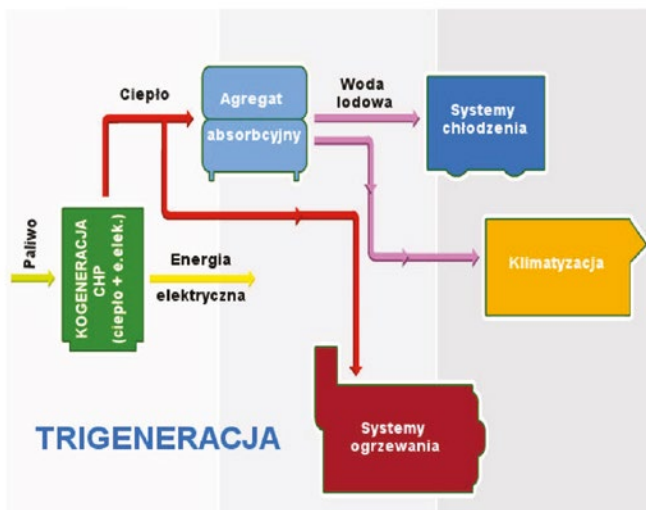
Fig. 4. Vane compressor for gas pre-compression to the purification plant

Kolejnym elementem instalacji jest kontenerowa stacja sprężania gazu. Wewnątrz kontenera zaprojektowano i umieszczono instalację pozyskania, kolejny krok to oczyszczanie gazu oraz sprężanie metanu z międzystopniowym układem chłodzenia gazu, aparatura sterująca i zabezpieczająca oraz wewnętrzna instalacja elektryczna. Kontener wygłuszono, zamontowano oświetlenie oraz wykonano systemy wentylacji i przewietrzenia wraz z dozymetrią. Na dachu kontenera zabudowywano cztery butle CNG o pojemności 205 litrów każda, będące zbiornikami dla wstępnie oczyszczonego gazu.

W kontenerze umiejscowiono zestaw PTSA, w którym zainstalowano adsorbenty do oczyszczania gazu ze związków mających wpływ na jego dalszą eksploatację m in.: sprężanie oraz wykorzystanie w procesie kogeneracji. Zbiorniki filtracyjne połączono w układzie szeregowym. Kolumny filtracyjne PTSA napełniono adsorbentami, dobranymi odpowiednio po analizie składu gazu. Zastosowano sorbenty organiczne oraz sorbent krzemio-organiczny na bazie: węgla aktywnego, żelu krzemionkowego, zeolitów naturalnych i haloizytu.

Na rys 5. pokazano schemat ogólny układu trigeneracyjnego, natomiast na rys. 6 przedstawiono zbudowany w ramach projektu układ trigeneracyjny do produkcji energii elektrycznej, ciepła i chłodu, który jest zasilany gazem dostosowanym do ciśnienia panującego na tłoczni odwiertu, montując dodatkowy reduktor ciśnienia w celu zapewnienia stałego ciśnienia 50 mbar i odpowiedni przepływ gazu 35 m³/h.

W końcowym procesie wykorzystania gazów kopalnianych, po ich oczyszczeniu, gaz jest poddawany sprężaniu w instalacji wyposażonej w czterostopniową sprężarkę gazową. Wyróżniając różne konstrukcje sprężarek tłokowych najkorzystniejszym



Rys. 5. Schemat ogólny układu trigeneracyjnego
Fig. 5. General diagram of the trigeneration system

Źródło: <https://www.odnawialne-firmy.pl/wiadomosci/pokaz/85,trigeneracja-co-to-jest>



Rys. 6. Układ trigeneracyjny zasilany oczyszczonym gazem kopalnianym
Fig. 6. Trigeneration system fed with cleaned mine gas

rozwiązaniem jest sprężarka zbudowana na bazie bloku układu tłokowo-korbowego ośmiocyldrowego, samochodowego silnika spalinowego w dwurzędowym układzie cylindrów V. Jeden rząd cylindrów stanowi gazowy silnik spalinowy z zapłonem iskrowym a drugi rząd specjalnie skonstruowana i wykonana czterostopniowa sprężarka CNG. Takie rozwiązanie pozwala na całkowite uniezależnienie się od zasilania energią elektryczną sprężarki co ma istotne znaczenie w przypadku dowolnego usytuowania sprężarki, niezależnie od źródła zasilania prądowego. W opracowanej technologii silnik przebudowano tak, aby stopień sprężania oraz geometria denka tłoka przystosowane były do spalania gazu pokopalnianego. Głowice cylindrów po stronie silnikowej bloku zostały wzmocnione i przystosowane do pracy przy wyższej temperaturze. Ponadto wałek rozrządu dostosowano do pracy z wydłużonym cyklem ssania i krótszym cyklem wydechu. Zastosowano układ zasilania o wydłużonej drodze i zwiększonej skuteczności tworzenia mieszanki paliwowo-powietrznej. Powietrze użyte do chłodzenia intercoolera (chłodnica międzystopniowa) wykorzystano również do chłodzenia cylindrów sprężarki. Układ zapłonowy silnika zmodyfikowano do spalania uboższych mieszanek paliwowo-powietrznych przez podwyższenie energii iskry. Ze względu na skład gazu pokopalnianego zastosowano świece z komorą wstępną. Układ odpowietrzenia miski korbowej silnika działał tak, że gaz przedostający

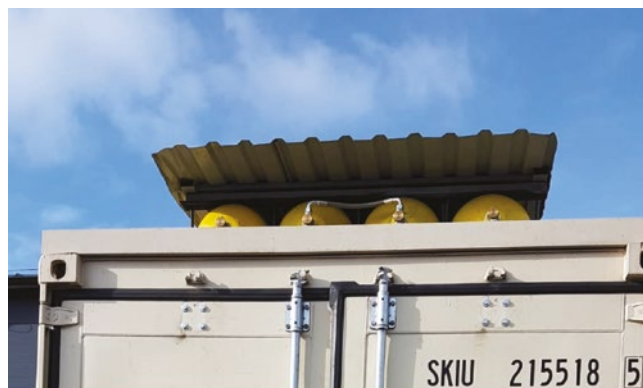
się do niej był kierowany do kolektora dolotowego, a następnie był spalany w silniku. W układzie chłodzenia zastosowano pompę elektryczną ze zmienną, regulowaną wartością przepływu masowego. Zastosowano również system dogrzewania w celu stworzenia możliwości uruchomienia silnika w niskich temperaturach. System pracy silnika spalinowego został rozbudowany o funkcje logiczne i zabezpieczające (system samodiagnostujący).

Na rys. 7 pokazano układ instalacji w kontenerze z silnikiem i z układem sprężania gazu.



Rys. 7. Układ instalacji w kontenerze z silnikiem i z układem sprężania gazu
Fig. 7. System of installation in a container with an engine and a gas compression system

Osuszanie i sprężanie gazu kopalnianego realizowano bez konieczności zewnętrznego zasilania elektrycznego. Zabudowany system trigeneracji jest przystosowany do pracy niezależnej oraz produkcji energii cieplnej odbieranej na zewnątrz. Ścieżka osuszania gazu kopalnianego wymagała dodatkowej energii cieplnej w celu stabilizacji jego temperatury oraz dla zapewnienia prawidłowego procesu jego osuszania. Po wytworzeniu energii elektrycznej przez trigenerator uruchamiała się wstępna sprężarka łopatkowa mająca na celu zasysanie gazu ze złoża, sprężenie go i zmagazynowanie w zbiorniku dodatkowym (żółte butle na dachu kontenera – rys. 8).



Rys. 8. Widok butli umieszczonych na dachu kontenera
Fig. 8. View of the cylinders placed on the roof of the container

Do najważniejszych elementów instalacji oczyszczania i wykorzystania gazów kopalnianych należy:

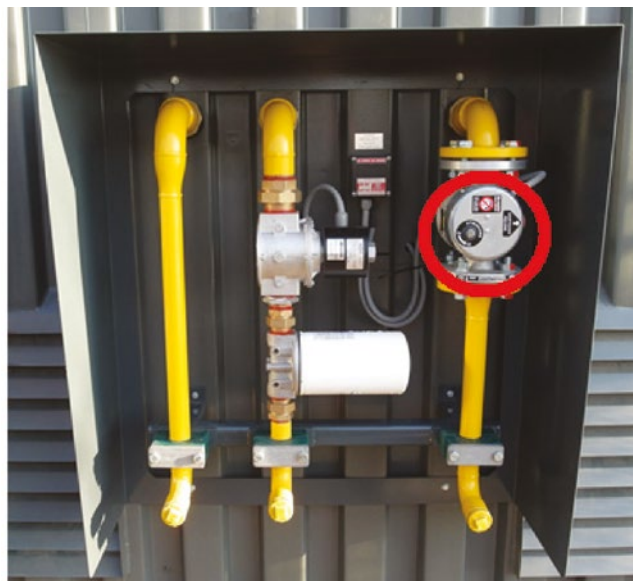
- zasilanie w energię elektryczną,
- zasilanie w energię cieplną,
- wstępne sprężanie,
- instalacja oczyszczania gazu,
- zasilanie silnika oczyszczonym gazem kopalnianym, który napędza silnik sprężarki,
- układ pomiaru parametrów sprężonego gazu.

Układ pracuje przy ustabilizowanym ciśnieniu wartości 5 barów. Gaz kopalniany podawany jest do rurki kriogenicznej, w której następuje jego rozdzielanie na gaz nagrany i schłodzony w stosunku 30 do 70%. Następnie gaz jest kierowany do zbiornika dwupłaszczowego w celu wykroplenia wilgoci, a następnie do zbiorników filtracyjnych, gdzie jest oczyszczany i podgrzewany do temperatury powyżej 25°C. Podczas oczyszczania, w sposób ciągły, kontroluje się temperaturę oraz różnicę ciśnień na każdym zbiorniku filtracyjnym. Na końcu obiegu umieszczono elektrozawór otwierający się w sposób automatyczny po uzyskaniu minimalnej wartości ciśnienia. Cykl sprężania gazu oczyszczonego odbywa się w czterech stopniach z międzystopniowym schładzaniem gazu do maksymalnego ciśnienia w zbiorniku docelowym wynoszącym 220 bar. Proces wytwarzania energii elektrycznej i cieplnej, oczyszczania i sprężania kontrolowany jest za pomocą algorytmu kontrolno-sterującego z uwzględnieniem wszystkich aktuatorów i sensorów, wartości granicznych i systemów bezpieczeństwa. Po zatankowaniu zbiornika i uzyskaniu prawidłowej charakterystyki sprężonego gazu, system automatycznie wyłącza się, równocześnie włączając system opróżniania międzystopniowego (proces drenowania) i odpowietrzenia miski korbowej tak, aby uzyskać gotowość do dalszej pracy, która następuje po opróżnieniu zbiornika.

Instalację pozyskania metanu oddzielono od rurociągu DN50 złączem izolującym. W dalszej części gaz przepływa przez przerywacz płomienia zabezpieczający instalację przed cofnięciem się płomienia i wybuchem. W sposób ciągły prowadzony jest pomiar temperatury i ciśnienia gazu. Pozyskiwany z kopalni gaz wprowadzany jest do separatora i filtra gazu, gdzie następuje filtracja gazu z cząstek stałych i ciekłych. Równocześnie prowadzony jest pomiar koncentracji metanu za pomocą czujnika wysokich koncentracji metanu włączonego w system układów pomiarowych instalacji pozyskania metanu. Po pomiarze gaz przez zawór szybkozamykający dostarczany jest do zbiornika przeciw pulsacyjnego zabezpieczonego zaworem bezpieczeństwa. Ze zbiornika przez filtr gaz jest doprowadzany do elektromagnetycznego zaworu dolotowego, a następnie do sprężarki tłokowej, która w czterech stopniach spręża gaz do ciśnienia 200 bar. Po ostatnim stopniu sprężarki prowadzony jest pomiar temperatury gazu. Zainstalowany zawór zwrotny zabezpiecza przed powrotem gazu do sprężarki w przypadku podłączenia podczas tankowania do nieopróżnionego zbiornika gazu na stronie tłocznej. Za zaworem zwrotnym prowadzono pomiar ciśnienia dwoma niezależnymi urządzeniami w celu zabezpieczenia układu przed niekontrolowanym wzrostem ciśnienia ponad 20 MPa. W przypadku przekroczenia Górnej Granicy Wybuchowości metanu zawór szybkozamykający umieszczony na dolocie do sprężarki tłokowej za dmuchawą, odcina dopływ gazu i zatrzymuje pracę sprężarki tłokowej oraz dmuchawy w trybie awaryjnym (rys. 9).

3. Podsumowanie

Wydzielanie się gazów kopalnianych, zawierających metan, do atmosfery jako gazu cieplarnianego jest bardzo niekorzystnym zjawiskiem. Problem ten szczególnie dotyczy naszego kraju, gdyż Polska jest największym emitentem metanu w Europie. Podjęta w artykule problematyka wykorzystywania gazów kopalnianych dla



Rys. 9. Zawór szybkozamykający sterowany z systemu dozymetrii
Fig. 9. Quick-closing valve controlled from the dosimetry system

celów energetyki pozwala na zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych poprzez spalanie metanu do dwutlenku węgla.

Znane są metody wykorzystywania gazów kopalnianych. Omówiony w artykule opis budowy doświadczalnego, innowacyjnego układu pozyskania, przygotowania i sprężania gazu kopalnianego ma na celu przedstawienie jednej z możliwości wykorzystania krajowych zasobów gazu kopalnianego do celów energetycznych na przykładzie zrealizowanej konstrukcji w układzie pozyskiwania, oczyszczania i sprężania metanu, a następnie wykorzystania jako źródła do zasilania układów trigeneracji produkcji prądu, ciepła i chłodu. ■

LITERATURA

- [1] Basics of High Pressure Measuring and Regulating Station Design Class #1010 E.D. "Rusty" Woomer, Jr., PE El Paso Pipeline Group P.O. Box 2511, Room N731A Houston, TX 77252.
- [2] Drzymała Z., Gniewek-Grzybczyk B., 2001 Energetyka cieplna i gazowa. Obsługa i eksploatacja urządzeń, instalacji i sieci, Kraków.
- [3] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/410 z dnia 14 marca 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2003/87/WE w celu wzmocnienia efektywnych pod względem kosztów redukcji emisji oraz inwestycji niskoemisyjnych oraz decyzję (UE) 2015/1814.
- [4] Experimental study on the Ranque-Hilsch vortex tube Citation for published version (APA): Gao, C. (2005). Experimental study on the Ranque-Hilsch vortex tube. Technische Universiteit Eindhoven. <https://doi.org/10.6100/IR598057>.
- [5] <https://www.odnawialne-firmy.pl/wiadomosci/pokaz/85, trigeneracja-co-to-jest>, dostęp: 13.09.2022 r.
- [6] Jaksa Z., Świątek A. 2004. "Sposób wykorzystania metanu jako przykład inwestycji proekologicznej w kopalni Budrys". *Wiadomości Górnicze* (12).
- [7] Nawrat S., 2008. „Wykorzystanie metanu z podziemnych kopalń węgla.” *Rynek Instalacyjny* (9).
- [8] Prace własne NGV AUTOGAS Sp. z o.o. w Krakowie zespół: Marek Rudkowski, Zdzisław Borowiec, Jarosław Michałowski, Tomasz Chruścicki, Antoni Ślebodziński, Marek Gwóźdź, Piotr Niewiadomski – 2015-2019.
- [9] Raport końcowy projektu WND-RPSL.01.00-24-063B/17-006.
- [10] Sopa J., Sopa D., Rudkowski M, Tałach Z. 2021 „Zastosowanie rurki wirowej vortex do separacji oleju i wody z mieszanin aerozolowych: gaz-olej, gaz-woda z gazu kopalnianego”, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* (3).