

**Maciej Kaliski\*, Piotr Janusz\*\*, Adam Szurlej\*\*\***

## **PODZIEMNE MAGAZYNY JAKO ELEMENT ZAPEWNIAJĄCY CIĄGŁOŚĆ DOSTAW GAZU ZIEMNEGO**

### **1. WPROWADZENIE**

Jednym z elementów zapewniającym stały i stabilny rozwój państw i społeczeństw jest dostęp do nośników energii. W chwili obecnej zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego państwa, regionu jest równie istotne jak zapewnienie bezpieczeństwa militarnego. W ostatnim okresie pojęcie bezpieczeństwa energetycznego jest dość często używane, czasami można odnieść wrażenie że jest ono nadużywane. Bezpieczeństwo energetyczne w zakresie sektora gazowego zostało zdefiniowane zarówno na poziomie krajowym – przez poszczególne państwa, jak i przez organizacje ponad narodowe. Zgodnie z definicją przyjętą przez Unię Europejską bezpieczeństwo energetyczne należy rozumieć jako zdolność gazowego systemu przesyłowego do zapewnienia ciągłych i niezawodnych dostaw gazu do odbiorców na zasadach ekonomicznych oraz zdolność do stawiania czoła przerwom w dostawach gazu ziemnego [4]. Bezpieczeństwo energetyczne można rozpatrywać w kilku aspektach, jako [5]:

- bezpieczeństwo krótkookresowe (operacyjne) aktualne w czasie bieżącym,
- bezpieczeństwo sezonowe (taktyczne), planowane i przewidywane na określony sezon,
- bezpieczeństwo średniookresowe, planowane i przewidywane na najbliższe kilka lat,
- bezpieczeństwo długookresowe (strategiczne) planowane i przewidywane na dalsze lata.

Działania państwa powinny zmierzać zarówno do zapewnienia bezpieczeństwa krótkookresowego, sezonowego, jak i do bezpieczeństwa długookresowego. Pozytywna ocena analizy stanu bezpieczeństwa energetycznego w każdym z wymienionych aspektów pozwala na stwierdzenie, że państwo jest bezpieczne pod względem dostępu do surowców energetycznych.

W dalszej części niniejszego artykułu zostaną przeanalizowane działania państw podejmowane w celu zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego krótkookresowego, sezonowego. Decydujący wpływ na te aspekty bezpieczeństwa w sektorze gazowym ma infrastruktura, a szczególnie podziemne magazyny gazu.

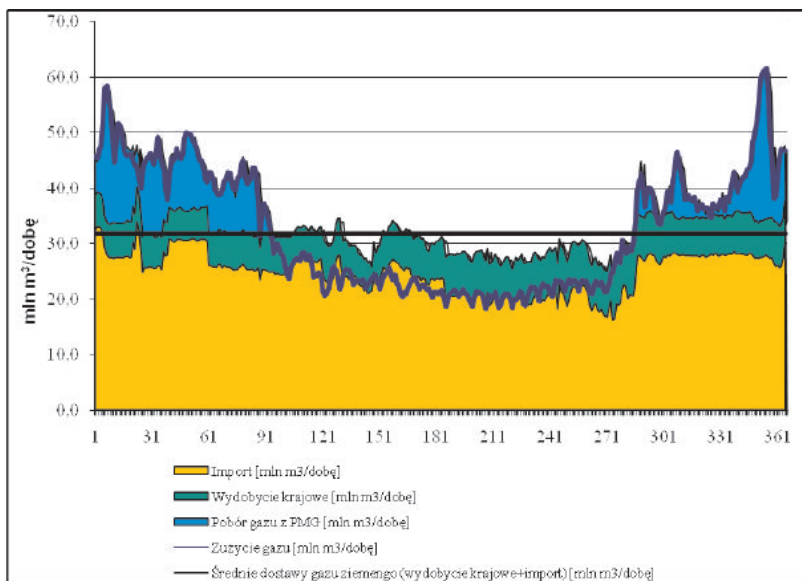
---

\* Departament Ropy i Gazu, Ministerstwo Gospodarki, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

\*\* Departament Ropy i Gazu, Ministerstwo Gospodarki

\*\*\* Departament Ropy i Gazu, Ministerstwo Gospodarki, Wydział Energetyki i Paliw AGH, Kraków

Biorąc pod uwagę nierównomierności w zużyciu gazu ziemnego spowodowane wahaniami sezonowymi (okresy wiosna-lato oraz jesień-zima) niezbędne stało się gromadzenie nadwyżek gazu w okresach, kiedy jego zużycie malało (wiosna-lato), aby móc pokryć jego wzrost w okresach charakteryzujących się zwiększonym zużyciem (jesień-zima). W początkowym okresie rozwoju branży gazowniczej na Świecie nadwyżki gazu ziemnego magazynowano w metalowych magazynach naziemnych. Pierwszy tego typu magazyn o pojemności kilkudziesięciu tysięcy  $m^3$ , mający na celu magazynowanie gazu dla przemysłu został wybudowany w okolicach Chicago – USA w połowie XIX wieku [7]. Biorąc pod uwagę, że magazyny naziemne posiadają pewne ograniczenia, między innymi ograniczoną pojemność w stosunku do zapotrzebowania na gaz, oraz konieczność zapewnienia właściwych warunków bezpieczeństwa eksploatacji podjęto prace mające na celu umożliwienie magazynowania większych ilości gazu. Wynikiem tych prac była koncepcja magazynowania gazu ziemnego w strukturach geologicznych. W 1915 roku w Kanadzie wybudowano pierwszy na Świecie podziemny magazyn gazu ziemnego w szcerpanym złożu. Kolejnym podziemnym magazynem w szcerpanym złożu był PMG Zoar-Erie zbudowany w 1915–1916 r. w pobliżu Concord w stanie Nowy Jork – USA. Pojemność całkowita tego magazynu wynosiła 62 mln  $m^3$ . Pierwszy PMG w strukturach zawodnionych został wybudowany także w USA w 1946 roku. Magazyn ten został wybudowany w zawodnionym wyeksploatowanym złożu gazu ziemnego. Rozwój podziemnego magazynowania gazu w Europie nastąpił w II połowie XX wieku. Pierwszy PMG w Europie powstał w roku 1954 w Polsce – PMG Roztoki. Był to magazyn w szcerpanym złożu gazu ziemnego. Natomiast w 1956 roku we Francji powstał pierwszy w Europie PMG w strukturze zawodnionej [7]. Na rysunku 1 przedstawiono roczny cykl zapotrzebowania na gaz ziemny w Polsce z uwzględnieniem PMG.



**Rys. 1.** Cykl zapotrzebowania na gaz ziemny w Polsce z uwzględnieniem roli PMG w roku 2009 (opracowanie własne na podstawie danych Ministerstwa Gospodarki)

## 2. CHARAKTERYSTYKA PMG

Każdy PMG charakteryzowany jest przez następujące parametry techniczne:

- Pojemność czynna – jest to ilość gazu jaka jest możliwa do zatłoczenia do magazynu pomiędzy minimalnym a maksymalnym ciśnieniem pracy. Pojemność ta jest możliwa do odbioru w czasie eksploatacji magazynu.
- Pojemność buforowa – jest to ilość gazu która przez cały czas istnienia magazynu znajduje się w nim. Wielkość pojemności buforowej uwarunkowana jest tym aby w stanie gdy magazyn jest „pusty” woda złożowa znajdowała się w bezpiecznej odległości od systemu odwiertów.
- Pojemność całkowita – jest to suma pojemności czynnej i buforowej.
- Maksymalne i minimalne ciśnienie pracy. W przypadku podziemnych magazynów w szcerpanych złożach wartość maksymalnego ciśnienia pracy jest uwarunkowana początkowym ciśnieniem złożowym. Przyjmuje się że maksymalne ciśnienie nie powinno przekraczać ciśnienia początkowego. Natomiast w przypadku pozostałych typów magazynów ciśnienie to nie powinno przekraczać wytrzymałość skały złożowej. Wartość ciśnienia minimalnego jest uwarunkowana ciśnieniem odbioru gazu z uwzględnieniem spadku ciśnienia na przygotowanie gazu do transportu.
- Maksymalne natężenie poboru gazu – jest to maksymalna ilość gazu jaką można odebrać z magazynu w jednostce czasu. Maksymalne natężenie poboru określane jest w zależności od typu magazynu oraz od parametrów skały zbiornikowej.

Podziemne magazyny gazu można podzielić na następujące rodzaje obiektów [6, 7, 8]:

- w szcerpanych złożach gazu ziemnego lub ropy naftowej,
- w warstwach wodonośnych (*aquifer*),
- w kawernach solnych lub grotach skalnych,
- w wyeksploatowanych kopaniach węgla kamiennego lub soli kamiennej (rys. 2).

**PMG w szcerpanych złożach gazu.** Jest to najbardziej rozpowszechniony rodzaj PMG. Spowodowane jest to tym, że szcerpane złoża gazu posiada na ogół przygotowaną infrastrukturę zarówno do zatłaczania gazu jak i do jego odbioru: siatka odwiertów, system przygotowania gazu do transportu. Utworzenie tego typu magazynu wymaga stosunkowo najmniejszych nakładów. Planując budowę PMG w szcerpanym złożu należy optymalnie wybrać czas przerwania wydobycia ze złoża, wybranie tego momentu w sposób właściwy znacznie skraca okres budowy magazynu oraz zmniejsza nakłady poniesione na budowę. Podczas kolejnych cykli zatłaczania gazu ziemnego do magazynu jego pojemność porowa (tym samym jego pojemność czynna) zwiększa się aż do osiągnięcia wartości maksymalnych przy określonym ciśnieniu roboczym. Biorąc pod uwagę, że PMG w szcerpanych złożach pracują w cyklach rocznych (w ciągu roku następuje jeden cykl zatłoczenia i odbioru gazu) czas dochodzenia nowoutworzonych PMG do zakładanych parametrów eksploatacyjnych waha się w granicach od 3 do 5 lat. W tym okresie następuje wypieranie wód złożowych, które przeniknęły do złoża po zakończeniu jego eksploatacji, a także

odbudowywanie pojemności buforowej. Dlatego też niezmiernie ważne jest wybranie odpowiedniego momentu na zaprzestanie eksploatacji złoża gazu ziemnego, jeśli w tym w złożu ma być utworzony PMG [6, 7, 8].

**PMG w warstwach wodonośnych.** Możliwość utworzenia podziemnego magazynu gazu ziemnego w warstwie wodonośnej (*aquifer*) istnieje tylko wówczas, gdy są spełnione dwa podstawowe warunki geologiczne:

- warstwa, do której będzie się wtlaczać gaz, jest zbudowana ze skał o dużej porowatości (piasku, piaskowca);
- nad warstwą porowatą znajduje się nieprzepuszczalny nadkład zapobiegający „ucieczkom” magazynowanego gazu.

Gaz wtlaczany do warstwy porowatej wypycha z niej wodę, która wraca w miarę późniejszego pobierania gazu. Granica zetknięcia gazu z wodą przesuwa się więc, a „ruchoma” woda zamyka i uszczelnia magazyn (także od spągu, czyli dolnej płaszczyzny ograniczającej warstwę magazynującą).

Objętość gazu, jaką można maksymalnie zmagazynować, zależy od objętości i porowatości warstwy oraz od temperatury i średniego ciśnienia, pod którym gaz ma być magazynowany (ciśnienie zmienia się podczas wtlaczania czy odbioru gazu). Warstwy wodonośne posiadają jeden z niepodważalnych walorów – poziom magazynowy posiada doskonałe własności zbiornikowe oraz obiekty te znajdują się dość często w bliskim sąsiedztwie dużych odbiorców lub dużych miast i aglomeracji miejskich. Struktury zawodnione wymagają wykonania bardzo dużej ilości otworów obserwacyjnych i kontrolnych, wymagają dokładnych, pracochłonnych i kosztownych prac związanych z badaniem szczelności całego magazynu i nadległych warstw uszczelniających, wymagają opanowania nowych rozwiązań technicznych i technologicznych. Te istotne mankamenty wpływają na ograniczenie wykorzystanie struktur zawodnionych w praktyce przemysłowej, ponieważ poważnie zwiększają one koszty budowy magazynu [6, 7, 8].

**PMG w kawernach solnych.** Magazynowanie gazu ziemnego w tego typu magazynach odbywa się w kawernach (komorach) wykonanych w złożu soli. Wyługowanie kawern magazynowych na gaz ziemny w złożu soli kamiennej nie zawsze jest możliwe. Aby wykonanie kawern było możliwe złożo powinno spełniać określone warunki geologiczne, w tym odpowiednią formę, wielkość i głębokość zalegania oraz sól powinna posiadać odpowiedni skład. Niezmiernie istotnym uwarunkowaniem jest również usytuowanie innych warstw w złożu i otaczającym górotworze.

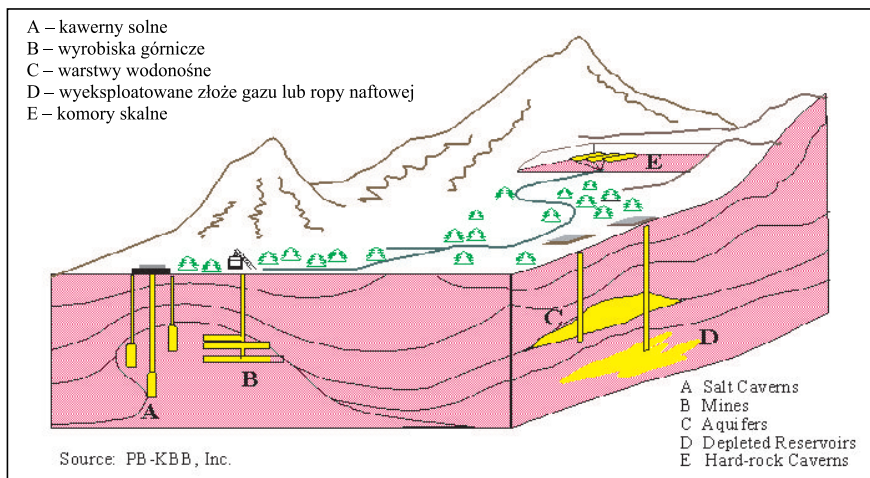
Oprócz uwarunkowań geologicznych liczą się również uwarunkowania, które można zaliczyć do technologicznych i ekonomicznych. Uruchomienie w określonym złożu soli magazynu gazu ziemnego nie jest uzasadnione, jeśli złożo to znajduje się zbyt daleko od trasy gazociągu magistralnego lub jeśli występują nadmierne koszty związane z zapewnieniem dla instalacji naziemnej magazynu zasilania energią elektryczną oraz wodą do celów technologicznych. Technologia eksploatacji podziemnych magazynów gazu ziemnego w złożach soli jest złożona i specyficzna, praca instalacji naziemnej musi być odpowiednio

skorelowana z geofizycznymi warunkami pracy komór podziemnych. Ponadto natężenie poboru dobiera się w taki sposób, aby podczas odbioru gazu nie mogły zaistnieć warunki umożliwiające osadzanie się hydratów. Pomimo że przepustowość orurowania odwiertu jest duża, to jednak wykorzystuje się ją tylko częściowo – w takim stopniu, aby nie zagrażało wytworzenie się hydratów. Ze względu na swoją specyfikę magazyny gazu w kawernach solnych charakteryzują się znacznie większymi natężeniami odbioru gazu niż wyżej wymienione typy PMG oraz posiadają jeden z niepodważalnych walorów – mogą spełniać rolę szczytowych magazynów gazu. Ponadto tego typu magazyny kawernowe umożliwiają uzyskanie dużych pojemności magazynowych przy zajęciu niewielkich powierzchni terenu, kawerny solne są bardzo dyspozycyjne, można do nich wielokrotnie w ciągu roku zatłaczać i odbierać gaz, a praktycznie kawerny solne mogą być uzupełnieniem dla innych typów PMG. Są to istotne czynniki wpływające na budowę kawernowych PMG.

PMG mogą służyć do pokrywania krótkotrwałych bardzo dużych deficytów gazu (możliwych np. w razie awarii systemu gazociągów przesyłowych). Potrzebna jest wtedy odpowiednia dyspozycyjność PMG, tj. możliwość łatwego uzyskania bardzo dużego *natężenia odbioru* gazu z magazynu. Warunki takie spełniają podziemne magazyny gazu w kawernach. Magazyny tego rodzaju można również dostosować do pracy rewersyjnej w krótkich cyklach [6, 7, 8].

**PMG w wyrobiskach górniczych.** Podziemne magazyny gazu ziemnego są również (jednak bardzo rzadko) budowane w wyeksploatowanych wyrobiskach górniczych i w tzw. pustkach skalnych. W przypadku tego rodzaju PMG zasadnicze znaczenie ma szczelność i organizacja stałej kontroli szczelności. PMG w wyrobiskach górniczych lub grotach w naturalnym środowisku ma bardzo ograniczony zasięg i pojedyncze tego typu magazyny występują tylko w niektórych krajach i wykorzystywane są praktycznie lokalnie. W niektórych krajach, gdzie brak jest podanych powyżej obiektów dla magazynowania gazu, prowadzone są eksperymenty i próby wykorzystania różnego rodzaju grot i komór górskich w strefie przypowierzchniowej. Wewnętrzna powierzchnia tych komór czy grot górskich jest dodatkowo uszczelniana substancją plastikową lub cienką powłoką metalową. Z wielu powodów takie komory w górach mają cechy zbliżone do sztucznych magazynów (np. do metalowych magazynów) i mogą być zaliczone do podziemnych magazynów gazu, głównie z uwagi na brak potrzeby utrzymywania w nich tzw. „buforu”, a w wielu przypadkach w tego typu PZG gaz buforowy nie występuje. Szczelność tego typu obiektów jest problematyczna, w związku z tym są magazynowane niewielkie ilości gazu ziemnego przy nieznacznym ciśnieniu [6, 7, 8].

Podziemne magazyny gazu w szcerpanych złożach i w warstwach wodonośnych zalicza się do obiektów typu porowego i porowo-szczelinowatego, w których decydującą rolę (np. dla wydajności otworów) odgrywają czynniki i aspekty geologiczne. Największym ograniczeniem w obiektach typu porowego w procesie odbioru gazu jest samo złożo, jednak przy zastosowaniu dużych depresji zbliżonych do tzw. „granicznych”, przy wykorzystaniu walorów budowy geologicznej, specyfiki i optymalnej strefy złoża można uzyskać dużą wydajność i dużą moc PMG.



**Rys. 2.** Rodzaje podziemnych magazynów gazu [10]

Natomiast w podziemnych magazynach gazu w kawernach solnych i w wyrobiskach górniczych istotną rolę odgrywiają aspekty techniczne, ponieważ ograniczenie występuje nie po stronie złoża-kawerny magazynowej czy wyrobiska górniczego lub groty w naturalnym środowisku, a w dużym stopniu zależy od ograniczonej możliwości i przepustowości wyposażenia odwiertu i instalacji napowierzchniowych. W tych obiektach występują w zasadzie ograniczenia natury technicznej [6, 7, 8].

PMG odgrywiają ważną rolę w zapewnieniu ciągłości dostaw gazu w normalnych warunkach (pobory szczytowe lub sezonowe), jak też w wyjątkowych i kryzysowych sytuacjach spowodowanych przerwami w dostawach gazu lub okresowym brakiem gazu na rynku. Magazyny gazu stanowią istotną część systemu gazowniczego w każdym kraju. Podziemne magazyny gazu ziemnego są ponadto w wielu krajach eksploatowane jako rezerwa strategiczna zabezpieczająca przed ewentualną niepewnością dostaw gazu z importu.

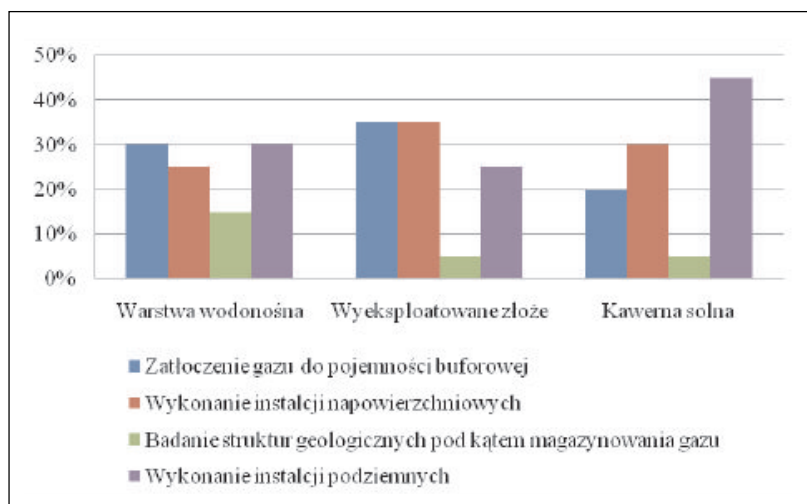
O bardzo istotnej roli PMG w zapewnieniu bezpieczeństwa energetycznego krótkookresowego i sezonowego można się było przekonać w czasie trwania rosyjsko-ukraińskiego kryzysu gazowego z początku 2009 roku. W czasie trwania tego kryzysu dostawy gazu ziemnego z Rosji do odbiorców europejskich w okresie od 7 do 21 stycznia 2009 roku zostały całkowicie wstrzymane. Należy zaznaczyć, że obecnie głównymi odbiorcami rosyjskiego gazu są kraje Unii Europejskiej (szczególnie Niemcy i Włochy) i Turcja, odbierają one ponad 68% gazu eksportowanego przez Rosję. Natomiast ponad 64% rosyjskiego surowca przesyłanego do Europy jest transportowane przez terytorium Ukrainy. Przerwami dostaw gazu do odbiorców europejskich, w skutek kryzysu gazowego rosyjsko-ukraińskiego, w różnym stopniu dotkniętych zostało 15 państw. Przeciwdziałanie skutkom kryzysu możliwe było między innymi dzięki posiadanym, przez państwa dotknięte kryzysem, zasobom gazu zgromadzonym w podziemnych magazynach [3].

Omawiając zagadnienia związane z podziemnymi magazynami gazu należy także wspomnieć o nakładach inwestycyjnych ponoszonych na budowę PMG, w tabeli 1 zamieszczono wielkość nakładów inwestycyjnych oraz średni czas budowy w zależności od rodzaju PMG. Natomiast na rysunku 3 przedstawiono podział nakładów inwestycyjnych na poszczególne etapy prac przy budowie podziemnych magazynów gazu.

**Tabela 1**

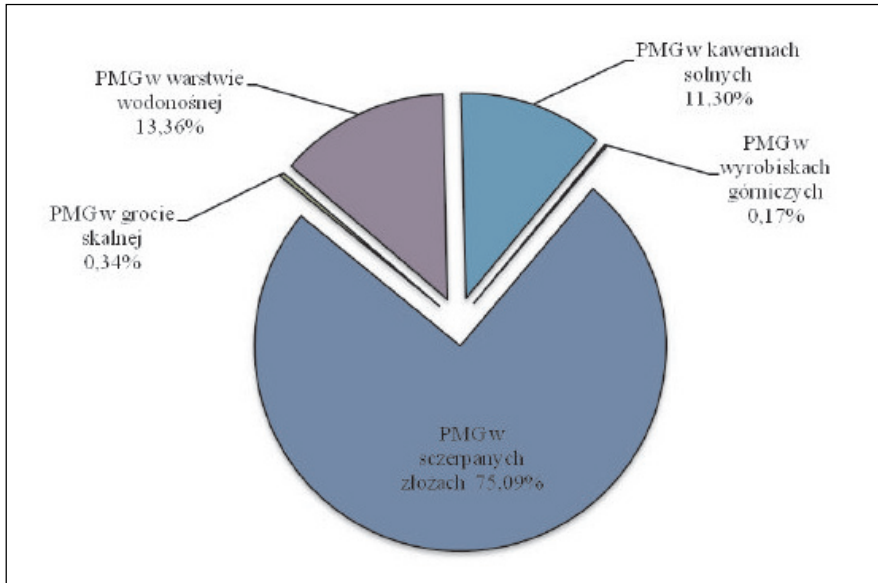
Średnie nakłady inwestycyjne i średni okres budowy podziemnych magazynów gazu (opracowanie własne na podstawie [11])

Rodzaj PMG	Średnie nakłady inwestycyjne [euro/m <sup>3</sup> ]	Średni okres budowy [lata]
Warstwa wodonośna	0,7–1	10–12
Wyeksploatowane złoża	0,6–1	5–8
Kawena solna	0,8–1,2	5–10



**Rys. 3.** Podział nakładów inwestycyjnych na poszczególne etapy budowy PMG (opracowanie własne na podstawie [9, 11])

W chwili obecnej na Świecie eksploatowanych jest 630 podziemnych magazynów gazu o łącznej pojemności czynnej około 352 mld m<sup>3</sup>. Wśród obecnie eksploatowanych magazynów najwięcej zostało utworzonych w szcerpanych złożach – około 470, następnie w warstwach wodonośnych – około 82 PMG oraz w kawernach solnych – około 75. Na rysunku 4 przedstawiono procentowy udział poszczególnych typów PMG w obecnie eksploatowanych magazynach.



**Rys. 4.** Udział poszczególnych typów PMG w obecnie eksploatowanych pojemnościach magazynowych (opracowanie własne na podstawie [2])

W tabeli 2 przedstawiono ilość i rodzaje podziemnych magazynów gazu posiadanych przez wybrane kraje. Na uwagę zasługuje fakt że około 64% z wszystkich PMG obecnie eksploatowanych na świecie funkcjonuje w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej. Jednak należy podkreślić, że są to stosunkowo niewielkie magazyny gdyż ich sumaryczna pojemność czynna stanowi około 34% PMG obecnie eksploatowanych na Świecie. Kolejnym państwem posiadającym znaczne wielkości pojemności magazynowych jest Rosja, w jej posiadaniu jest 25 magazynów o łącznej pojemności czynnej 64 mld m<sup>3</sup> – co stanowi około 18% ogółu pojemności obecnie eksploatowanej. Pozostała pojemność czynna obecnie eksploatowana na Świecie jest w posiadaniu następujących państw: Ukraina – około 9%, Kanada oraz Niemcy po około 5%, Francja oraz Włochy po około 3%. Następnie Austria, Norwegia, Wielka Brytania oraz Węgry posiadają po około 1,2% z tej pojemności. Pozostała pojemność czynna jest w posiadaniu pozostałych państw, jednak ich udział nie przekracza 1%. Na uwagę zasługuje fakt, że obok scharakteryzowanych na wstępie typów podziemnych magazynów gazu do pokrywania szczytowych zapotrzebowań na ten surowiec stosowany jest gaz ziemny w formie skroplonej (*Liquefied Natural Gas*). Istniejące obecnie instalacje do regazyfikacji gazu skroplonego służą między do pokrywania szczytowego czy też sezonowego wzrostu zapotrzebowania na gaz. W tabeli 3 przedstawiono wielkość pokrycia rocznego zapotrzebowania na gaz w wybranych krajach przez gaz zgromadzony w PMG będących we władaniu tych państw.

**Tabela 2**

Liczba i rodzaje podziemnych magazynów gazu posiadanych przez wybrane kraje  
(opracowanie własne na podstawie [2])

<b>Kraj</b>	PMG w szer- panych złożach gazu	PMG w warstwie wodo- nośnej	PMG w kawernach solnych	PMG w wyro- biskach górn- czych	PMG w grocie skalnej	LNG	SUMA	Łączna pojemność czynna [mln m <sup>3</sup> ]
Austria	7						7	4 249
Belgia		1	1				2	655
Dania		1	1				2	1001
Francja		12	3				15	12 142
Niemcy	15	9	21	1			46	19 866
Włochy	12						12	12 870
Łotwa		1					1	2300
Norwegia	3					1	4	5078
Hiszpania	3						3	2726
Szwecja					1		1	9
Turecja	3		1				4	3035
Wielka Brytania	2		3		1		6	4523
Bułgaria	1						1	350
Chorwacja	1						1	550
Czechy	5		1		1		7	2501
Węgry	5						5	4190
Irlandia	1						1	198
Polska	5		1				6	1660
Portugalia			1				1	124
Rumunia	1						1	3162
Serbia	1						1	50
Słowacja	1						1	2770
Białoruś	2						2	
Rosja	17	8					25	64 000
Australia	4				1		5	1309
Ukraina	11	2					13	32 130
Kanada	15		2			3	20	19 157
USA	326	43	34				403	119 220
<b>SUMA</b>	<b>441</b>	<b>77</b>	<b>69</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>596</b>	<b>319 825</b>

**Tabela 3**

Możliwość pokrycia rocznego zapotrzebowania na gaz ziemny  
przez podziemne magazyny gazu [%]  
(opracowanie własne na podstawie [1, 2])

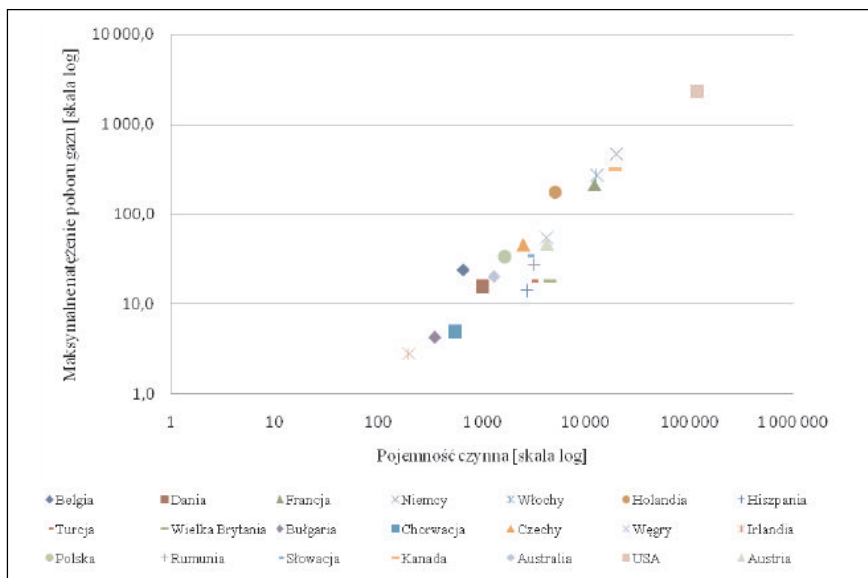
<b>Kraj</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
Łotwa	112,20	112,20	112,20	112,20	112,20	112,20	112,20	112,20	112,20
Słowacja	41,08	39,71	42,15	43,49	44,92	41,52	45,67	45,61	48,60
Austria	34,81	32,79	35,53	32,13	29,68	28,20	30,31	46,06	44,73
Węgry	29,72	27,65	28,31	25,61	26,00	25,37	27,56	31,83	34,92
Czechy	24,66	23,13	23,67	25,11	24,67	23,80	24,57	27,20	28,75
Francja	26,42	25,16	25,90	24,94	24,27	23,58	24,49	25,41	27,47
Niemcy	23,34	23,04	22,80	22,86	22,04	21,97	21,95	23,09	24,23
Rumunia	4,91	9,45	11,70	13,66	17,17	21,50	20,41	22,94	21,81
Dania	16,53	15,88	13,73	13,46	14,62	16,20	16,47	16,52	21,76
Kanada	18,52	19,48	19,47	18,25	18,54	17,97	19,71	19,69	19,16
USA	16,70	17,76	17,22	17,79	17,93	18,31	18,75	17,94	18,14
Włochy	19,64	19,61	19,73	17,90	17,24	16,17	17,12	16,58	16,56
Australia	6,16	5,74	5,84	5,84	5,74	5,98	5,45	5,26	13,78
Holandia	6,35	6,20	6,23	6,20	6,06	6,31	6,50	6,70	13,16
Polska	10,81	10,91	13,04	15,31	13,09	13,20	12,06	12,72	11,94
Bułgaria	6,06	6,67	18,52	19,64	19,64	13,23	15,69	18,18	10,61
Turcja			10,92	9,09	7,24	5,95	9,95	8,65	8,43
Hiszpania	7,54	7,77	6,80	8,99	7,74	7,30	7,02	6,74	6,99
Wielka Brytania	3,69	3,76	3,83	3,77	3,68	3,97	4,84	4,80	4,82
Irlandia								4,13	3,96
Belgia	4,78	4,88	4,30	3,98	3,85	3,95	3,74	3,88	3,85
Portugalia								3,19	2,70

Analizując informacje zawarte w tabeli 3, należy mieć na uwadze kierunki dostaw gazu ziemnego do poszczególnych państw. Kraje takie jak: Łotwa, Słowacja, Austria, Węgry, Czechy, Francja posiadają pojemności magazynowe, które pozwalają im na pokrycie od 27% do 48% rocznego zużycia gazu, wyjątkiem tutaj jest Łotwa, która z posiadanych pojemności magazynowych może pokryć ponad roczne zapotrzebowanie na gaz. Żaden z wymienionych krajów nie posiada krajowego wydobycia gazu, a ich głównym dostawcą błękitnego paliwa jest Rosja. Wyjątkiem w tej grupie jest Francja, która posiada 6 dostawców gazy ziemnego dostarczanego gazociągami, przy czym udział największego dostawcy nie przekracza 45%. Do Francji realizowane są także dostawy gazy w formie LNG. Kolejną grupą krajów, która pomimo zdywersyfikowania źródeł dostaw gazu ziemnego lub posiada-

nia własnego wydobycia tego surowca posiada znaczące pojemności PMG pozwalające na pokrycie od 24% do 13% rocznego zapotrzebowania na gaz jest:

- Niemcy – 15% rocznego zużycia gazu pochodzi z wydobycia własnego pozostała ilość jest dostarczana przez 5 dostawców przy czym udział największego wynosi ok. 45% w rocznym zużyciu,
- Rumunia – około 80% rocznego zużycia pochodzi z wydobycia własnego,
- Dania, Kanada, Australia, Holandia – wydobycie własne pokrywa całość rocznego zapotrzebowania na gaz, nadwyżki są eksportowane,
- USA – około 88% rocznego zużycia pochodzi z wydobycia własnego, pozostała ilość jest importowana z Kanady,
- Włochy – około 10% rocznego zużycia pochodzi z własnego wydobycia, pozostała wielkość jest dostarczana przez 5 dostawców, przy czym udział największego (Rosji) nie przekracza 45% rocznego zużycia.

Do trzeciej grupy krajów które posiadają najmniejsze pojemność PMG należą: Polska, Bułgaria, Turcja, Hiszpania, Irlandia, Belgia, Portugalia. Należy zaznaczyć że Hiszpania i Portugalia posiadają terminale do odbioru LNG, dzięki którym pokrywają odpowiednio około 75% i około 56% rocznego zapotrzebowania na gaz. W przypadku Polski i Bułgarii PMG pozwalają na pokrycie około 11% rocznego zapotrzebowania na gaz, natomiast w przypadku Turcji wielkość ta wynosi około 8%. Należy zaznaczyć że głównym dostawcą gazu do Polski oraz Turcji jest Rosja, natomiast w przypadku Bułgarii jest ona jedynym dostawcą.



**Rys. 5.** Zależność pomiędzy pojemnością czynną PMG oraz maksymalnym natężeniem odbioru gazu z PMG (opracowanie własne na podstawie [2])

Jak wspomniano na wstępie, każdy z PMG jest charakteryzowany przez określone parametry techniczne. Przy czym decydujący wpływ na eksploatację magazynu oraz wpływ na zapewnienie bezpieczeństwa krótkookresowego i sezonowego posiadają następujące parametry techniczne:

- pojemność czynna,
- maksymalne natężenie poboru.

W zależności od wielkości tych parametrów uzależnione jest, w jakiej wielkości gaz z PMG może pokrywać dobowe zapotrzebowanie oraz jak długo PMG może uzupełniać dostawy gazu. Na rysunku 5 przedstawiono korelacje wymienionych parametrów w istniejących magazynach. Z rysunku tego wynika, że najlepszą charakterystykę techniczną posiadają PMG zlokalizowane w: USA, Niemczech, Kanadzie, Włoszech, Francji, Holandii.

### 3. PODSUMOWANIE

Mając na uwadze zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego, w krótkim okresie należy dążyć do posiadania jak największych, uzasadnionych ekonomicznie, pojemności magazynowych. O roli podziemnych magazynów gazu w zapewnieniu ciągłości dostaw gazu można się było przekonać podczas kryzysu gazowego rosyjsko-ukraińskiego na początku 2009 roku, kiedy to dostawy rosyjskiego gazu przesyłanego do odbiorców europejskich zostały wstrzymane na 14 dni. Warto podkreślić, że w tamtym okresie do grona państw, które praktycznie nie ucierpiały, należy zaliczyć Ukrainę. W tym czasie pokrycie brakujących ilości gazu następowało głównie z rezerw gazu zgromadzonych w PMG. Z przeprowadzonej analizy wynika, że jednym z elementów zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego kraju, obok zdywersyfikowania źródeł i kierunków dostaw gazu jest zapewnienie ciągłości jego dostaw na wypadek przerw w dostawach lub awarii sieci przesyłowej. Doskonałym sposobem na przeciwdziałanie takim zdarzeniom są rezerwy gazy zgromadzone w PMG. Potwierdzeniem tego są kraje, takie jak Niemcy, Francja, Włochy, Rumunia, które pomimo to, że posiadają zróżnicowane źródła i kierunki dostaw gazu bądź znaczące wydobywanie własnego surowca, mają również znaczące pojemności magazynowe pozwalające na minimalizację ryzyka związanego z przerwami dostaw błękitnego paliwa. Rozważając budowę bądź rozbudowę pojemności magazynowych, należy mieć na uwadze, że bardzo istotnym elementem z punktu zapewnienia ciągłości dostaw jest nie tylko wielkość pojemności roboczej PMG, ale także możliwość odbioru tego gazu w jak najkrótszym czasie.

### LITERATURA

- [1] BP 2009: *BP Statistical Review of World Energy*. [www.bp.com](http://www.bp.com)
- [2] International Energy Agency – *Natural Gas Information 2000–2009*

- [3] Kaliski M., Szurlej A., Janusz P.: *Wpływ kryzysu gazowego rosyjsko – ukraińskiego z początku 2009 r. na rynek gazu ziemnego w Polsce*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 7–8, 2 – 5, 2009
- [4] Kaliski M., Szurlej A., Janusz P.: *Kryzys gazowy rosyjsko-ukraiński z początku 2009 roku: geneza-przebieg-skutki*. Konferencja „Marketing w gazownictwie”, Zakopane, czerwiec 2009
- [5] Kaliski M., Staśko D.: *Bezpieczeństwo energetyczne w gospodarce paliwowej Polski*. Studia Rozprawy Monografie nr 138, Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2006
- [6] Kidybiński A., Siemek J.: *Podziemne magazyny gazu w zaniechanych kopalniach węgla*. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2006
- [7] Michałowski W.S., Trzop S.: *Rurociągi dalekiego zasięgu*. Wydawnictwo Odyseum, Warszawa 2006 (wydanie V zmienione i rozszerzone)
- [8] Molenda J.: *Gaz ziemny, paliwo i surowiec*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne (wydanie trzecie uzupełnione)
- [9] Ramboll: *Study on natural gas storage in the EU-Raport*. Październik 2008
- [10] Materiały z konferencji „Underground Storage of Natural Gas – Today and Tomorrow” – 28–31 maja 2007 Kraków (prezentacja F. Verga, Politecnico di Torino IMPROVING PERFORMANCES BY INJECTING ABOVE INITIAL PRESSURE)
- [11] „Study of Underground Gas Storage in Europe and Central Asia” – Working Party on Gas, Geneva, 19 stycznia 2010