

Analiza możliwości zwiększenia pojemności czynnej podziemnych magazynów gazu w Polsce

Analysis of the possibility of increasing the working capacity of underground gas storage facilities in Poland

Bogdan Filar, Mariusz Miziołek, Renata Cicha-Szot, Agnieszka Moska, Tadeusz Kwilosz, Tadeusz Szpunar

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: Głównym zadaniem PMG jest bilansowanie zmiennego zapotrzebowania na gaz w ciągu całego roku oraz zapewnienie rezerw strategicznych na wypadek przerw w jego dostawach. Jeszcze niedawno w Europie zamykano niektóre podziemne magazyny gazu, gdyż taniej można było kupić gaz dostępny na rynku „spotowym”. Wojna, którą rozpętała Rosja, zmieniła znaczenie podziemnych magazynów gazu. W latach 2015–2021 w Polsce nastąpił wzrost zużycia gazu ziemnego o 5 mld m³ – z 15 do 20 miliardów. Szybki wzrost zużycia gazu wymusza dostosowanie krajowego systemu PMG do nowego zapotrzebowania rynkowego. W związku z tym, że proces inwestycji w nowe pojemności magazynowe trwa od 5 do 8 lat, to inwestycje te mają zaspokajać głównie przyszłe potrzeby. Potrzeby magazynowe bezpośrednio wynikają z rzeczywistego zużycia gazu ziemnego, jednakże proces inwestycyjny wymaga prognozowania długoterminowego zużycia gazu. Firma Gaz-System S.A. w planie rozwoju przedstawiła dwie prognozy zużycia gazu do roku 2040, bazową i dynamiczną. Prognoza bazowa zakłada wzrost zużycia gazu z 20 mld m³ w 2021 roku do 34,7 mld m³. Natomiast prognoza wykonana w wariacie dynamicznym przewiduje wzrost zużycia gazu do 37,3 mld m³. Niestety z powodu obecnych perturbacji na europejskim rynku gazowniczym trudno jest w tej chwili przedstawić wiarygodną długoterminową prognozę zużycia gazu ziemnego w Polsce. Niniejsza analiza ma na celu wykonanie prognozy długoterminowych potrzeb magazynowych. Obecnie sumaryczna pojemność PMG wysokometanowych w Polsce wynosi 3,23 mld m³. W związku z tym, że ryzyko przerw w dostawach gazu związane jest z dostawami gazu z importu, zapotrzebowanie na pojemność czynną PMG określono w zależności od prognozowanej wielkości importu. W roku 2021 pojemność czynna polskich PMG pozwalała na zmagazynowanie 20,81% importowanego gazu. Ewentualna dalsza rozbudowa PMG w Polsce będzie zależeć od rozwoju sytuacji na rynku gazu ziemnego w Polsce oraz w Europie. Przedstawiona analiza zakłada, że minimalna pojemność czynna polskich PMG powinna wynosić 20,81% prognozowanej wielkości importu gazu. Magazyny gazu, oprócz bieżącego bilansowania potrzeb rynku, „przechowują” również, w postaci zapasu obowiązkowego, rezerwy strategiczne. W opracowaniu przedstawiono prognozę zapotrzebowania na pojemności czynne PMG do 2040 roku w rozbiciu na zapas obowiązkowy i pojemność handlową. Wykonana analiza pokazuje również możliwości rozbudowy istniejących magazynów lub budowy nowych PMG.

Słowa kluczowe: zużycie gazu w Polsce, magazyny gazu, PMG, prognoza zużycia gazu.

ABSTRACT: The main task of UGS is to balance the fluctuating demand for gas throughout the year and to ensure strategic reserves in the event of interruptions in gas supplies. Until recently, some underground gas storage facilities in Europe were closed because it was cheaper to purchase gas on the “spot” market. However, the war that unleashed by Russia has rapidly changed the importance of underground gas storage facilities. In the years 2015–2021, natural gas consumption in Poland increased by 5 billion m³, rising from 15 to 20 billion³. This rapid increase in gas consumption necessitates the adaptation of the national UGS system to meet new market demands. Given that the investment process for new storage capacities takes from 5 to 8 years, these new capacities are mainly intended to meet future needs. Storage needs directly result from natural gas consumption; however, the investment process requires forecasting long-term gas consumption. In its development plan, Gaz-System S.A. presented two gas consumption forecasts until 2040: a baseline and a dynamic scenario. The baseline forecast assumes an increase in gas consumption from 20 bcm in 2021 to 34.7 bcm. Conversely, the dynamic forecast anticipates an increase in gas consumption to 37.3 billion m³. Unfortunately, due to current disruptions in the European gas market, presenting a reliable long-term forecast of natural gas consumption in Poland is challenging. The current analysis is aimed at forecasting long-term storage needs. Currently, the total capacity of high-methane UGSs in Poland is 3.23 billion m³. Due to the fact that the risk of interruptions in gas supplies is associated with imported gas, the demand for UGS working capacity was determined based on the forecast volume of imports. In 2021, the working capacity of Polish UGS allowed for the storage of 20.81%

Autor do korespondencji: B. Filar, e-mail: bogdan.filar@inig.pl

Artykuł nadesłano do Redakcji: 13.02.2024 r. Zatwierdzono do druku: 30.07.2024. r.

of imported gas. Possible further expansion of UGS in Poland will depend on situation on the natural gas market in Poland and in Europe. The current analysis assumes that the minimum working capacity of Polish UGSs should be able to store at least of 20.81% of the projected volume of gas imports. Besides balancing current market needs, gas storage facilities also maintain strategic reserves in the form of mandatory reserves. The study presents a forecast of the demand for UGS working capacities until 2040, broken down into mandatory reserves and commercial capacity. The analysis also explores the possibilities of expanding existing storage facilities or constructing new UGS.

Key words: gas consumption in Poland, gas storage facilities, UGS, gas consumption forecast.

Ocena dostępnych prognoz zapotrzebowania na gaz ziemny w Polsce do roku 2040

Rozwój gospodarczy kraju związany jest ze zwiększonym zapotrzebowaniem na energię, które musi zostać zaspokojone poprzez produkcję własną lub import. Wykonanie długoterminowej prognozy zużycia gazu w Polsce, ale też w każdym innym kraju UE, szczególnie w czasie zawirowania geopolitycznego związanego z wojną w Ukrainie, obarczone jest bardzo dużą niepewnością. Do głównych czynników warunkujących zapotrzebowanie na gaz ziemny można zaliczyć:

- cenę gazu ziemnego w porównaniu z ceną innych nośników energii;
- sytuację ekonomiczną kraju;
- warunki atmosferyczne;
- świadomość ekologiczną;
- dostępność gazu ziemnego na rynku.

Wszystkie wymienione czynniki są ze sobą powiązane i podlegają ciągłym zmianom, mniej lub bardziej dynamicznym. Na rysunku 1 przedstawiono zużycie gazu ziemnego w Polsce w latach 1995–2021.

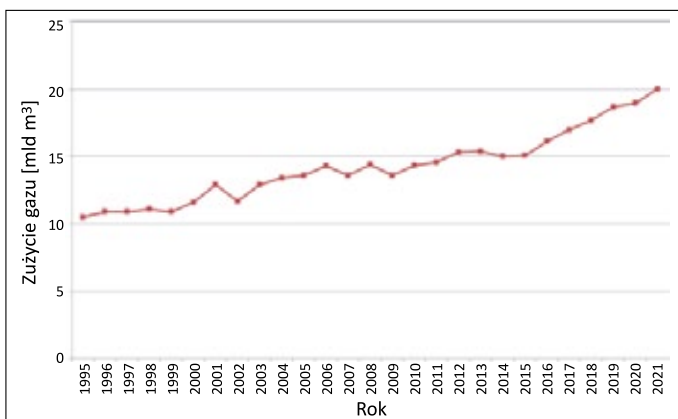
Przedstawiony wykres pokazuje dwie bardzo ważne tendencje:

- stale rosnącą wielkość zużycia gazu;
- przyśpieszenie wzrostu zużycia gazu począwszy od 2016 roku.

W latach 2014–2021 w Polsce nastąpił wzrost zużycia gazu o około 5,0 mld m³, do wielkości 20,0 mld m³. Należy podkreślić, że ten szybki wzrost wystąpił podczas stabilnego rozwoju kraju oraz w wyniku ogólnej dostępności stosunkowo taniego gazu ziemnego na rynku. Agresja Rosji na Ukrainę oraz drastyczne ograniczenie dostaw rosyjskiego gazu ziemnego do Europy doprowadziły do „zdemolowania” europejskiego rynku gazowego. O zmianie sytuacji świadczy fakt prognozowanego spadku zużycia gazu w Polsce i Europie, (Eurostat, 2023). Spadek zużycia gazu występuje praktycznie w całej Europie i jest bezpośrednio związany z drastycznym ograniczeniem dostaw gazu z kierunku wschodniego. Ograniczenie dostaw gazu z tego kierunku doprowadziło do dużego wzrostu cen gazu ziemnego na rynku. W obecnej sytuacji trudno jest wykonać wiarygodną długoterminową prognozę zużycia gazu, gdyż jej niepewność znacząco wzrosła.

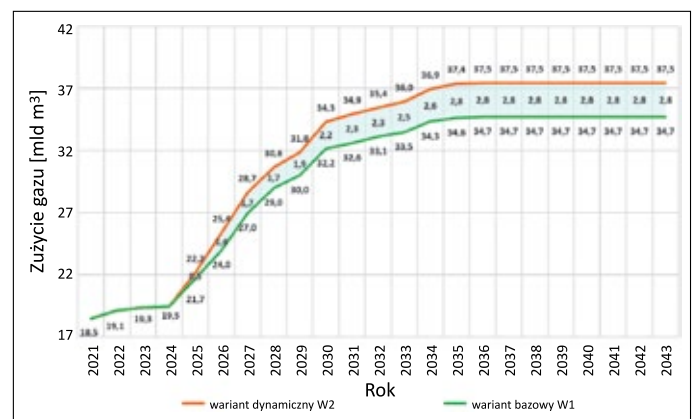
Cytując wypowiedź prezesa PGNiG: „Dostępne prognozy mówią o wzroście zużycia gazu w Polsce rzędu 50 proc. w perspektywie 10 lat. Obecnie zużycie gazu w Polsce mamy na poziomie około 20 mld m³ rocznie, więc mówimy o zużyciu nawet 30 mld m³ rocznie w pespektywie 2030 roku” (Energetyka24, 2021).

Z drugiej strony prognozę zapotrzebowania na usługę przesyłową w latach 2021–2043 przedstawiła firma Gaz-System S.A. (Elert, 2021). Gaz-System S.A. opracował dwa warianty prognozy: wariant bazowy (W1) oraz wariant dynamiczny (W2).



Rysunek 1. Zużycie gazu ziemnego w Polsce w latach 1995–2021 (Filar et al., 2020)

Figure 1. Natural gas consumption in Poland from 1995 to 2021 (Filar, 2020)



Rysunek 2. Prognoza zużycia gazu w Polsce do roku 2043 wykonana przez Gaz-System S.A. (Gaz-System, 2021)

Figure 2. Forecast of gas consumption in Poland until 2043 by Gaz-System S.A. (Gaz-System, 2021)

Prognoza zapotrzebowania na usługę przesyłową określa przewidywany popyt na punktach wyjścia z systemu ze strony odbiorców końcowych i dystrybucyjnych. Prognozy zaprezentowano na rysunku 2.

Prognoza bazowa (W1) zakłada stopniowy wzrost zużycia gazu wysokometanowego w roku 2036 do 34,7 mld m³. Natomiast prognoza dynamiczna zakłada wzrost zużycia gazu wysokometanowego w roku 2036 do 37,5 mld m³. Przedstawione prognozy różnią się zatem od siebie, a różnica wynosi 2,8 mld m³. W obecnej sytuacji geopolitycznej bardzo trudno jest przewidzieć, która z prognoz jest bardziej prawdopodobna.

Opracowanie szacunkowej prognozy wydobycia gazu ze złóż krajowych do roku 2040

Prognozę wydobycia gazu ze złóż krajowych wykonano na bazie danych pochodzących z publikacji Państwowego Instytutu Geologicznego, corocznego bilansu surowców („Bilans Zasobów Złóż Kopaliny w Polsce” z lat 2007–2021). Prognoza wydobycia gazu opracowana dla lat 2022–2040 została wykonana na podstawie wielkości wydobycia gazu uzyskanych w latach 2007–2021. Rysunek 3 prezentuje wydobycie gazu (kolor niebieski) z wszystkich złóż gazu ziemnego w Polsce. Analizując wykres, można zauważyć, że wydobycie gazu ze złóż krajowych dla okresu 2012–2021 układa się w jednoznaczny linię trendu. W związku z tym założono, że wydobycie gazu w latach 2022–2040 będzie podążać zgodnie z obecną linią trendu. Przyjęte założenie jest pewnym uproszczeniem, gdyż w rzeczywistości wielkość krajowego wydobycia gazu zależy od poziomu inwestycji w poszukiwania oraz od udostępniania nowych zasobów gazu ziemnego. Należy podkreślić, że

przedstawiona prognoza zakłada utrzymanie poziomu inwestycji z lat 2012–2021. W przypadku zwiększenia poziomu inwestycji w udostępnianie nowych zasobów możliwy jest wolniejszy spadek wydobycia gazu, natomiast zmniejszenie inwestycji w nowe zasoby będzie oznaczać szybszy spadek wielkości wydobycia. Prognoza wydobycia gazu (kolor czerwony) wykonana dla wszystkich złóż w Polsce pokazuje, że w roku 2040 wydobycie gazu ze złóż krajowych spadnie z obecnej wielkości 3,7 mld m³ do wielkości 1,8 mld m³ (rysunek 3). Należy podkreślić, że wykonana prognoza wydobycia dla całego kraju uwzględnia inwestycje prowadzone w latach 2012–2021. W związku z tym uzyskanie wydobycia wynoszącego 1,8 mld m³ będzie wymagało co najmniej podtrzymania wielkości inwestycji.

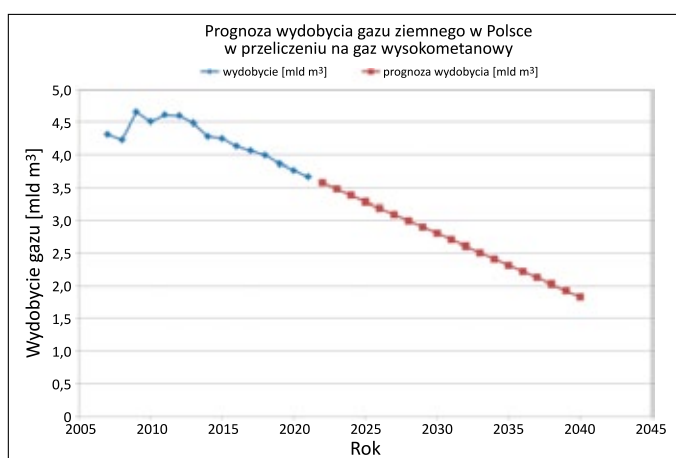
Opracowanie prognozy wielkości importu gazu do roku 2040

Długoterminowa prognoza zużycia gazu wysokometanowego do roku 2040 jest podstawą do wykonania prognozy wielkości importu gazu w analizowanym okresie. Bieżąca analiza bazuje na prognozach zużycia gazu wysokometanowego wykonanych przez Gaz-System S.A. Należy podkreślić, że prognozy pochodzą z roku 2021, a więc sprzed rozpętania przez Rosję wojny z Ukrainą. W związku z tym prognoza nie uwzględnia aktualnej, złożonej sytuacji geopolitycznej. Gaz-System S.A. przedstawił dwie prognozy zużycia gazu wysokometanowego, bazową i dynamiczną. Przedstawione prognozy zużycia gazu, wraz z prognozą wydobycia gazu krajowego, zostały wykorzystane do obliczenia wielkości importowanego gazu. Prognozowana wielkość importu, przy założeniu zużycia gazu zgodnego z prognozą bazową, została przedstawiona w tabeli 1.

Tabela 1. Prognoza importu gazu przy założeniu zużycia gazu zgodnego z wariantem Gaz-System bazowy (Gaz-System, 2021)

Table 1. Forecast of gas imports, assuming gas consumption according to Gas-System baseline scenario (Gaz-System, 2021)

Lata	Prognoza bazowa [mld m ³]	Wydobycie krajowe [mld m ³]	Import [mld m ³]
2022	19,10	3,58	15,52
2024	19,50	3,38	16,12
2026	24,00	3,19	20,81
2028	29,00	2,99	26,01
2030	32,20	2,80	29,40
2032	33,10	2,61	30,49
2034	34,30	2,41	31,89
2036	34,70	2,22	32,48
2038	34,70	2,02	32,68
2040	34,70	1,83	32,87



Rysunek 3. Prognoza wydobycia gazu ziemnego w Polsce wykonana dla lat 2022–2040, obliczenia własne

Figure 3. Natural gas production forecast in Poland for 2022–2040, own calculations

Zgodnie z obliczeniami wielkość importu gazu ziemnego w przypadku wystąpienia zużycia gazu zgodnego z prognozą bazową będzie wynosić około 32,8 mld m³ (rok 2040). Analogiczne obliczenia wykonano dla prognozy dynamicznej (tabela 2). Obliczenia wykazały, że w przypadku wystąpienia zużycia gazu zgodnego z prognozą dynamiczną wielkość importu w roku 2040 wyniesie około 35,7 mld m³.

Tabela 2. Prognoza importu gazu przy założeniu zużycia gazu zgodnego z wariantem Gaz-System dynamiczny (Gaz-System, 2021)

Table 2. Forecast of gas imports, assuming gas consumption according to Gas-System dynamic scenario (Gaz-System, 2021)

Lata	Prognoza bazowa [mld m ³]	Wydobycie krajowe [mld m ³]	Import [mld m ³]
2022	19,10	3,58	15,52
2024	19,50	3,38	16,12
2026	25,40	3,19	22,21
2028	30,60	2,99	27,61
2030	34,30	2,80	31,50
2032	35,40	2,61	32,79
2034	36,90	2,41	34,49
2036	37,50	2,22	35,28
2038	37,50	2,02	35,48
2040	37,50	1,83	35,67

Określenie zapotrzebowania na pojemności magazynowe do roku 2040, w tym określenie wielkości zapasu obowiązkowego

Aktualnie trudno jest prognozować zapotrzebowanie na pojemność magazynową w okresie długoterminowym. Głównym powodem tego stanu jest skomplikowana sytuacja na rynku gazu ziemnego w Europie. Należy podkreślić, że zużycie gazu jest ściśle powiązane z jego ceną. Wysoka cena gazu z reguły wpływa na spadek jego zużycia. W związku z tym na rynku występuje bardzo duża niepewność związana ze zużyciem gazu w dłuższym okresie, a co za tym idzie – z zapotrzebowaniem na pojemności czynne magazynów gazu. Zgodnie z prognozą bazową zużycie gazu w 2040 roku będzie wynosić 34,7 mld m³, z czego wielkość importu wyniesie 32,87 mld m³. Natomiast w przypadku prognozy dynamicznej zużycie gazu w roku 2040 wyniesie 37,5 mld m³, a wielkość importu gazu wyniesie 35,7 mld m³. Wzrost zużycia gazu, mniejszy lub większy, wymusi dostosowanie krajowego systemu PMG do nowych potrzeb rynku. Zakłada się, że ryzyko dotyczące „niestabilności” dostaw gazu na rynek związane jest z dostawami gazu z importu. Przyjęte założenie stanowi pewne uproszczenie, gdyż magazyny gazu równocześnie bilansują

zmienne zapotrzebowanie na gaz w systemie oraz zapewniają rezerwy strategiczne gazu na wypadek przerw w jego dostawach. W związku z przyjętymi zadaniami PMG ich wielkość powinna być dostosowana zarówno do wielkości zużycia, jak i do wielkości importu gazu w danym kraju. Wykonując analizę potrzeb pojemności magazynowych, wykorzystano wskaźnik zabezpieczania ciągłości dostaw gazu z importu. Wskaźnik ten pokazuje, jaką wielkość rocznego importu gazu można zmagazynować w PMG danego kraju (PMG/Import). W związku z tym, że obecna pojemność czynna PMG w Polsce wynosi 3,23 mld m³, a prognozowana wielkość importu gazu w 2022 roku to 15,52 mld m³, zatem wielkość wskaźnika PMG/Import wynosi 20,81% (3,23/15,52). Autorzy uważają, że w obecnej sytuacji wielkiego zamieszania na europejskim rynku gazu ziemnego niezbędne jest co najmniej utrzymanie możliwości zmagazynowania 20,81% wielkości importowanego gazu. Ewentualna dalsza rozbudowa PMG będzie zależeć od rozwoju sytuacji na rynku gazu ziemnego w Polsce oraz w Europie. W związku z tym dalsze analizy zakładają, że minimalna pojemność czynna polskich PMG będzie zabezpieczać 20,81% prognozowanego importu gazu.

W tabeli 3 obliczono zapotrzebowanie na pojemność czynną PMG dla prognozy zużycia gazu w Polsce w wariantcie bazowym. Zgodnie z wykonanymi obliczeniami w przypadku wzrostu zużycia gazu do 34,7 mld m³ (w roku 2040) wielkość importu wzrosnie do 32,87 mld m³. W związku z tym minimalna wielkość pojemności czynnej krajowych PMG powinna wzrosnąć z obecnych 3,23 mld m³ do 6,84 mld m³ (w 2040 roku). Należy zauważyć, że wzrost importu wpłynie na wielkość zapasu obowiązkowego. Zgodnie z ustawą o zapasach obowiązkowych przedsiębiorstwo energetyczne wykonujące działalność gospodarczą w zakresie obrotu gazem ziemnym z zagranicą i podmiot dokonujący przywozu gazu ziemnego utrzymują zapasy obowiązkowe gazu ziemnego w wielkości odpowiadającej co najmniej 30-dniowemu średniemu dziennemu przywozowi tego gazu. W przedstawionej tabeli obliczono prognozowaną wielkość zapasu obowiązkowego odpowiadającą 30-dniowemu średniemu dziennemu przywozowi tego gazu. Wykonane obliczenia wykazały, że w wariantcie bazowym wielkość zapasu obowiązkowego wzrosnie, w 2040 roku, do 2,70 mld m³. W związku z tym pojemność handlowa w roku 2040 będzie wynosić 4,14 mld m³ (pojemność całkowita = pojemność zapasu + pojemność handlowa).

Natomiast w tabeli 4 przedstawiono analogiczne obliczenia wykonane dla prognozy zużycia gazu w Polsce w wariantcie dynamicznym. Zgodnie z obliczeniami w przypadku wzrostu zużycia gazu do 37,5 mld m³ (w roku 2040) prognozowana wielkość importu wzrosnie do 35,67 mld m³. W związku z tym minimalna wielkość pojemności czynnej krajowych PMG powinna wzrosnąć do 7,42 mld m³, a prognozowana wielkość

Tabela 3. Zapotrzebowanie na pojemność czynną PMG prognozowane dla wariantu zużycia gazu Gaz-System bazowy, obliczenia własne na podstawie (Gaz-System, 2021)

Table 3. Forecasted demand for UGS working capacity, assuming gas consumption according to Gaz-System baseline scenario, own calculations based on (Gaz-System, 2021)

	Lata									
	2022	2024	2026	2028	2030	2032	2034	2036	2038	2040
Zużycie gazu [mld m ³]	19,10	19,50	24,00	29,00	32,20	33,10	34,30	34,70	34,70	34,70
Wydobycie krajowe [mld m ³]	3,58	3,38	3,19	2,99	2,80	2,61	2,41	2,22	2,02	1,83
Import [mld m ³]	15,52	16,12	20,81	26,01	29,40	30,49	31,89	32,48	32,68	32,87
Pojemność czynna [% import]	20,81	20,81	20,81	20,81	20,81	20,81	20,81	20,81	20,81	20,81
Pojemność czynna PMG, popyt [mld m ³]	3,23	3,35	4,33	5,41	6,12	6,34	6,64	6,76	6,80	6,84
Zapas obowiązkowy [mld m ³]	1,28	1,32	1,71	2,14	2,42	2,51	2,62	2,67	2,69	2,70
Pojemność handlowa [mld m ³]	1,95	2,03	2,62	3,27	3,70	3,84	4,02	4,09	4,11	4,14

Tabela 4. Zapotrzebowanie na pojemność czynną PMG prognozowane dla wariantu zużycia gazu Gaz-System dynamiczny, obliczenia własne na podstawie (Gaz-System, 2021)

Table 4. Forecasted demand for UGS working capacity, assuming gas consumption according to Gaz-System dynamic scenario, own calculations based on (Gaz-System, 2021)

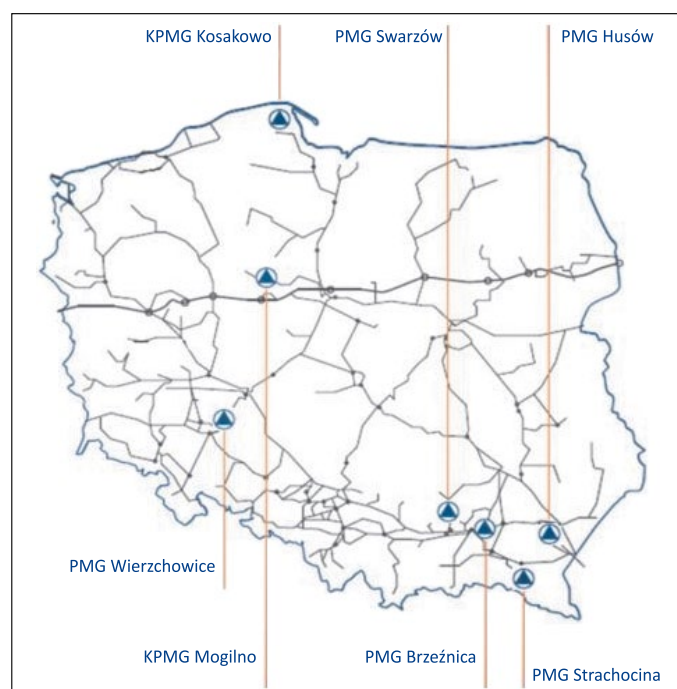
	Lata									
	2022	2024	2026	2028	2030	2032	2034	2036	2038	2040
Zużycie gazu [mld m ³]	19,10	19,50	25,40	30,60	34,30	35,40	36,90	37,50	37,50	37,50
Wydobycie krajowe [mld m ³]	3,58	3,38	3,19	2,99	2,80	2,61	2,41	2,22	2,02	1,83
Import [mld m ³]	15,52	16,12	22,21	27,61	31,50	32,79	34,49	35,28	35,48	35,67
Pojemność czynna [% import]	20,81	20,81	20,81	20,81	20,81	20,81	20,81	20,81	20,81	20,81
Pojemność czynna PMG, popyt [mld m ³]	3,23	3,35	4,62	5,75	6,56	6,82	7,18	7,34	7,38	7,42
Zapas obowiązkowy [mld m ³]	1,28	1,32	1,83	2,27	2,59	2,70	2,83	2,90	2,92	2,93
Pojemność handlowa [mld m ³]	1,95	2,03	2,80	3,48	3,97	4,13	4,34	4,44	4,47	4,49

zapasu obowiązkowego wzrosnie do 2,93 mld m³ (rok 2040). Natomiast pojemność handlowa w roku 2040 będzie wynosić 4,49 mld m³.

Przedstawione obliczenia pokazują, że do roku 2040 wielkość pojemności czynnej polskich PMG powinna zostać znacząco rozbudowana, co najmniej do 6,84 mld m³. Należy podkreślić, że obecnie występuje bardzo duża niepewność związana ze zużyciem gazu w dłuższym okresie, a co za tym idzie – z zapotrzebowaniem na pojemności czynne podziemnych magazynów gazu. W związku z tym należy ostrożnie podchodzić do budowy nowych pojemności czynnych. W pierwszej kolejności powinno się rozbudować istniejące PMG, o ile jest taka możliwość. Decyzja o budowie nowych PMG powinna zostać poprzedzona szczegółową analizą rynku gazowniczego.

Analiza możliwości rozbudowy pojemności czynnej aktualnie eksploatowanych PMG

Obecnie w Polsce eksploatowanych jest siedem magazynów pracujących na potrzeby systemu gazu wysokometanowego (rysunek 4).



Rysunek 4. Lokalizacja podziemnych magazynów gazu w Polsce (źródło: PGNiG S.A.)

Figure 4. Location of underground gas storage facilities in Poland (source: PGNiG S.A.)

Tabela 5. Aktualne parametry PMG złożowych w Polsce, opracowanie własne na podstawie danych PGNiG S.A.

Table 5. Current UGS parameters in Poland, own calculations based on PGNiG S.A.

PMG/złoże	Pierwotne parametry złoża gazu ziemnego		Aktualne parametry PMG		
	zasoby geologiczne	ciśnienie złożowe	pojemność całkowita	pojemność czynna	górne ciśnienie pracy
	[mln m ³]	[MPa]	[mln m ³]	[mln m ³]	[MPa]
Wierchowice	11900	16,49	7028	1300	11,62
Brzeźnica	203	4,21	187	100	4,77
Husów	2062	12,19	1062	500	12,30
Strachocina	4253	10,05	1188	360	4,50
Swarzów	318	7,70	256	90	7,90

Pięć magazynów gazu wybudowano w szcerpanych złożach gazu ziemnego: PMG Wierchowice, Husów, Strachocina, Swarzów, Brzeźnica. Magazyny te są magazynami sezonowymi, z których odbiór gazu trwa przeważnie od listopada do marca. Natomiast dwa pozostałe magazyny wytworzono w podziemnych strukturach solnych: KPMG Mogilno i Kosakowo.

Wymienione magazyny kawernowe są magazynami szczytowymi. Sumaryczna pojemność czynna podanych magazynów gazu wynosi 3230 mln m³. Pojemność czynna PMG w Polsce została rozbudowana w latach 2008–2021 z wielkości około 1,65 mld m³ do obecnej 3,23 mld m³. Przeprowadzona rozbudowa systemu PMG miała na celu zapewnić bezpieczne funkcjonowanie całego systemu gazowniczego. Podstawowe parametry złóż oraz aktualne parametry PMG „złożowych” przedstawiono w tabeli 5. Analizując parametry ujęte w tabeli, szczególnie pierwotne ciśnienie złożowe oraz górne ciśnienie pracy PMG, można zauważyć, że tylko dwa magazyny mają duży potencjał do rozbudowy (Filar, 2018):

- PMG Wierchowice, gdyż aktualne ciśnienie pracy wynosi około 11,62 MPa, podczas gdy pierwotne ciśnienie złożowe wynosiło 16,49 MPa;
- PMG Strachocina, gdyż obecne ciśnienie pracy wynosi około 4,5 MPa, podczas gdy pierwotne ciśnienie złożowe wynosiło 10,05 MPa.

Należy podkreślić, że wymienione magazyny są w trakcie procedury rozbudowy:

- magazyn Wierchowice będzie rozbudowany o 800 mln m³, do pojemności czynnej 2100 mln m³;
- pojemność czynna Strachociny będzie rozbudowana, w systemie bezinwestycyjnym, o 100 mln m³, do 460 mln m³.

Pozostałe dwa magazyny, KPMG Mogilno i KPMG Kosakowo, są magazynami kawernowymi. Obecnie planowana jest rozbudowa KPMG Mogilno do pojemności czynnej wynoszącej 800 mln m³. Natomiast pojemność czynna KPMG Kosakowo ma po rozbudowie osiągnąć pojemność 650 mln m³. Pojemność czynną PMG po rozbudowie przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Pojemność czynna PMG w Polsce po rozbudowie magazynów, obliczenia własne

Table 6. UGS working capacity in Poland after extension of storage facilities, own calculations

PMG	Aktualnie, <i>V_a</i>	Po rozbudowie, <i>V_a</i>
	[mln m ³]	
Wierchowice	1300,00	2100,00
Husów	500,00	500,00
Strachocina	360,00	460,00
Brzeźnica	100,00	100,00
Swarzów	90,00	90,00
Mogilno	580,92	800,00
Kosakowo	299,70	650,00
Suma	3230,62	4700,00

Można zatem stwierdzić, że planowana rozbudowa PMG w Polsce zwiększy pojemność czynną PMG do 4,7 mld m³ i powinna zaspokoić potrzeby magazynowe do momentu, w którym import gazu nie przekroczy wielkości 22,6 mld m³ (20,81% importu).

Analiza możliwości budowy nowych PMG w szcerpanych złożach gazu ziemnego w Polsce

Zgodnie z danymi opublikowanymi przez Państwowy Instytut Geologiczny (stan na 31 grudnia 2021 roku) w Polsce udokumentowanych jest 313 złóż gazu ziemnego, z czego obecnie eksploatowane są 202 złoża (Szufficki et al., 2022). Na obszar Niziu Polskiego przypadają 162 złoża, w obszarze zapadliska przedkarpackiego jest 111 złóż. Dwa mniejsze obszary charakteryzują się występowaniem odpowiednio 35 złóż (Karpaty) i 5 złóż (Bałtyk). Można więc stwierdzić, że Polska posiada bardzo duży potencjał budowy nowych pojemności czynnych w szcerpanych złożach gazu ziemnego.

Na obszarze Niziu Polskiego złoża gazu występują w utworach: kambryjskich, dewońsko-karbońskich, czerwonego

spagowca, dolomitu głównego (drugie co do zasobów), wapienia cechsztyńskiego i mezozoicznych. Wśród wymienionych największe znaczenie mają złoża w utworach czerwonego spagowca oraz dolomitu głównego. Gaz występujący na obszarze Niżu Polskiego jest gazem zaazotowanym, przy czym udział metanu w gazie wynosi od kilkunastu procent do ponad 90%, najczęściej około 60–70%. Wielkość zasobów geologicznych złóż na obszarze Niżu Polskiego jest zróżnicowana i wynosi od kilku milionów metrów sześciennych do ponad 20 mld m³. Są to złoża typu warstwowego lub masywowego, z systemem energetycznym z reguły wodnonaporowym, z wodą podścielającą lub okalającą.

W omawianym rejonie Niżu Polskiego działają obecnie dwa podziemne magazyny gazu ziemnego: Wierzchowice i Bonikowo. PMG Wierzchowice jest magazynem pracującym na potrzeby systemu gazu wysokometanowego o pojemności czynnej $V_a = 1,3$ mld m³, natomiast PMG Bonikowo, o pojemności czynnej $V_a = 200$ mln m³, działa na potrzeby eksploatacji złóż gazu zaazotowanego.

Różnorodność struktur na Niżu Polskim w zakresie pierwotnych zasobów geologicznych, rodzajów skał zbiornikowych (piaskowce i wapień rafowe), głębokości zalegania struktur (duża ilość struktur w zakresie głębokości 1,5–3 km), ciśnień złożowych (około 15–30 MPa) stwarza dobre warunki dla budowy PMG. Jedyną cechą ujemną jest obecność w gazie pierwotnym dużej ilości azotu, co wpływa na proces mieszania się gazu zatłaczanego z gazem pierwotnym i podczas wydobywania w początkowych cyklach pracy PMG uzyskujemy gaz o niższej kaloryczności aniżeli gaz zatłoczony. Jednak jak pokazuje przykład PMG Wierzchowice, z każdym cyklem jakości gazu odbieranego ulega poprawie.

W rejonie Niżu Polskiego wytypowane były różne lokalizacje pod budowę PMG. Najważniejsze z nich to złoża: Załęcze, Żuchłów, Brzostowo oraz Czeszów. W tabeli 7 zestawiono podstawowe parametry geologiczno-złożowe tych złóż oraz szacunkowe parametry PMG możliwe do uzyskania po konwersji złóż na podziemne magazyny gazu.

Drugim najważniejszym obszarem występowania złóż jest obszar zapadliska przedkarpackiego i przyległych Karpat.

W obszarze tym obecnie eksploatowane są 4 PMG:

- PMG Brzeźnica – poziom zbiornikowy w piaskowcach mioceńskich, $V_a = 100$ mln m³;
- PMG Swarzędów – poziom zbiornikowy w wapieniach jury, turonu i piaskowcach cenomanu, $V_a = 90$ mln m³;
- PMG Husów – poziom zbiornikowy w piaskowcach mioceńskich, $V_a = 500$ mln m³;
- PMG Strachocina – poziom zbiornikowy w piaskowcach istebniańskich (Karpaty), $V_a = 360$ mln m³.

Poziomymi zbiornikowymi w przedstawionych magazynach są skały piaskowcowe (PMG Brzeźnica, Husów, Swarzędów i Strachocina) oraz wapień (PMG Swarzędów). Poziomy zbiornikowe są wieku jurajsko-kredowego (PMG Swarzędów), kredowego (PMG Strachocina) i mioceńskiego (PMG Brzeźnica i Husów).

Złoża gazu ziemnego położone w obszarze zapadliska przedkarpackiego mają zazwyczaj charakter złóż wielohoryzontowych (od kilku do kilkunastu horyzontów, niekiedy więcej), zazwyczaj typu wodnonaporowego lub rzadziej wolumetrycznego. Występują w zakresie głębokości od kilkuset do ponad 2000 m, sporadycznie głębiej. Skałami zbiornikowymi dla gazu są przede wszystkim piaskowce i mułowce oraz rzadziej pakiety ilasto-mułowcowe i zlepińce. Wielkość poszczególnych horyzontów gazowych pod względem zasobów jest zróżnicowana od kilku milionów do kilku miliardów metrów sześciennych. Parametry petrofizyczne najlepszych skał piaskowcowych są bardzo dobre, porowatość powyżej 20%, a przepuszczalność od kilkudziesięciu do ponad 100 mD, co ma przełożenie na wysoką wydajność otworów, sięgającą nawet do kilku tysięcy metrów sześciennych na minutę. W horyzontach z systemem energetycznym wodnonaporowym wody złożowe są typu okalającego i okalająco-podścielającego. Wśród odkrytych i eksploatowanych złóż zapadliska przedkarpackiego znajduje się cały szereg obiektów, w których można wytworzyć podziemny magazyn gazu o pojemności czynnej od kilkudziesięciu milionów do kilku miliardów metrów sześciennych. Większość z eksploatowanych złóż z rejonu zapadliska przedkarpackiego znajduje się w końcowej fazie eksploatacji, dlatego istnieje możliwość wybrania do magazynowania optymalnego pod

Tabela 7. Zestawienie podstawowych parametrów złóż wybranych do konwersji na PMG na Niżu Polskim, obliczenia własne

Table 7. List of basic parameters of gas fields selected for conversion into UGS in the Polish Lowlands, own calculations

Nazwa złoża	Ciśnienie pierwotne, <i>P_{ds}</i>	Pierwotne zasoby geologiczne	Zawartość metanu	Pojemność czynna PMG	Zakres ciśnień PMG
	[MPa]				
Załęcze	15,1	20,4	76,1	10,0	4–15
Żuchłów	14,7	22,0	57,5	10,0	4–15
Brzostowo	16,0	3,1	64,2	ok. 1	6–16
Czeszów	15,6	1,5	63,9	0,7–0,8	6–16

Tabela 8. Zestawienie podstawowych parametrów złóż wybranych do konwersji na PMG – zapadlisko przedkarpackie (Piesik-Buś, 2016)
Table 8. List of basic parameters of gas fields selected for conversion into UGS, Zapadlisko Przedkarpackie (Piesik-Buś, 2016)

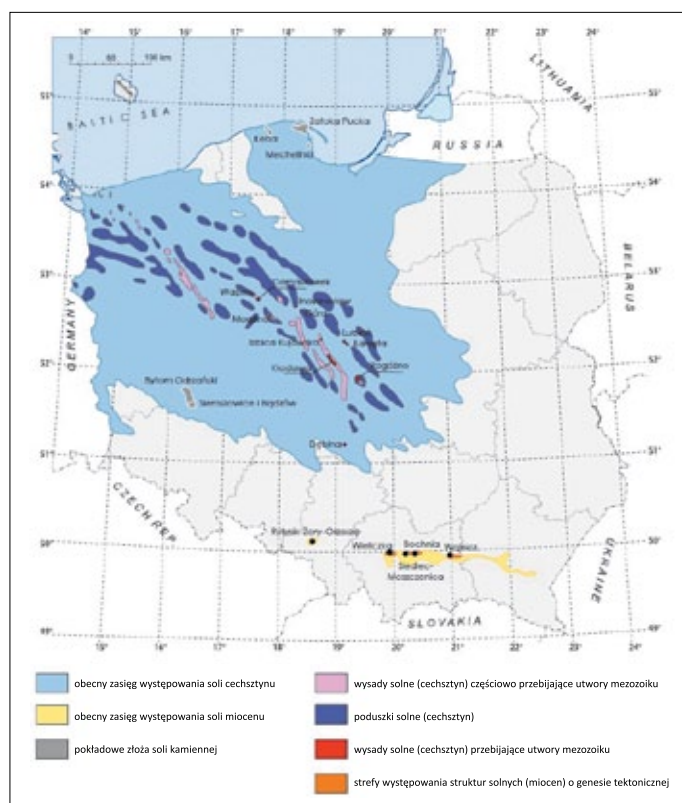
Nazwa złoża	Ciśnienie pierwotne, <i>P_{ds}</i>	Pierwotne zasoby geologiczne	Zawartość metanu	Pojemność czynna PMG	Zakres ciśnień PMG
	[MPa]	[mld m ³]	[%]	[mld m ³]	[MPa]
Jarosław hor. C	9,59	1,000	99,23	0,4	4–10
Tarnów hor. D	15,31	1,326	75,70	0,6–0,7	5–15
Tuligłowy hor. VII	15,24	5,675	98,70	2,0–2,5	5–16
Tuligłowy hor. VIII	16,62	2,229	98,50	0,8–0,9	5–17

względem parametrów petrofizycznych i objętości obiektu. W rejonie zapadliska przedkarpackiego przeprowadzono analizę złóż gazu ziemnego nadających się do konwersji na podziemne magazyny gazu. W tabeli 8 przedstawiono podstawowe parametry geologiczno-złożowe wybranych złóż (Jarosław, Tarnów i Tuligłowy) oraz szacunkowe parametry PMG możliwe do uzyskania po konwersji tych złóż na podziemne magazyny gazu.

Podsumowując, należy stwierdzić, że zarówno na Niziu Polskim, jak i w rejonie zapadliska przedkarpackiego i Karpat istnieją duże możliwości konwersji szcerpanych złóż gazu ziemnego na podziemne magazyny gazu ziemnego. W obu rejonach obecne są obiekty, które już w pewnym zakresie zostały zakwalifikowane jako przydatne na potrzeby PMG (tabele 7 i 8), ale oprócz tego doszły nowe obiekty złożowe, które weszły w końcową fazę eksploatacji i będą mogły zostać wykorzystane do budowy PMG. Zróżnicowana wielkość potencjalnych obiektów geologicznych stwarza możliwość wyboru obiektu o optymalnej pojemności magazynowej i charakteryzującego się możliwościami jej rozbudowy w przyszłości.

Ocena możliwości budowy nowych PMG w podziemnych strukturach solnych w Polsce

W Polsce występuje również potencjał do budowy nowych kawernowych podziemnych magazynów gazu (Ślizowski et al., 2011). Podziemne struktury solne występują w Polsce w obrębie dwóch głównych formacji solonośnych: mioceńskiej i cechsztyńskiej – rysunek 5 (Czapowski et al., 2006; Lankof, 2018; Zeljaś, 2020). Obecnie w Polsce istnieją dwa kawernowe magazyny gazu ziemnego wytworzone w złożach soli kamiennej. Są to: KPMG Mogilno, w którym kawerny zlokalizowano w wysadowym złożu „Mogilno II” (Marszałek, 2000), oraz KPMG Kosakowo, gdzie komory magazynowe zbudowano w pokładowym złożu soli kamiennej „Mechelinki”. Oba magazyny mają potencjał do rozbudowy pojemności magazynowej. Aktualna pojemność czynna KPMG Mogilno wynosi 580,92 mln m³. Przeprowadzone analizy wykazały, że istnieje możliwość rozbudowy magazynu Mogilno do pojemności



Rysunek 5. Mapa występowania soli kamiennych w Polsce (wg Czapowski i Bukowski, 2015)

Figure 5. Map of the occurrence of rock salt structures in Poland (according to Czapowski and Bukowski, 2015)

roboczej 800 mln m³. KPMG Kosakowo zlokalizowany jest na terenie województwa pomorskiego, w gminie Kosakowo w powiecie puckim. Obecna pojemność robocza KPMG Kosakowo wynosi 299,7 mln m³. Od 2014 roku istnieje plan rozbudowy magazynu do pojemności czynnej wynoszącej 650 mln m³. Zatem obecnie eksploatowane magazyny kawernowe mogą docelowo osiągnąć pojemność 1,45 mld m³.

Podsumowanie

Analiza potrzeb rozbudowy pojemności czynnej PMG w Polsce została opracowana na podstawie dwóch prognoz

zużycia gazu opublikowanych przez Gaz-System S.A. Prognoza bazowa (do roku 2040) zakłada stopniowy wzrost zużycia gazu wysokometanowego do wielkości 34,7 mld m³. Natomiast prognoza dynamiczna zakłada wzrost zużycia gazu do 37,5 mld m³. W obecnej sytuacji geopolitycznej bardzo trudno jest przewidzieć, która z prognoz jest bardziej prawdopodobna. Następnie wykonano prognozę wydobycia gazu z wszystkich złóż w Polsce. Obliczenia wykazały, że w roku 2040 wydobycie gazu ze złóż krajowych spadnie z obecnej wielkości 3,7 mld m³ do wielkości 1,8 mld m³. Należy podkreślić, że uzyskanie wydobycia wynoszącego 1,8 mld m³ będzie wymagało co najmniej podtrzymania wielkości inwestycji. W dalszej kolejności prognozy zużycia gazu, wraz z prognozą wydobycia gazu krajowego, zostały wykorzystane do obliczenia wielkości importowanego gazu. Zgodnie z obliczeniami wielkość importu gazu ziemnego w przypadku wystąpienia zużycia gazu zgodnego z prognozą bazową będzie wynosić około 33 mld m³ (rok 2040). Obliczenia wykazały również, że w przypadku wystąpienia zużycia gazu zgodnego z prognozą dynamiczną, wielkość importu w roku 2040 wyniesie około 36 mld m³. Aktualnie pojemność czynna PMG wynosi 3,23 mld m³ gazu i pozwala na zmagazynowanie 20,81% importowanego gazu. W związku z tym analiza potrzeb magazynowych zakłada, że minimalna pojemność czynna polskich PMG powinna zabezpieczać 20,81% wielkości prognozowanego importu gazu. Zgodnie z przeprowadzonymi obliczeniami w przypadku wzrostu zużycia gazu do 34,7 mld m³ (w roku 2040) wielkość importu wzrośnie do 32,87 mld m³. W związku z tym minimalna wielkość pojemności czynnej krajowych PMG powinna wzrosnąć z obecnych 3,23 mld m³ do 6,84 mld m³ (w 2040 roku). Wykonane obliczenia wykazały, że w wariancie bazowym wielkość zapasu obowiązkowego wzrośnie w 2040 roku do 2,70 mld m³. Natomiast analogiczne obliczenia przeprowadzone dla prognozy zużycia gazu w Polsce w wariancie dynamicznym wykazały, że w przypadku wzrostu zużycia gazu do 37,5 mld m³ (w roku 2040) prognozowana wielkość importu wzrośnie do 35,67 mld m³. W związku z tym minimalna wielkość pojemności czynnej krajowych PMG powinna wzrosnąć do 7,42 mld m³, a prognozowana wielkość zapasu obowiązkowego wzrośnie do 2,93 mld m³ (rok 2040). Wzrost zapotrzebowania na pojemność czynną magazynów powinien zostać zaspokojony poprzez rozbudowę istniejących PMG, a w dalszej kolejności poprzez budowę nowych PMG w złożach szczypanych i/lub strukturach solnych.

Należy podkreślić, że obecnie planuje się rozbudowę czterech magazynów:

- magazyn Wierzchowice zostanie rozbudowany o 800 mln m³, do pojemności czynnej 2100 mln m³;
- pojemność czynna Strachociny zostanie rozbudowana, w systemie bezinwestycyjnym, o 100 mln m³, do 460 mln m³;

- KPMG Mogilno zostanie rozbudowany do pojemności czynnej wynoszącej 800 mln m³;
- KPMG Kosakowo po rozbudowie osiągnie pojemność 650 mln m³.

Pojemność czynna wszystkich PMG po zakończeniu rozbudowy wymienionych magazynów zgodnie z przedstawionymi planami – osiągnie wielkość około 4,7 mld m³. Można zatem stwierdzić, że planowana rozbudowa PMG w Polsce powinna zaspokoić potrzeby magazynowe do momentu, w którym import gazu nie przekroczy około 22,6 mld m³. Obecnie Polska ma 313 złóż gazu ziemnego, z czego eksploatowane są 202 złoża. W związku z tym budowa nowych PMG może zostać oparta na konwersji złóż szczypanych.

W opracowaniu pokazano szacunkowe parametry przyszłych PMG uzyskane po konwersji złóż: Załęcze, Żuchłów, Brzostowo, Czeszów, Jarosław, Tarnów i Tuligłowy. Dodatkowo w pracy przedstawiono struktury solne, które mogą zostać wykorzystane do budowy kolejnych kawernowych podziemnych magazynów gazu.

Wnioski

1. Wzrost zużycia gazu w Polsce wymusi rozbudowę krajowego systemu PMG.
2. Zakończenie obecnie procedowanych inwestycji magazynowych pozwoli na osiągnięcie pojemności czynnej wynoszącej około 4,7 mld m³.
3. Rozbudowana pojemność czynna powinna zaspokoić potrzeby magazynowe do momentu, w którym wielkość importu gazu nie przekroczy 22,6 mld m³.
4. Budowa nowych PMG powinna zostać poprzedzona szczegółową analizą rynku gazu ziemnego w Polsce i Europie.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Analiza możliwości zwiększenia pojemności czynnej podziemnych magazynów gazu w Polsce*, praca INiG – PIB; nr zlecenia: 0092/KP/SI/2022, nr archiwalny: DK-4100-0082/2022.

Literatura

- Czapowski G., Bukowski K., 2015. Mapy występień zasobów perspektywicznych soli w Polsce jako narzędzie w projektowaniu przyszłego zagospodarowania złóż kopalni. *Przegląd Solny*, 11: 5–31.
- Czapowski G., Burliga S., Kasiński J.R., Krzywiec P., Polechońska O., Tomasi-Morawiec H., Wilkosz P., Wróbel G., 2006. Geologia niezagospodarowanych permskich wysadowych struktur solnych na obszarze Niżu Polskiego – aktualny stan wiedzy. *Przegląd Geologiczny*, 54(4): 302–303.
- Elert M., 2021. Plan rozwoju 2022–2031. GAZ-SYSTEM S.A. <<https://www.gaz-system.pl/pl/system-przesylowy/rozwoj-systemu-przesylowego/krajowe-plany-rozwoju.html>> (dostęp: 16.05.2023).

- Energetyka24, 2021. PGNiG: Zużycie gazu w Polsce może wzrosnąć o 50%. <<https://energetyka24.com/gaz/pgnig-zuzycie-gazu-w-polsce-moze-wzrosnac-o-50>> (dostęp: 16.05.2023).
- Eurostat, 2023. EU gas consumption decreased by 17.7%. <<https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/DDN-20230419-1>> (dostęp: 16.05.2023).
- Filar B., 2018. Analiza możliwości rozbudowy pojemności czynnej podziemnego magazynu gazu w wyniku podnoszenia górnego ciśnienia pracy PMG powyżej pierwotnego ciśnienia złoża gazu. *Nafta-Gaz*, 74(4): 279–282. DOI: 10.18668/NG.2018.04.03 .
- Filar B., Miziołek M., Kwilosz T., 2020. Dostosowanie parametrów pracy PMG do aktualnych potrzeb rynku gazu ziemnego w Polsce. *Nafta-Gaz*, 76(9): 601–609. DOI: 10.18668/NG.2020.09.06.
- Gaz-System, 2021. Krajowy dziesięcioletni plan rozwoju systemu przesyłowego. Plan rozwoju w zakresie zaspokojenia obecnego i przyszłego zapotrzebowania na paliwa gazowe na lata 2022–2031. <<https://www.gaz-system.pl/dam/jcr:8dfb8bfc-c33d-4107-95a4-16fec89f0ab9/krajowy-plan-rozwoju-gaz-system-2022-2031.pdf>> (dostęp: 16.05.2023).
- Lankof L., 2018. Klasyfikacja polskich złóż soli kamiennej w aspekcie magazynowania i składowania substancji. *Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN. Studia, Rozprawy, Monografie*, 209.
- Marszałek J., 2000. Podziemny Magazyn Gazu Mogilno – zasady funkcjonowania, koszty wytworzenia i eksploatacji. *Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków*.
- Piesik-Buś W., 2016. Analiza przydatności wybranych złóż gazu ziemnego zapadliska przedkarpackiego do konwersji na PMG. *Nafta-Gaz*, 72(2): 95–101. DOI: 10.18668/NG.2016.02.03 .
- Szufflicki M., Malon A., Tymiński M., 2022. Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2021 r. *Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa*. <http://geoportal.pgi.gov.pl/css/surowce/images/2021/bilans_2021.pdf> (dostęp: 16.05.2023).
- Ślizowski J., Urbańczyk K., Lankof L., Serbin K., 2011. Analiza zmienności polskich pokładów soli kamiennej w aspekcie magazynowania gazu. *Wiertnictwo, Nafta, Gaz*, 28(1–2): 431–443.
- Zeljaś D., 2020. Magazyny gazu ziemnego w cechsztyńskich formacjach solnych elementem bezpieczeństwa energetycznego Polski. *Przegląd Geologiczny*, 68(11): 824–832.



Mgr inż. Bogdan FILAR
Starszy specjalista badawczo-techniczny; Kierownik Zakładu Podziemnego Magazynowania Gazu Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy ul. Lubicz 25 A 31-503 Kraków
E-mail: bogdan.filar@inig.pl



Dr Agnieszka MOSKA
Adiunkt w Zakładzie Podziemnego Magazynowania Gazu Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy ul. Lubicz 25 A 31-503 Kraków
E-mail: agnieszka.moska@inig.pl



Mgr Mariusz MIZIOŁEK
Starszy specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie Podziemnego Magazynowania Gazu Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy ul. Lubicz 25 A 31-503 Kraków
E-mail: mariusz.mizolek@inig.pl



Dr Tadeusz KWIŁOSZ
Adiunkt w Zakładzie Podziemnego Magazynowania Gazu Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy ul. Lubicz 25 A 31-503 Kraków
E-mail: tadeusz.kwilosz@inig.pl



Dr inż. Renata CICHA-SZOT
Adiunkt; Kierownik Zakładu Inżynierii Naftowej Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy ul. Lubicz 25 A 31-503 Kraków
E-mail: renata.cicha-szot@inig.pl



Dr inż. Tadeusz SZPUNAR
Adiunkt w Zakładzie Inżynierii Naftowej Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy ul. Lubicz 25 A 31-503 Kraków
E-mail: tadeusz.szpunar@inig.pl