

Kawernowe podziemne magazyny gazu w Polsce – teraźniejszość i przyszłość

Paweł Wilkosz¹



Underground gas storage in salt caverns in Poland – present and future. Prz. Geol., 72: 597–601;
doi: 10.7306/2024.38

Abstract. Underground storage of energy carriers in geological structures has been practiced on a large scale for many decades and is an economically and technically mature solution. So far, energy has been stored mainly in the form of gaseous and liquid hydrocarbons on a large scale in geological structures, i.e. partially exploited deposits of natural gas and crude oil, salt caverns, rock caverns, aquifers, or in post-mining excavations. Currently, seven underground high-methane gas underground storage facilities are operated in Poland with a total working capacity of 3 326.12 million cubic metres. In recent years, the greatest interest has focused on cavern-type storage due to their universality for various types of stored substances and very good technical and operational parameters. Currently, two cavern-type natural gas storage facilities are operated in Poland: Underground Gas Storage Mogilno (UGS Mogilno) and Underground Gas Storage Kosakowo (UGS Kosakowo). UGS Mogilno operates 14 storage caverns located in the Mogilno Salt Dome. The total capacity of this storage is 821.25 million cubic metres (working capacity is 580.92 million cubic metres). UGS Kosakowo operates 10 storage caverns located in the Mechelinki rock salt deposit. The total capacity of this storage is 379 million cubic metres (working capacity is 295.2 million cubic metres). Due to the systematically increasing share of renewable energy and decarbonization plans, in recent years more and more attention has been focused on underground energy storage in the form of compressed air and hydrogen. According to the Gas Infrastructure Europe Report, salt caverns are the only type of storage whose suitability for storing pure hydrogen or a mixture of hydrogen and natural gas has already been proven. There are numerous deposits of Zechstein rock salts in Poland, but only a small part of them can be used for the construction of underground storage facilities. From the point of view of future investments, the most important are the already developed rock salt deposits, where there are currently cavern facilities for natural gas storage, i.e. UGS Kosakowo and UGS Mogilno.

Keywords: underground gas storage, salt caverns, hydrogen storage

Wykorzystanie struktur geologicznych do podziemnego wielkoskalowego magazynowania nośników energii jest praktykowane na całym świecie od lat 20. XX w. (Reinisch, 2000). W Polsce magazynowanie gazu ziemnego w strukturach geologicznych rozpoczęło się w 1954 r. w częściowo wyeksploatowanym złożu gazu ziemnego *Roztoki* znajdującym się k. Jasła (Reinisch, 2000). Podziemny Magazyn Gazu *Roztoki* był pierwszym podziemnym magazynem gazu w Polsce, a zarazem jednym z pierwszych w Europie. Rozwój podziemnych magazynów gazu (PMG) w Polsce rozpoczął się po koniec lat 70. XX w. W 1979 r. rozpoczęto eksploatację PMG Brzeźnica i PMG Swarzów, a w dalszej kolejności do eksploatacji były włączane PMG Strachocina, PMG Husów, PMG Wierzchowice oraz KPMG Mogilno (kawernowy podziemny magazyn gazu) i KPMG Kosakowo. Główne zainteresowanie koncentruje się na magazynowaniu gazu ziemnego oraz ropy naftowej i paliw płynnych (Reinisch, 2000). Ze względu na systematycznie zwiększający się udział energii odnawialnej oraz plany dekarbonizacji, coraz większa uwaga skupia się na wielkoskalowym magazynowaniu energii w postaci sprężonego powietrza i wodoru w strukturach geologicznych. Celem artykułu jest przedstawienie aktualnych danych o podziemnych magazynach gazu w Polsce, znaczeniu i roli magazynów typu kawernowego oraz ich przyszłego wykorzystania do magazynowania „zielonych” nośników energii.

GEOLOGICZNE METODY MAGAZYNOWANIA SUBSTANCJI

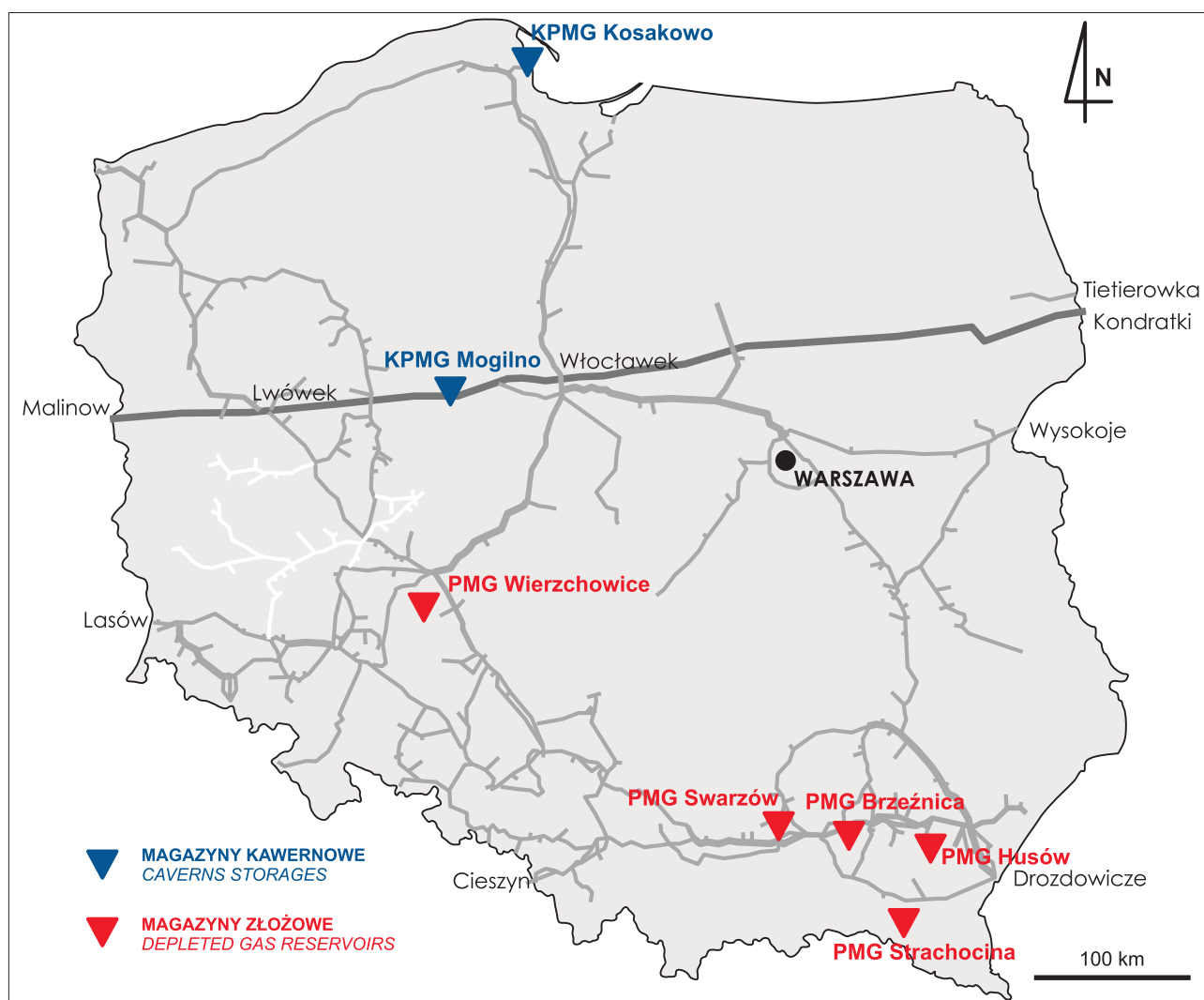
Do magazynowania substancji gazowych i płynnych wykorzystuje się następujące struktury geologiczne:

- ❑ pokładowe i wysadowe złoża soli kamiennej – typ zbiornika kawernowy,
- ❑ częściowo wyeksploatowane złoża gazu ziemnego i ropy naftowej – typ zbiornika porowo-szczelinowy,
- ❑ warstwy wodonośne – typ zbiornika porowy, porowo-szczelinowy,
- ❑ wyrobiska wykonane w niespękanych masywach skał krystalicznych – typ zbiornika kubaturowy.

Każda z ww. struktur geologicznych charakteryzuje się określonymi właściwościami fizycznymi, które determinują możliwości budowy PMG o określonych parametrach techniczno-eksploatacyjnych. Najważniejsze parametry techniczne określające możliwości pracy PMG to:

- ❑ pojemność całkowita (pojemność czynna + buforowa),
- ❑ pojemność czynna (objętość gazu wielokrotnie zatłaczanego i odbieranego z magazynu),
- ❑ pojemność buforowa (objętość gazu pozostająca zawsze w magazynie, spełniająca odpowiednie zadanie technologiczne, np. utrzymuje odpowiednie ciśnienie powstrzymując napływ wody w magazynach złożowych lub zapobiega zjawisku zaciskania się kawern solnych),

¹ Gas Storage Poland Sp. z o.o., ul. Rumska 28, 81-198 Dębogórze; pawel.wilkosz@gas-storage.pl



Ryc. 1. Mapa lokalizacyjna podziemnych magazynów gazu w Polsce (źródło: strony www Gas Storage Poland)
 Fig. 1. Location map of underground gas storage in Poland (source: Gas Storage Poland website)

- moc odbioru gazu,
- moc zatłaczania gazu,
- zdolność do wykonywania wielu cykli zatłaczania i odbioru gazu w ciągu roku.

PODZIEMNE MAGAZYNY GAZU W POLSCE

Aktualnie w Polsce jest eksploatowanych siedem podziemnych magazynów gazu (PMG) wysokometanowego (ryc. 1). Łączna pojemność czynna tych magazynów wynosi 3 326,12 mln m³ (tab. 1), z czego pojemność czynna magazynów typu kawernowego wynosi 876,12 mln m³, co stanowi 26,34% łącznej pojemności czynnej. Po rozbudowie magazynów PMG Wierzchowice i PMG Strachocina łączna pojemność czynna PMG w Polsce osiągnie ok. 4180 mln m³.

Kolejnym ważnym parametrem jest maksymalna moc odbioru paliwa gazowego z magazynów. Łączna moc odbioru wynosi obecnie 53,47 mln m³/dobę, z czego 27,6 mln m³/dobę przypada na magazyny typu kawernowego i 25,87 mln m³/dobę na magazyny złożowe. Moc odbioru magazynów typu kawernowego stanowi 51,6% maksymalnej mocy odbioru paliwa gazowego wszystkich magazynów w Polsce.

MAGAZYNY TYPU KAWERNOWEGO

W ostatnich latach największe zainteresowanie koncentruje się wokół kawern solnych wybudowanych metodą otworowego ługowania w złożach soli kamiennej z uwagi na ich uniwersalność dla różnych rodzajów magazynowanych substancji i bardzo dobre parametry techniczno-eksploatacyjne (Lankof, Tarkowski, 2020; Wilkosz, Grzybowski, 2021; Wittmann, Wilkosz, 2022). Kawerny solne zapewniają: bardzo dużą elastyczność pracy, możliwość pracy wielocyklowej, magazynowanie krótko-, średnio- i długoterminowe, bardzo duże pojemności czynne przy małej objętości pojemności buforowej oraz bardzo duże moce zatłaczania i odbioru. Ponadto z uwagi na neutralność skał solnych wobec magazynowanych substancji i nieprzepuszczalność skał solnych dla substancji gazowych i płynnych gwarantują one wysoki stopień bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego. Wszystkie te cechy są bardzo pożądane dla infrastruktury magazynowej, która w przyszłości będzie w wielu przypadkach współpracować z odnawialnymi źródłami energii.

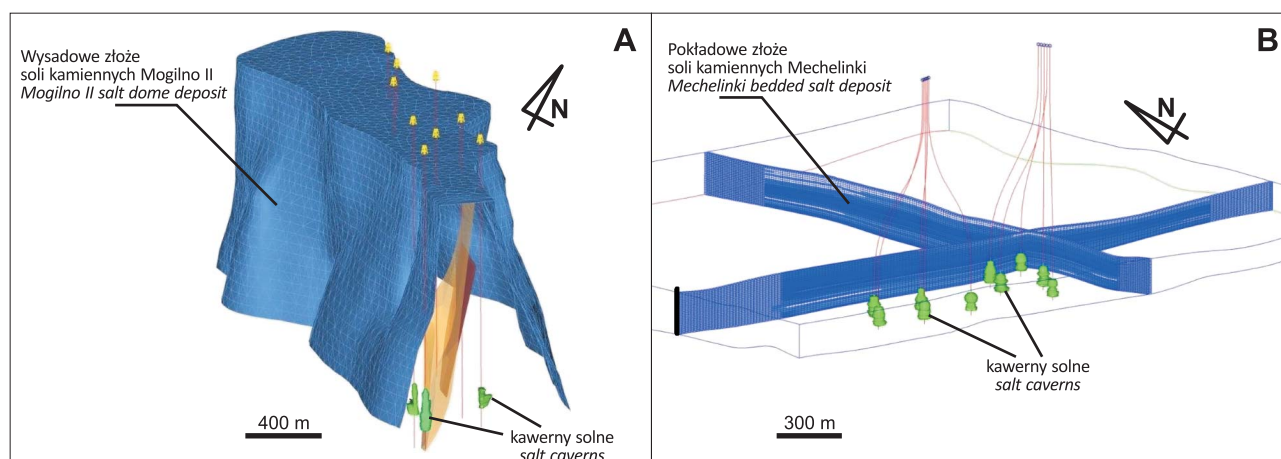
W Polsce są eksploatowane dwa magazyny typu kawernowego – KPMG Mogilno i KPMG Kosakowo. Pierwsza kawerna magazynowa w Polsce została wybudowana

Tab. 1. Maksymalne zdolności instalacji magazynowych gazu w Polsce w sezonie 2024/2025 (źródło: <https://ipi.gasstoragepoland.pl/>)
Table 1. The maximum capacity of gas storage facilities in Poland in the season 2024/2025 (source: <https://ipi.gasstoragepoland.pl/>)

Nazwa magazynu <i>Storage</i>	Typ magazynu <i>Storage type</i>	Pojemność czynna <i>Working volume</i> [mln m ³]	Maksymalna moc załaczania <i>Max. injection capacity</i> [mln m ³ /dobę]	Maksymalna moc odbioru <i>Max. withdrawal capacity</i> [mln m ³ /dobę]
KPMG Mogilno <i>CUGS Mogilno</i>	kawernowy <i>salt caverns</i>	580,92	9,60	18,00
KPMG Kosakowo <i>CUGS Kosakowo</i>	kawernowy <i>salt caverns</i>	295,20	2,40	9,60
PMG Wierzchowice <i>UGS Wierzchowice</i>	złożowy <i>depleted gas reservoir</i>	1300,00 (2100,00*)	9,60	14,40
PMG Husów <i>UGS Husów</i>	złożowy <i>depleted gas reservoir</i>	500,00	4,15	5,76
PMG Strachocina <i>UGS Strachocina</i>	złożowy <i>depleted gas reservoir</i>	460,00 (515,00*)	3,84	3,36
PMG Swarzędz <i>UGS Swarzędz</i>	złożowy <i>depleted gas reservoir</i>	90,00	1,00	0,91
PMG Brzeźnica <i>UGS Brzeźnica</i>	złożowy <i>depleted gas reservoir</i>	100,00	1,44	1,44
RAZEM		3326,12 (ok 4180,00*)	32,03	53,47

* Pojemność po rozbudowie PMG Wierzchowice i PMG Strachocina

* Capacity after the expansion of UGS Wierzchowice and UGS Strachocina



Ryc. 2. Modele przestrzenne dla: **A** – wysadowego złoża soli kamiennych Mogilno II, **B** – pokładowego złoża najstarszych soli kamiennych Mechelinki z zaznaczonymi kawernami magazynowymi (Wilkosz, Grzybowski, 2021)

Fig. 2. Spatial models for: **A** – Mogilno II Salt Dome deposit, **B** – Mechelinki bedded salt Na1 deposit (2b) with marked storage caverns (Wilkosz, Grzybowski, 2021)

w wysadzie solnym Mogilno i oddana do eksploatacji w 1997 r. Aktualnie w KPMG Mogilno jest eksploatowanych 14 kawern magazynowych dla gazu ziemnego, umiejscowionych w wysadowym złożu soli kamiennych Mogilno II (ryc. 2A). Złożo to jest zbudowane ze skał wieku permskiego, a kawerny solne są zlokalizowane w starszych (Na2), młodszych (Na3) i najmłodszych (Na4) solach kamiennych.

Pojemność całkowita tego magazynu wynosi 821,25 mln m³, w tym pojemność czynna wynosi 580,92 mln m³, a pojemność poduszki to 240,33 mln m³. Z uwagi na budowę geologiczną złoża poszczególne kawerny magazynowe są posadowione na głębokościach w przedziale od ok. 600 m p.p.t. do ok. 1600 m p.p.t., mają różne ciśnienia magazynowania w przedziale od 9,8 do 21,3 MPa oraz różne pojemności całkowite, które osiągają maksymalnie ponad 100 mln m³ dla gazu dla pojedynczej kawerny. Magazyn ten charakteryzuje się najlepszymi mocami mak-

symalnego załaczania i odbioru gazu spośród wszystkich magazynów w Polsce (tab. 1).

Drugi magazyn typu kawernowego to KPMG Kosakowo, położony w północnej Polsce w bezpośrednim sąsiedztwie aglomeracji trójmiejskiej. Budowa tego magazynu rozpoczęła się w 2009 r. i pierwsze dwie kawerny magazynowe zostały oddane do eksploatacji w 2013 r. W następnych latach były realizowane kolejne etapy inwestycji i od 2021 r. w KPMG Kosakowo jest eksploatowanych 10 kawern magazynowych. Kawerny magazynowe są umiejscowione w pokładowym złożu soli kamiennych Mechelinki (ryc. 2B). Złożo to jest zbudowane z najstarszych soli kamiennych Na1 wieku permskiego. Pojemność całkowita tego magazynu wynosi 379 mln m³, w tym pojemność czynna – 295,2 mln m³, a pojemność buforowa to 83,8 mln m³. Z uwagi na budowę geologiczną złoża poszczególne kawerny magazynowe są posadowione na podobnych głębokościach w przedziale 1020,0–1150,0 m p.p.t., mają identyczne maksymalne ciś-

nienia magazynowania 16,2 MPa oraz zbliżone pojemności całkowite w przedziale 34–42,3 mln m³ dla gazu w pojedynczych kawernach.

Podstawową rolą PMG w Polsce jest zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego kraju, wspieranie pracy systemu przesyłowego w warunkach szczytowego zapotrzebowania na gaz, zapewnienie możliwości kontraktowania gazu z zewnętrznymi lub wewnętrznymi źródłami bez konieczności zapewnienia dużego zakresu elastyczności, który zazwyczaj jest dodatkowo płatny w kontraktach bilateralnych, o ile w ogóle jest oferowany (Wittmann, Wilkosz, 2022). Dzięki pracy magazynów gazu możliwe jest obniżenie ceny zakupywanego gazu jak również ograniczanie nadmiernych potrzeb w zakresie rozbudowy przepustowości połączeń międzysystemowych.

ROLA MAGAZYNÓW TYPU KAWERNOWEGO W PRZYSZŁOŚCI

Ze względu na zwiększający się udział energii odnawialnej w strukturze produkcji energii elektrycznej oraz plany dekarbonizacji gospodarek w wielu krajach na świecie aktualnie uruchamiane są liczne projekty, które koncentrują się na wielkoskalowym magazynowaniu energii w postaci wodoru i sprężonego powietrza w strukturach geologicznych, a w szczególności w kawernach solnych. Europejskie stowarzyszenie operatorów infrastruktury gazowej *Gas Infrastructure Europe* (GIE) w swoim raporcie z 2021 r. (Cihlar i in., 2021) wyraźnie wskazuje na kawerny solne jako opcję pierwszego wyboru w projektach dotyczących magazynowania wodoru dla krajów, które mają w swoich granicach złoża soli kamiennych. W perspektywie budowy magazynów wodoru istotne jest, że kawerny solne stanowią sprawdzoną i dojrzałą technologię do magazynowania wodoru. Oceniając dojrzałość techniczną (TRL – *technology readiness level*) rozwiązań dla magazynowania wodoru, autorzy raportu przyznali kawernom solnym wartość 8–9 (w skali 1–9), co oznacza kompletny i zaakceptowany system (*system complete and qualified*). W raporcie wskazano, że inne formy magazynowania geologicznego w częściowo wyeksploatowanych złożach gazu i ropy, strukturach wodonośnych (tzw. aquiferach) czy też w kawernach skalnych wymagają przeprowadzenia dalszych badań i testów, które potwierdzą ich przydatność do bezpiecznego technologicznie i środowiskowo magazynowania wodoru. W przeciwieństwie do innych rozwiązań, magazynowanie wodoru w kawernach solnych jest prowadzone już od wielu lat. Obecnie na świecie eksploatowanych jest sześć kawern solnych, w których magazynowany jest wodór w postaci gazowej (Crotogino, 2016). Trzy spośród nich znajdują się w Wielkiej Brytanii, gdzie od lat 70. ub.w. prowadzi się magazynowanie wodoru w pokładowym złożu cechsztyńskich soli kamiennych w Teeside. Kolejne trzy są zlokalizowane Stanach Zjednoczonych w wysadach solnych Clemens Dome i Spindle Top (Teksas) oraz Moss Bluff (Luizjana), gdzie magazynowany wodór jest wykorzystywany do celów petrochemicznych. Są to duże kawerny o objętości rzędu 600–900 tys. m³ i jak dotychczas nie raportowane problemów związanych z ich eksploatacją (Acht, Donadei, 2012).

Ze względu na założenie, że magazynowanie wodoru w kawernach solnych nie będzie się znacząco różniło od

magazynowania gazu ziemnego (Wilkosz, Grzybowski, 2021), wyboru potencjalnych lokalizacji dla przyszłego magazynu wodoru będzie się dokonywało stosując podobne jak dla metanu kryteria wyboru. W Polsce występują liczne złoża oraz struktury solne wieku cechsztyńskiego (Czapowski, Tomassi-Morawiec, 2012; Czapowski, 2019), ale tylko niewielka ich część może być zagospodarowana dla budowy podziemnych magazynów wodoru (Wilkosz, Grzybowski, 2023). Z punktu widzenia przyszłych inwestycji największe znaczenie mają już zagospodarowane złoża soli kamiennych, w których istnieją obecnie kawernowe magazyny gazu ziemnego, tj. Mechelinki (KPMG Kosakowo) oraz Mogilno II (KPMG Mogilno). Z punktu widzenia techniczno-geologicznego złoża te należy uznać za najbardziej perspektywiczne lokalizacje z uwagi na m.in. istniejącą infrastrukturę ługowniczą, sprawdzone na przestrzeni wielu lat rozwiązania poboru wody i zagospodarowania solanki, bardzo dobre rozpoznanie budowy geologicznej, co w efekcie sprawia, że te lokalizacje są najkorzystniejsze pod względem nakładów inwestycyjnych. Pod względem potencjalnych odbiorców usług oraz przesyłu i dystrybucji wodoru złożo Mogilno II jest zlokalizowane w bezpośrednim sąsiedztwie planowanego Nordycko-Bałtyckiego Korytarza Wodorowego, który w przyszłości umożliwi transgraniczny przesył wodoru od Finlandii przez Estonię, Łotwę, Litwę i Polskę do Niemiec, a złożo Mechelinki jest zlokalizowane w sąsiedztwie planowanych lokalizacji Morskich Farm Wiatrowych na Morzu Bałtyckim, co preferuje je do budowy kawern solnych dla magazynowania nadwyżek energii w postaci wodoru i/lub sprężonego powietrza.

PODSUMOWANIE

Jednym z najważniejszych elementów systemu bezpieczeństwa energetycznego państwa są podziemne magazyny gazu (PMG) zlokalizowane w strukturach geologicznych, których podstawową rolą jest pokrywanie zmian obciążenia zapotrzebowania na paliwo gazowe. W przyszłości magazynowanie energii w postaci wodoru w kawernach solnych będzie istotnym elementem w procesie transformacji energetycznej w Europie i Polsce. Prawie wszystkie aktualnie realizowane projekty związane z wielkoskalowym magazynowaniem energii w postaci wodoru zakładają jego przechowywanie tylko w kawernach solnych ze względów technicznych, ekonomicznych, środowiskowych i bezpieczeństwa. Z uwagi na ograniczony zasięg występowania złóż soli kamiennych lub też ich brak w niektórych krajach, będą prowadzone dalsze prace badawcze nad możliwościami magazynowania wodoru w innych strukturach geologicznych, w szczególności w częściowo wyeksploatowanych złożach gazu ziemnego i ropy. Polska ma niezwykle korzystne warunki geologiczne oraz długoletnie doświadczenie w budowie kawern solnych dla gazu, aby być jednym z nielicznych krajów w Europie, który będzie miał komory magazynowe na wodór. Magazynowanie wodoru w kawernach nie będzie znacząco różniło się od magazynowania gazu ziemnego. Różnice we właściwościach fizykochemicznych między wodorem a gazem ziemnym muszą być jednak wzięte pod uwagę przy projektowaniu komór wodorowych (m.in. wybór odpowiedniej partii złoża soli kamiennych, dobór materiałów eksploatacyj-

nych czy cementów). Istniejące obecnie na świecie komory magazynowe na wodór, wykorzystywane do celów petrochemicznych, potwierdzają wykonalność takich instalacji i możliwość ich bezpiecznej eksploatacji.

Autor dziękuje wszystkim współpracownikom z Gas Storage Poland sp. z o.o. zaangażowanym w realizację projektów magazynowania gazu ziemnego i wodoru w kawernach solnych oraz Recenzentom za cenne uwagi i sugestie.

LITERATURA

ACHT A., DONADEI S. 2012 – Hydrogen storage in Salt caverns state of art., new developments and R&D Projects. SMRI Fall 2012 Technical Conference, 1–2 October 2012, Bremen, Germany.
CROTOGINO F. 2016 – Large Scale Hydrogen Storage. Elsevier Inc.: Amsterdam, The Netherlands: 411–429.
CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H. 2012 – Stan rozpoznania geologicznego struktur solnych regionu szczecińskiego pod kątem oceny możliwości budowy w ich obrębie kawernowych magazynów i składowisk. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 448: 145–156.
CZAPOWSKI G. 2019 – Perspektywy lokowania kawern magazynowych wodoru w pokładowych wystąpieniach soli kamiennych górnego permu (cechsztyń) w Polsce – opinia geologiczna. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 477: 21–54.

CIHLAR J., MAVINS D., VAN DER LEUN K. 2021 – Picturing the value of underground gas storage to the European hydrogen system. Guidehouse study. Gas Infrastructure Europe 2021.

<https://ipi.gasstoragepoland.pl/pl/menu/transparency-template/?page=us%C5%82ugi-i-infrastruktura/parametry-techniczne/>

LANKOF L., TARKOWSKI R. 2020 – Assessment of the potential for underground hydrogen storage in bedded salt formation. *Inter. J. Hydrogen Energy*, 45, 19479–19492.

REINISCH R. 2000 – Wybrane, istotne aspekty podziemnych magazynów gazu. Wydaw. PLJ Warszawa.

WILKOSZ P., GRZYBOWSKI Ł. 2021 – Kawerny solne – najlepszy sposób wielkoskalowego podziemnego magazynowania wodoru. *Prz. Gazow.*, 9: 46–47.

WILKOSZ P., GRZYBOWSKI Ł. 2023 – Możliwości budowy kawern solnych na obszarze Polski dla wielkoskalowego magazynowania wodoru. *Prz. Gazow.*, 3 (79): 8–12.

WITTMANN B., WILKOSZ P. 2022 – Bezpieczeństwo energetyczne – rola podziemnych magazynów gazu ziemnego. [W:] Stala J., Butrymowicz M. (red.), *W służbie społeczeństwu. Polska w obronie praw człowieka na świecie i w kraju*. Uniw. Papieski Jana Pawła II w Krakowie, Wydaw. Nauk., Kraków, 159–182.

Praca wpłynęła do redakcji 2.09.2024 r.

Akceptowano do druku 17.10.2024 r.