

Pokładowe wystąpienia soli potasowo-magnezowych w południowo-zachodniej Polsce – potencjał złożowy

Grzegorz Czapowski¹, Marta Hodbod¹, Leszek Skowroński¹, Katarzyna Sobień¹



G. Czapowski



M. Hodbod



L. Skowroński



K. Sobień

Stratiform potash deposits in south-western Poland – resource potential. Prz. Geol., 71: 321–331; doi: 10.7306/2023.30

Abstract. New borehole data (from boreholes drilled after 2014) and reinterpretation of historical well logs enabled to update the acreage and reserve potential of Upper Permian (Zechstein) stratiform potash-bearing deposits in SW Poland (Fore-Sudetic area). These deposits, referred to as the Older Potash (K2) and the Younger Potash (K3), are included in the Stassfurt (Z2) and Leine (Z3) cyclothems. Within the present-day extent

of both units, several prospective areas with the maximum depth to the potash seam of 2 km and its thickness over 2 m have been contoured. For each such area, predicted reserves of potash rock have been calculated (using such parameters as the area, average potash seam thickness, and specific weight of potash rock assumed at 2.1 Mg/m³). 7 prospective areas (defined by 98 wells) of the Older Potash (K2) deposits have the reserves estimated at 3.2 bln Mg and a total surface area of 454 km². 6 areas (contoured by 23 wells) of the Younger Potash (K3) deposits characterize rocks of predicted reserves of 288.8 mln Mg and a total surface area over 60 km². Therefore, the area of SW Poland offers a relatively high resource potential for potash salts and a more detailed geological insight (and possible future exploitation) of 13 prospective areas with total predicted reserves of 3.53 bln Mg and a total surface area of up to 514 km². Preliminary calculation of possible amounts of K₂O in these reserves (assuming a low average K₂O content at 1%) suggests 35.32 mln Mg of potassium oxide. Because the potash-bearing seams in the study area are composed mainly of chloride K-Mg minerals such as sylvine (KCl) and carnallite (KClMg · Cl₂ · 6H₂O) easily dissolved in water, these seams are favourable for relatively cheap exploitation by underground leaching.

Keywords: Potash stratiform deposits, resources, Zechstein, SW Poland

Aktualna sytuacja geopolityczna wydatnie ograniczyła możliwości krajowego importu soli potasowo-magnezowych (dotychczasowe główne źródła to Białoruś, Niemcy i Rosja), gdyż Polska, mimo posiadania udokumentowanych zasobów tej kopaliny, nie prowadzi jej eksploatacji. Stąd wzrost zainteresowania dotychczas zarejestrowanymi złożami soli potasowo-magnezowych, jak również obszarami, na których stwierdzono ich występowanie (np. Czapowski i in., 2009, 2015; Czapowski, Bukowski, 2013, 2015; Mikulski i in., 2015; Czapowski, 2017; Szamałek i in., 2020).

Sole potasowo-magnezowe (K-Mg) mają bardzo szerokie zastosowanie. Wykorzystywane są głównie (do 90% produkcji) w rolnictwie i ogrodnictwie jako nawozy sztuczne, w przemyśle chemicznym, kosmetycznym, szklarskim, skórzanym, farbiarskim, pirotechnicznym, w lecznictwie. W przypadku Polski sole te w całości są importowane.

Przedstawione w artykule dane o potencjale zasobowym wystąpień soli potasowo-magnezowych w południowo-zachodniej Polsce wnoszą istotne zmiany *in plus* w porównaniu z wcześniejszymi, podobnymi szacunkami (Czapowski, 2017; Szamałek i in., 2020) i są wynikiem analizy nowych danych wiertniczych, pozyskanych po 2014 r. Ma to znaczenie przy wytypowaniu konkretnych obszarów do lepszego rozpoznania geologicznego, które pozwoli na udokumentowanie zasobów kopaliny w stopniu umożliwiającym podjęcie ewentualnej działalności wydobywczej.

WYSTĘPOWANIE SOLI POTASOWO-MAGNEZOWYCH W POLSCE

Wystąpienia soli potasowo-magnezowych (K-Mg) tworzą asocjacje minerałów solonych, które można podzielić na dwie grupy:

a) sole chlorkowe, w których potas i magnez są związane przez jon chlorkowy, a główne minerały solne to: sylwin (KCl; Łaszkiwicz, 1967), karnalit (KCl · MgCl₂ · 6H₂O; Łaszkiwicz, 1967) i biszofit (MgCl₂ · 6H₂O; Łaszkiwicz, 1967). Minerale te są łatwo rozpuszczalne w wodzie (Łaszkiwicz, 1967; Sonnenfeld, 1984; Manecki, 2019);

b) sole siarczanowe, w których potas i magnez są związane przez jon siarczanowy. Główne minerały tej grupy to: polihalit (K₂SO₄ · 2CaSO₄ · MgSO₄ · 2H₂O; Łaszkiwicz, 1967), kizeryt (MgSO₄ · H₂O; Łaszkiwicz, 1967) i langbajnit (K₂SO₄ · 2MgSO₄; Łaszkiwicz, 1967). Minerale te są praktycznie nierozpuszczalne w wodzie (Łaszkiwicz, 1967; Sonnenfeld, 1984; Manecki, 2019).

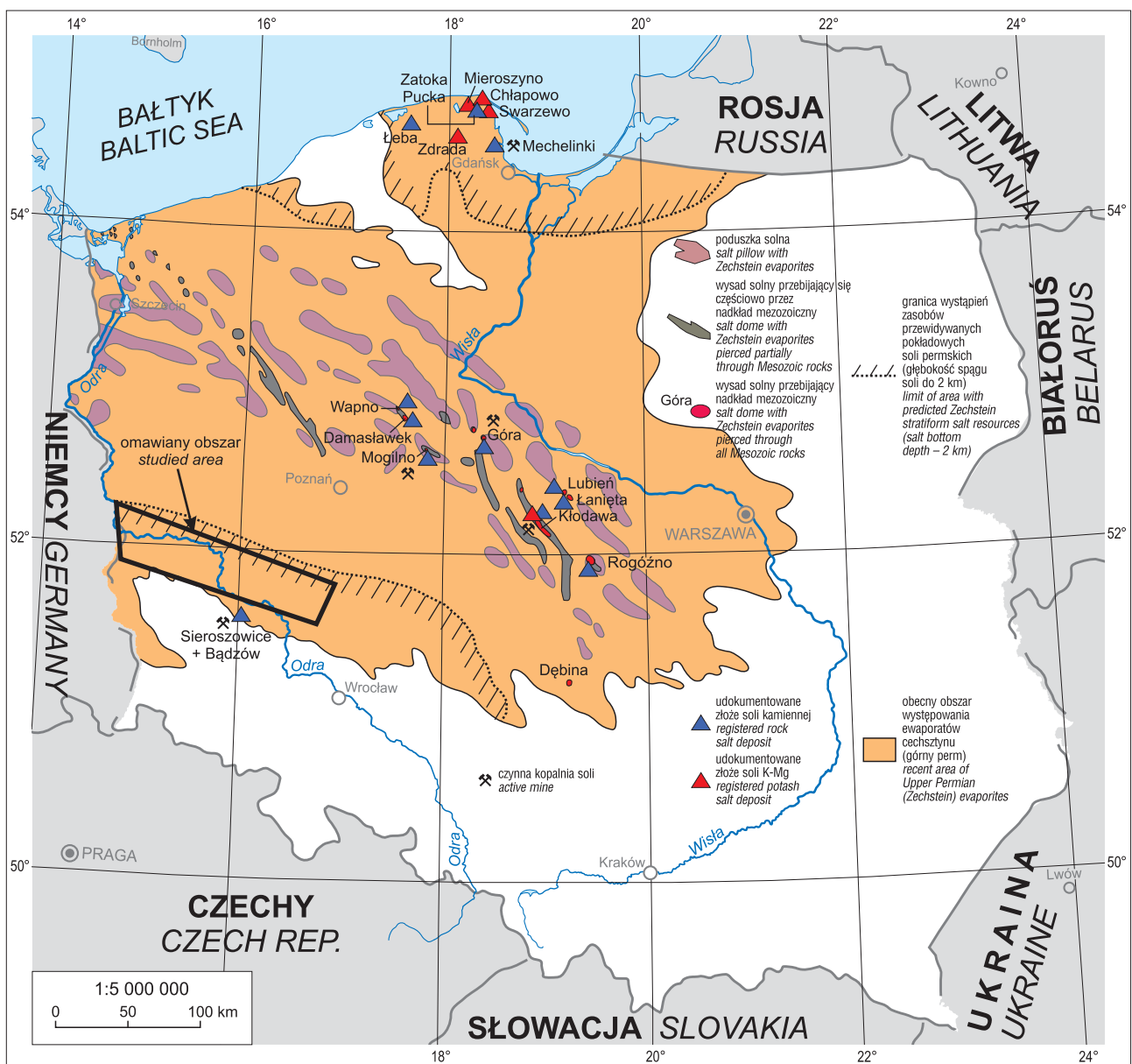
W obu grupach asocjacji mineralnych może się też pojawiać (Czapowski i in., 2022c) uwodniona sól siarczanowo-chlorkowa – kainit (KCl · MgSO₄ · 3H₂O; Łaszkiwicz, 1967).

Na obszarze Polski sole potasowo-magnezowe występują jedynie w obrębie utworów solonośnych górnego permu (ryc. 1) i tworzą serie skalne, określane jako: starsza sól potasowa (K2) i młodsza sól potasowa (K3; tab. 1). Serie te,

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; grzegorz.czapowski@pgi.gov.pl; ORCID ID: Czapowski G. – 0000-0001-8576-6977, Sobień K. – 0000-0002-9815-3595

należące odpowiednio do cyklotemów PZ2 i PZ3 cechsztynu (Wagner, 1995), występują w grubszych kompleksach soli kamiennych, np. w obrębie cyklotemu PZ2 (tab. 1) starsza sól potasowa (K2) występuje pomiędzy starszą solą kamienną (Na2) a starszą solą kamienną kryjącą (Na2r). Z kolei w profilu cyklotemu PZ3 młodsza sól potasowa (K3) dzieli młodszą sól kamienną na dwie części: dolną (Na3d) i górną (Na3g). Utwory solne w obu cyklotemach na terenie SW Polski są podścielone i przykryte skałami siarczanowymi: odpowiednio anhydrytem podstawowym (A2) i anhydrytem kryjącym (A2r) w cyklotemie PZ2 oraz anhydrytem głównym (A3) i anhydrytem stropowym (A3r) w cyklotemie PZ3 (tab. 1). Opisywane w artykule sole potasowo-magnezowe składają się głównie z soli K-Mg typu chlorkowego, z mniejszym udziałem typu siarczanowego (Podemski, 1972a, b, 1973a, b, 1974, 1975; Czapowski i in., 2009, 2012, 2022a, b).

Utwory ewaporatowe (siarczany i sole) górnego permu (cechsztynu) występują na blisko 1/3 obszaru Polski (głównie Polska centralna, południowo-zachodnia, zachodnia i północna), tworząc mniej lub bardziej nachylone pokłady oraz tzw. struktury solne (Nawrocki, Becker, 2017), obejmujące poduszki, grzbiety i wysady solne (ryc. 1). Pokłady mają prostą budowę geologiczną i zajmują większą część terenu występowania skał górnego permu, natomiast struktury solne, zlokalizowane w pasie od Szczecina po rejon Łodzi, charakteryzuje bardzo skomplikowana wewnętrzna budowa, utrudniająca eksploatację pożądaných kopalin (Bukowski, Czapowski, 2016; Nawrocki, Becker, 2017). Wysady solne mają wysokość 6–7 km i strop niektórych z nich znajduje się dość płytko pod powierzchnią terenu – do kilkuset metrów (Nawrocki, Becker, 2017). W płytko występujących wysadach, np. Góra, Inowrocław, Kłodawa, Mogilno i Wapno (ryc. 1) zbudowano kopalnie, w których wydobywa się sól kamienna.



Ryc. 1. Występowanie skał solnych górnego permu, struktur solnych i udokumentowanych złóż soli potasowo-magnezowych w Polsce (Czapowski i in., 2022a, zmienione)

Fig. 1. Recent occurrence of Upper Permian salt rocks in Poland with the position of salt structures and registered potash deposits (after Czapowski et al., 2022a, modified)

Tab. 1. Litostratygrafia utworów ewaporatowych cechsztynu w SW Polsce z pozycją osadów potasonośnych (wg Wagnera, 1995; uzupełnione)

Table 1. Lithostratigraphy of Zechstein evaporites in SW Poland with a position of potash-bearing deposits (after Wagner, 1995; supplemented)

Ewaporatowe wydzielenia litostratigraficzne cechsztynu (górnny perm) cyklotemów PZ2 i PZ3 <i>Evaporite lithostratigraphic units of Zechstein (Upper Permian) cyclothems PZ2 and PZ3</i>		
Wyzdlenia chlorkowe i siarczanowe <i>Chloride and sulphate units</i>		Cyklotemy <i>Cyclothems</i>
Anhydryt stropowy (A3r) <i>Top Anhydrite (A3r)</i>		PZ3
Młodsza sól kamienna górnna (Na3g) <i>Upper Younger Halite (Na3g)</i>	młodsza sól kamienna (Na3) <i>Younger Halite (Na3)</i>	
Młodsza sól potasowa (K3) <i>Younger Potash (K3)</i>		
Młodsza sól kamienna dolna (Na3d) <i>Lower Younger Halite (Na3d)</i>		
Anhydryt główny (A3) <i>Main Anhydrite (A3)</i>		PZ2
Anhydryt kryjący (A2r) <i>Screening Anhydrite (A2r)</i>		
Starsza sól kamienna kryjąca (Na2r) <i>Older Screening Halite (Na2r)</i>		
Starsza sól potasowa (K2) <i>Older Potash (K2)</i>		
Starsza sól kamienna (Na2) <i>Older Halite (Na2)</i>		
Anhydryt podstawowy (A2) <i>Basal Anhydrite (A2)</i>		

Udokumentowane złoża soli potasowo-magnezowych w Polsce występują na Pomorzu Gdańskim i w wysadzie solnym Kłodawa w centralnej Polsce (ryc. 1). Ich budowa geologiczna, geneza i zasoby były w ostatnich latach przedmiotem wielu publikacji (np. Pasieczna, 1987; Peryt 1995, 1998; Peryt i in., 1998, 2005; Czapowski i in., 2008, 2009; Czapowski, Bukowski, 2010, 2012, 2013; Bukowski, Czapowski, 2016; Czapowski, 2017, 2019).

Cztery spośród pięciu udokumentowanych złóż soli potasowo-magnezowych stanowią złoża soli typu siarczanowego (w których dominuje polihalit jako minerał solny), występujące w rejonie Zatoki Puckiej (ryc. 1).

Cztery wspomniane złoża: Chłapowo, Mieroszyno, Swarzewo i Zdrada, występują na obrzeżach wielkiego złoża soli kamiennej Zatoka Pucka. Złoża te zostały w latach 1964–1975 wstępnie udokumentowane w kategorii C2, przy założeniu równomiernego (pokładowego) rozmieszczenia mineralizacji polihalitowej (Czapowski i in., 2008, 2009; Szuflicki i in., 2022). Polihalit występuje tam jako minerał wczesnodiagenetyczny w obrębie anhydrytów podścielających, przedzielających i przykrywających pokład najstarszej soli kamiennej (Szuflicki i in., 2022). Głębokość występowania nieregularnych gniazd i przerozów polihalitowych wynosi 740–900 m, ich grubość zmienia się od 1,9 do 73,0 m (średnio 5–26 m) zaś zawartość K₂O waha się od 7,7 do 13% (Czapowski i in., 2008). Zasoby bilansowe tych złóż wynoszą ponad 597 mln t (tab. 2; Szuflicki i in., 2022).

Późniejsze badania wykazały (Pasieczna, 1987; Peryt 1995, 1998; Peryt i in., 1998, 2005; Czapowski i in., 2014), że koncepcja równomiernego rozmieszczenia mineralizacji polihalitowej w pokładzie anhydrytu jest nietrafna, proces mineralizacji polihalitowej ma charakter diagenetyczny i był bardziej złożony, co musi skutkować ponownym oszacowaniem zasobów kopaliny w złożach (Szuflicki i in., 2022). Obecnie rejon tych złóż jest badany pod kątem ponownego określenia zasobów w ramach koncesji Rejon Pucka nr 28/2014/p przez KGHM Polska Miedź S.A.

Pięte złożo soli potasowo-magnezowych zostało udokumentowane w wysadzie solnym Kłodawa w centralnej Polsce (ryc. 1), jako kopalina towarzysząca w obrębie udokumentowanego w części środkowej wysadu złoża soli kamiennej Kłodawa, które obecnie jest podzielone na dwa złoża: Kłodawa i Kłodawa 1 (Szuflicki i in., 2022). Złożo soli K-Mg tworzy kompleks soli typu chlorkowego (karnalit z nieznaczną domieszką sylwinu i kizerytu), grubości od kilku do 50 m, tworzący tzw. pokład młodszej soli potasowej (K3), sfałdowany i miejscami sprasowany (*op. cit.*). Średnia zawartość K₂O w pokładzie wynosi 8,5% oraz MgO – 8,1% (*op. cit.*). Zasoby bilansowe soli potasowo-magnezowych oszacowane w obrębie złoża soli kamiennej Kłodawa 1 wynoszą ponad 89 mln t (tab. 2).

Łączne zasoby bilansowe (bez filarów ochronnych) udokumentowanych pięciu złóż soli potasowo-magnezowych wynoszą ponad 686 mln t, a pozabilansowe – blisko 19 mln t (tab. 2). Opisane złoża nie są obecnie eksploatowane, niewielką ilość (18,79 tys. t) soli K-Mg wydobyto w latach 1996–2000 ze złoża Kłodawa (Przeniosło, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001).

W Polsce złoża soli potasowo-magnezowych są dokumentowane do głębokości 1200 m (w wystąpieniach pokładowych), zaś w obrębie wysadów solnych jest przyjmowana głębokość z procesu dokumentowania złoża. Jako minimalną miąższość złoża (wraz z przerostami) przyjmuje się 2 m, a minimalna średnia ważona zawartość K₂O w profilu złoża (wraz z przerostami) nie może być mniejsza niż 8% (Szuflicki i in., 2022).

Intensywne badania prowadzone w latach 60. i 70. ub.w. w Polsce w poszukiwaniu złóż soli potasowo-magnezowych (np. Poborski i in., 1956; Werner, 1959, 1962, 1969, 1971, 1972a, b, 1973, 1974; Poborski, 1960, 1961, 1964, 1965, 1969, 1984; Podemski, 1964, 1966, 1970, 1971, 1972a, b, 1973a, b, 1974; Werner i in., 1967; Werner, Podemski, 1971; Werner, Dawidowski, 1976) potwierdziły występowanie tych soli w utworach permu, kończąc się udokumentowaniem wspomnianych złóż, lecz wiele wystąpień soli pozostało w fazie wstępnego rozpoznania. Informacje te posłużyły kilkukrotnemu oszacowaniu – od początku lat 90. ub.w. – potencjalnych zasobów tych soli (Bąk, Przeniosło, 1993; Wołkowicz i in., 2011; Mikulski i in., 2015; Szamałek i in., 2020).

Przewidywane zasoby soli K-Mg w Polsce, obejmujące: zasoby prognostyczne i perspektywiczne, oszacowano w prezentowanej pracy do głębokości 2 km (głębokość aktualnie prowadzonej eksploatacji górniczej soli w Polsce), przyjmując jako minimalną miąższość pokładu soli 2 m. Brak systematycznego opróbowania geochemicznego pokładów na obszarze poddanym oszacowaniu wyeliminował kryterium geochemiczne (min. 8% zawartości K₂O), dlatego podane w pracy wielkości zasobów przewidywanych poszczególnych obszarów określają ilość skały potasonośnej, a nie ilość pożądanego potasu i magnezu lub ich tlenków.

Tab. 2. Zestawienie zasobów udokumentowanych złóż soli potasowo-magnezowych w Polsce w 2021 r. (Szuflicki i in., 2022)
Table 2. Reserves of registered potash-magnesium salt deposits in Poland in 2021 (after Szuflicki et al., 2022)

Nazwa złoża <i>Deposit name</i>	Zasoby (tys. Mg) <i>Reserves (thous. Mg)</i>	
	Zasoby bilansowe <i>Anticipated economic</i>	Zasoby pozabilansowe <i>Anticipated sub-economic</i>
Typ zasobów <i>Reserve type</i>		
Zasoby ogółem <i>Total reserves</i>	686 145	18 853
Woj. pomorskie <i>Pomerania Voivodeship</i> Liczba złóż <i>Number of deposits: 4</i>	597 025	18 853
Chłapowo	32 093	2 407
Mieroszyno	341 735	3 023
Swarzewo	144 027	13 006
Zdrada	79 170	417
Woj. wielkopolskie <i>Wielkopolska Voivodeship</i> Liczba złóż <i>Number of deposits: 1</i>	89 120	–
Kłodawa 1	89 120	–

Zasobami prognostycznymi określono zasoby obliczone do głębokości 1,5 km, zaś zasoby występujące na głębokości 1,5–2,0 km przypisano zasobom perspektywnym (np. Czapowski, Bukowski, 2015; Czapowski i in., 2015; Mikulski i in., 2015; Szamałek i in., 2020). Zasoby obliczono, mnożąc okonturowaną (na podstawie pozytywnych otworów wiertniczych, czyli takich w których miąższość przewierconego pokładu soli K-Mg nie jest mniejsza niż 2 m) powierzchnię wystąpień solnych przez uśrednioną miąższość pokładu/serii solnej (dane z otworów wiertniczych) i wartość gęstości omawianych soli przyjętą jako 2,1 t/m³ (Wołkowicz i in., 2011). W przypadku obszarów ze znaczącą rolą tektoniki obliczone zasoby pomniejszono do 30% (tzw. współczynnik komplikacji budowy geologicznej o wartości 0,3; Bąk, Przeniosło, 1993).

Przedstawione w ostatnich latach szacunki zasobów odnoszą się głównie do pokładowych wystąpień soli K-Mg (np. Wołkowicz i in., 2011; Mikulski i in., 2015; Szamałek i in., 2020). W obliczeniach pominięto wystąpienia soli K-Mg w obrębie struktur wysadowych, poza już udokumentowanymi (np. Mikulski i in., 2015), gdyż ocena zasobów tych soli wymaga bardzo dokładnej znajomości wewnętrznej budowy wysadów, możliwej do uzyskania jedynie po wykonaniu licznych odwiertów i wyrobisk podziemnych.

Ustalone dotychczas zasoby przewidywane wystąpień permskich soli K-Mg (typ chlorkowy) w różnych rejonach Polski kształtują się następująco (Szamałek i in., 2020):

- w Polsce północnej (utwory solne cyklotemu PZ1) w obrębie trzech obszarów perspektywnych – 359,5 mln Mg;
- w Polsce południowo-zachodniej:
 - w obrębie siedmiu obszarów perspektywnych zawierających utwory cyklotemu PZ2 – 2848,21 mln Mg,
 - w obrębie dwóch obszarów perspektywnych zawierających utwory cyklotemu PZ3 – 438,81 mln Mg;

c) w Polsce centralnej (wysady solne, utwory cyklotemu PZ2) – 100 mln Mg.

Łączne przewidywane zasoby soli K-Mg w Polsce oszacowano na ok. 3,75 mld Mg.

SOLE POTASOWO-MAGNEZOWE NA OBSZARZE POLSKI POŁUDNIOWO-ZACHODNIEJ

Najwięcej wystąpień soli K-Mg stwierdzono dotychczas (otwory wiertnicze) na obszarze przedsudeckim w południowo-zachodniej Polsce (ryc. 1). Utwory potasonośne, których obecność opisano już od lat 50.–70. ub.w. (np. Zwierzycki, 1951; Tomaszewski, 1962; Podemski, 1964, 1966, 1971, 1972a, b, 1973a, b, 1974; Sokołowski, 1967; Werner, Podemski, 1971; Werner, Dawidowski, 1976; Garlicki, Szybist, 1986; Kijewski, 1988), występują tam w pokładach solnych cyklotemów PZ2 i PZ3 cechsztynu. Obecny południowy zasięg występowania tych soli różni się w każdym cyklotemie (Czapowski, 1995, 2017; Mikulski i in., 2015), natomiast ku północy rozprzestrzeniają się w całym basenie ewaporatowym cechsztynu, występując na głębokościach do ponad kilku kilometrów w jego centrum (np. Wagner, 1995).

Rozpoznanie wystąpień soli K-Mg na całym obszarze Polski – poza wysadami solnymi w Inowrocławiu i Kłodawie – bazuje na danych z odwiertów. Należy jednak podkreślić, że w przypadku znacznej części otworów wiertniczych przewiercone partie ewaporatowe sukcesji cechsztyńskiej nie były rdzeniowane lub były rdzeniowane fragmentarycznie – o ile nie były to otwory ukierunkowane na dokumentowanie złóż soli. Zatem ustalenie obecności i przedziału głębokości występowania soli K-Mg wymagało interpretacji karotaży wiertniczych (szczególnie zapisu gamma i neutron-gamma), dołączonych do dokumentacji wynikowych tych otworów (patrz: Czapowski i in., 2012, wraz z literaturą). W przypadku kilkudziesięciu otworów, wykonanych w ubiegłym wieku w celu rozpoznania wystąpień soli K-Mg, przeprowadzono oznaczenia składu chemicznego z pozyskanego materiału rdzeniowego, wykazujące obecność minerałów potasonośnych i udział procentowy tlenków potasu i magnezu.

Przedstawione we wcześniejszych publikacjach (np. Czapowski, Bukowski, 2015; Czapowski i in., 2015; Czapowski, 2017; Szamałek i in., 2020) i w niniejszej pracy szacunki wielkości zasobów soli K-Mg w opisanych obszarach perspektywnych określają ilość skały, zawierającej sole potasowo-magnezowe. W artykule przedstawiono też próbę oszacowania minimalnej ilości K₂O w utworach potasonośnych wskazanych obszarów łącznie. Dzięki pozyskaniu danych z nowych otworów wiertniczych (wykonanych po 2014 r.) i reinterpretacji zapisów karotażowych ze starszych odwiertów, zaprezentowano nowe wyliczenia dla obszarów perspektywnych wskazanych wcześniej na obszarze przedsudeckim (*op. cit.*) oraz zdefiniowano nowe wystąpienia soli K-Mg.

STAN ROZPOZNANIA PERSPEKTYWICZNYCH OBSZARÓW POKŁADOWYCH WYSTĄPIEŃ ZŁÓŻ SOLI K-Mg W SW POLSCE

Na obszarze Polski południowo-zachodniej (obszar przedsudecki) wystąpienia pokładowe soli potasowo-magnezowych przynależą do cyklotemów PZ2 (pokład

Tab. 3. Charakterystyka obszarów perspektywicznych pokładowych wystąpień soli potasowo-magnezowych cyklotemu PZ2 w SW Polsce**Table 3.** Characteristics of prospective areas with stratiform potash-magnesium salt deposits of PZ2 cyclothem in SW Poland

Nazwa obszaru <i>Prospective area name</i>	Powierzchnia [km ²] <i>Area</i>	Zasoby przewidywane [mln Mg] <i>Predicted resources</i>	Stopień rozpoznania geologicznego (ilość odwiertów) <i>Geological recognition (number of wells)</i>	Parametry pokładu potasonośnego <i>Parameters of potash seam</i>		Stan wiedzy o mineralizacji K i Mg <i>Data on K and Mg mineralization</i>
				głębokość spągu (od-do/średnia) [m] <i>bottom depth (min-max/average)</i>	miąższość (od-do/średnia) [m] <i>thickness (min-max/average)</i>	
Chlebowo-Luboszyce	330,8	2461,7	50	1026,5–1988,0/ 1583,22	2,0–92,0/ 11,81	przypuszczalnie halit+sylwin oraz halit+anhydryt+polihalit, średnia zawartość K ₂ O = 1–9% <i>probably halite+sylvine and halite+anhydrite+ polyhalite, average K₂O content 1–9%</i>
Dachów	2,9	6,4	2	960,0–1073,0/ 1016,5	3,0–4,0/ 3,5	
Drzonków-Droszków	14,2	91,8	5	1506,5–1800,5/ 1669,6	6,0–16,5/ 10,3	
Nowa Sól K2	23,1	131,6	11	1032,5–1477,5/ 1248,22	3,0–18,5/ 9,04	
Piaski-Jeleniów	62,0	395,0	15	940,5–1295,0/ 1124,38	3,5–24,4/ 10,1	
Pomorsko K2	15,8	102,4	8	1840,5–1985,0/ 1914,44	5,0–16,5/ 10,25	
Radnica-Chyże	5,2	54,45	7	1813,5–1960,0/ 1882,86	5,5–39,5/ 16,58	
Liczba obszarów <i>Number of areas</i>	Sumaryczna powierzchnia [km ²] <i>Total area</i>	Sumaryczne zasoby [mln Mg] <i>Total resources</i>	Sumaryczna liczba otworów <i>Total number of wells</i>	Szacowana ilość K₂O [mln Mg] <i>Estimated amount of K₂O</i>		
7	454,0	3243,35	98	32,43		

starszej soli potasowej K2) i PZ3 (pokład młodszej soli potasowej K3).

Pokład soli potasowych i potasowo-magnezowych cyklotemu PZ2

Na obszarze przedsudeckim pokład starszej soli potasowo-magnezowej (K2) został przewiercony wieloma otworami – od terenu perykliny Żar na zachodzie (SW skraj monokliny przedsudeckiej) po rejon Nowej Sól na wschodzie. Strop pokładu występuje na głębokości od 975 m w części SW i S monokliny do 1700–1925 m w części N, jego przewiercona miąższość jest bardzo zmienna od kilku do 30 m (Podemski, 1966, 1972a, b, 1975; Mikulski i in., 2015). Pokład tworzą przemiennie występujące w profilu warstwy (grubości 0,1–1,0 m) soli kamiennej, soli kamiennej z sylwinem i tzw. soli twardej (o składzie: halit, anhydryt, polihalit, kizeryt; Podemski, 1966, 1972a, b, 1975). Udział K₂O w pokładzie zmienia się od 1 do 15% (w otworze Wężyska 2 odnotowano udział K₂O w ilości 25%), wartość średniej ważonej mieści się w przedziale 0,5–9,5%, wartość średniej arytmetycznej od 1 do 9% (w partiach bogatszych wynosi ona 4–9%; Podemski, 1975; Mikulski i in., 2015).

Skały potasonośne, należące do tego pokładu, występują w siedmiu wyróżnionych obszarach perspektywicznych (OP): OP Chlebowo-Luboszyce, OP Dachów, OP Drzonków-Droszków, OP Nowa Sól K2, OP Piaski-Jeleniów, OP Pomorsko K2 i OP Radnica-Chyże (tab. 3; ryc. 2).

OP Chlebowo-Luboszyce został dobrze rozpoznany 50 otworami wiertniczymi, przewiercającymi utwory cechsztynu (tab. 3; ryc. 2).

Budowa pokładu potasonośnego jest niejednorodna, składa się z kilku przewarstwień soli potasowo-magnezowych i soli kamiennej. W jego obrębie występują liczne zaburzenia tektoniczne (uskokki, nasunięcia), powodujące pozorny wzrost miąższości serii potasonośnej. Główne asocjacje mineralne to halit + sylwin oraz halit + anhydryt + polihalit, tworzące przemiennie występujące warstwy o miąższości do 1 m, natomiast w stropie i spągu serii potasonośnej dominuje polihalit. Średnia zawartość K₂O to 1–9% (4–9% w partiach bogatszych), maks. 25% (otwór wiertniczy Wężyska-2; Mikulski i in., 2015). W otworze Rybaki-14 udział K₂O wynosi od 9 do 18% (*op. cit.*).

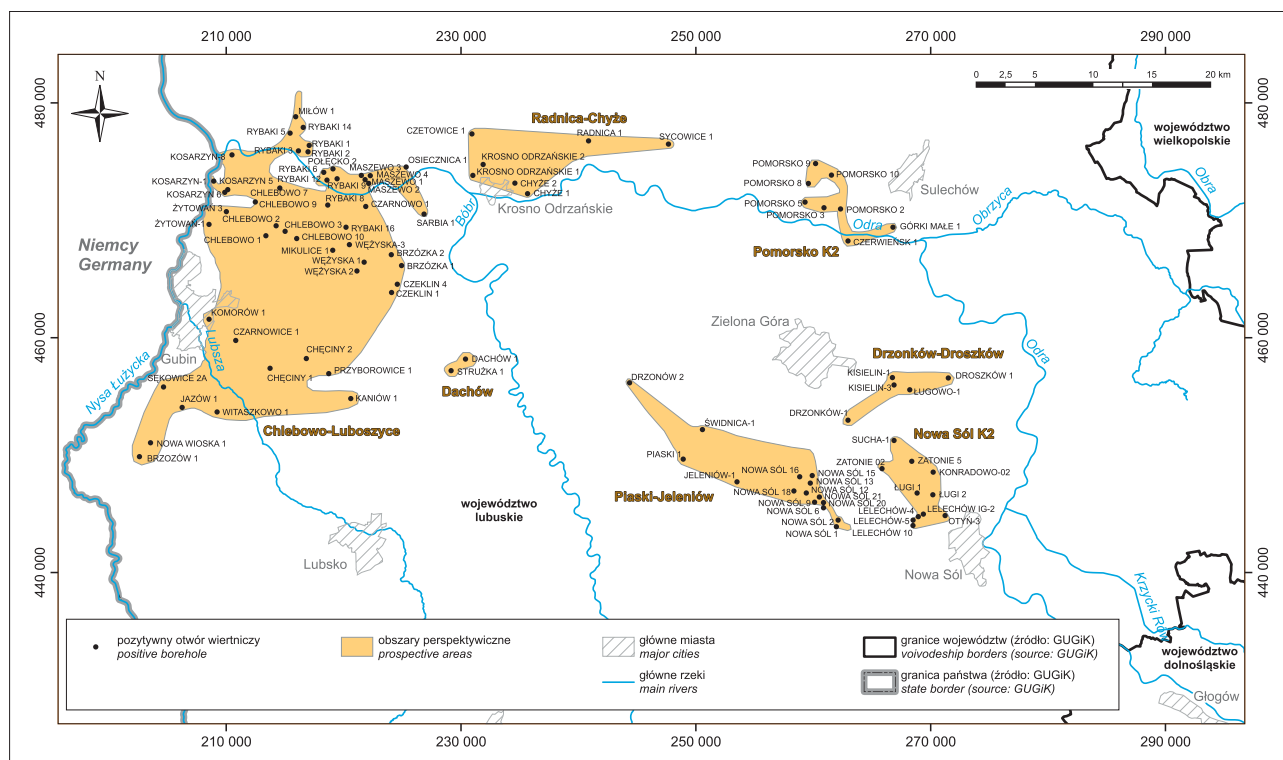
Parametry pokładu potasonośnego w części zaklasyfikowanej jako zasoby przewidywane są następujące:

- głębokość stropu serii: 1009,0–1977,5 m, średnia – 1571,46 m,
- głębokość spągu serii: 1026,5–1988,0 m, średnia – 1583,22 m,
- miąższość serii: 2,0–92,0 m, średnia – 11,81 m,
- powierzchnia obszaru przyjęta w obliczeniach zasobów: 330 857 368 m² (ok. 330,8 km²).

Zasoby przewidywane (perspektywiczne) kopaliny (soli potasowo-magnezowej) w obszarze Chlebowo-Luboszyce wynoszą (z redukcją ze względu na złożoną tektonicznie budowę geologiczną) 2 461 678 075,13 Mg (ok. 2,5 mld Mg).

OP Dachów jest słabo rozpoznany dwoma otworami wiertniczymi Dachów-1 i Strużka 1, przewiercającymi utwory cechsztynu (tab. 3, ryc. 2).

Budowa pokładu i główne asocjacje mineralne są podobne jak dla OP Chlebowo-Luboszyce. Średnia zawartość K₂O to 1–9%, w partiach bogatszych 4–9% (dane przez analogię z udokumentowanymi obszarami w regionie – patrz: Mikulski i in., 2015).



Ryc. 2. Obszary perspektywiczne wystąpień pokładowych soli K-Mg cyklotemu PZ2 na terenie SW Polski
 Fig. 2. Prospective areas with stratiform potash-magnesium salt deposits of PZ2 cyclothem in SW Poland

Parametry pokładu potasonośnego w części zaklasyfikowanej jako zasoby przewidywane są następujące:

- głębokość stropu serii solnej: 956,0–1070,0 m, średnia – 1013,0 m,
- głębokość spągu serii solnej: 960,0–1073,0 m, średnia – 1016,5 m,
- miąższość serii solnej: 3,0–4,0 m, średnia – 3,5 m,
- powierzchnia obszaru przyjęta w obliczeniach zasobów: 2 900 233 m² (ok. 2,9 km²).

Oszacowane zasoby przewidywane (perspektywiczne) kopaliny (soli potasowo-magnezowej) w obszarze perspektywnym Dachów oceniono (z redukcją ze względu na złożoną tektonicznie budowę geologiczną) na 6 395 013,76 Mg (ok. 6,4 mln Mg).

OP Drżonków-Droszków jest słabo rozpoznany pięćmi otworami wiertniczymi, przewiercającymi utwory cechsztynu (tab. 3, ryc. 2).

Informacje o budowie pokładu, głównych asocjacjach mineralnych i średniej zawartość K₂O są podobne jak dla OP Dachów.

Parametry pokładu potasonośnego w części zaklasyfikowanej jako zasoby przewidywane są następujące:

- głębokość stropu serii solnej: 1489,0–1784,0 m, średnia – 1658,7 m,
- głębokość spągu serii solnej: 1506,5–1800,5 m, średnia – 1669,6 m,
- miąższość serii solnej: 6,0–16,5 m, średnia – 10,3 m,
- powierzchnia obszaru przyjęta w obliczeniach zasobów: 14 153 654 m² (ok. 14,2 km²).

Zasoby przewidywane (perspektywiczne) kopaliny (soli potasowo-magnezowej) w obszarze perspektywnym Drżonków-Droszków wynoszą (z redukcją ze względu na złożoną tektonicznie budowę geologiczną) 91 843 060,81 Mg (ok. 91,8 mln Mg).

OP Nowa Sól K2 jest dość dobrze rozpoznany jedynastoma otworami wiertniczymi, przewiercającymi utwory cechsztynu (tab. 3, ryc. 2).

Dane o budowie pokładu, głównych asocjacjach mineralnych i średniej zawartość K₂O są podobne jak dla dwóch wcześniej opisanych obszarów.

Parametry pokładu potasonośnego w części zaklasyfikowanej jako zasoby przewidywane są następujące:

- głębokość stropu serii solnej: 1027,0–1460,3 m, średnia – 1239,18 m,
- głębokość spągu serii solnej: 1032,5–1477,5 m, średnia – 1248,22 m,
- miąższość serii solnej: 3,0–18,5 m, średnia – 9,04 m,
- powierzchnia obszaru przyjęta w obliczeniach zasobów: 23 107 259 m² (ok. 23,1 km²).

Zasoby przewidywane (perspektywiczne) kopaliny (soli potasowo-magnezowej) obszaru perspektywnego Nowa Sól K2 oceniono (z redukcją ze względu na złożoną tektonicznie budowę geologiczną) na 131 600 461,5 Mg (ok. 131,6 mln Mg).

OP Piaski-Jeleniów jest dobrze rozpoznany 15 otworami wiertniczymi, przewiercającymi utwory cechsztynu (tab. 3, ryc. 2).

Informacje o budowie pokładu, głównych asocjacjach mineralnych i średniej zawartość K₂O są podobne jak dla trzech wcześniej opisanych obszarów (Podemski, 1972a). W otworach wiertniczych Nowa Sól-1, -2, -6 i -18 zawartość K₂O zmienia się od 0,12 do 8,46%, wartość średniej ważonej dla tego związku wynosi 6,07% (Nowa Sól-1). Udział magnezu waha się od <0,02 do 1,62% (otwór Nowa Sól-9), zaś najwyższą wartość średniej ważonej dla tego pierwiastka – 0,37%, stwierdzono w otworze Piaski-1.

Parametry pokładu potasonośnego w części zaklasyfikowanej jako zasoby przewidywane są następujące:

- głębokość stropu serii solnej: 917,5–1230,5 m, średnia – 1114,28 m,
- głębokość spągu serii solnej: 940,5–1295,0 m, średnia – 1124,38 m,
- miąższość serii solnej: 3,5–24,4 m, średnia – 10,1 m,
- powierzchnia obszaru przyjęta w obliczeniach zasobów: 62 082 182 m² (ok. 62 km²).

Zasoby przewidywane (prognostyczne) kopaliny (soli potasowo-magnezowej) obszaru perspektywicznego Piaski-Jeleniów wynoszą (z redukcją ze względu na złożoną tektonicznie budowę geologiczną) 395 028 924,07 Mg (ok. 395 mln Mg).

OP Pomorsko K2 jest rozpoznany w średnim stopniu ośmioma otworami wiertniczymi, przewiercającymi utwory cechsztynu (tab. 3, ryc. 2).

Dane o budowie pokładu, głównych asocjacjach mineralnych i średniej zawartość K₂O są podobne jak dla OP Dachów.

Parametry pokładu potasonośnego w części zaklasyfikowanej jako zasoby przewidywane są następujące:

- głębokość stropu serii solnej: 1830,5–1972,0 m, średnia – 1904,19 m,
- głębokość spągu serii solnej: 1840,5–1985,0 m, średnia – 1914,44 m,
- miąższość serii solnej: 5,0–16,5 m, średnia – 10,25 m,
- powierzchnia obszaru przyjęta w obliczeniach zasobów: 15 864 150 m² (ok. 15,8 km²).

Zasoby przewidywane (perspektywiczne) kopaliny (soli potasowo-magnezowej) obszaru perspektywicznego Pomorsko K2 oceniono (z redukcją ze względu na złożoną tektonicznie budowę geologiczną) na 102 442 748,6 Mg (ok. 102,4 mln Mg).

OP Radnica-Chyże. Obszar perspektywiczny Radnica-Chyże jest rozpoznany w średnim stopniu siedmioma otworami wiertniczymi, przewiercającymi utwory cechsztynu (tab. 3, ryc. 2).

Dane o budowie pokładu, głównych asocjacjach mineralnych i średniej zawartość K₂O są podobne jak dla OP Dachów.

Parametry pokładu potasonośnego w części zaklasyfikowanej jako zasoby przewidywane są następujące:

- głębokość stropu serii solnej: 1774,0–1945,5 m, średnia – 1868,86 m,
- głębokość spągu serii solnej: 1813,5–1960,0 m, średnia – 1882,86 m,
- miąższość serii solnej: 5,5–39,5 m, średnia – 16,58 m,
- powierzchnia obszaru przyjęta w obliczeniach zasobów: 5 212 687 m² (ok. 5,2 km²).

Zasoby przewidywane (perspektywiczne) kopaliny (soli potasowo-magnezowej) obszaru perspektywicznego Radnica-Chyże wynoszą (z redukcją ze względu na złożoną tektonicznie budowę geologiczną) 54 448 600,79 Mg (ok. 54,45 mln Mg).

Łączna powierzchnia wyróżnionych siedmiu obszarów perspektywicznych wystąpień pokładu starszej soli potasowej (K2) na obszarze przedsudeckim, udokumentowanych 98 otworami wiertniczymi, wynosi 454 km² zaś zasoby przewidywane kopaliny oceniono na 3,2 mld Mg (tab. 3). Szacunkowe łączne zasoby K₂O tych obszarów wynoszą 32,43 mln Mg (przyjmując niską średnią zawartość tlenu potasu 1%). Należy podkreślić różny stopień udokumentowania opisanych obszarów, przekładający się na ich po-

wierzchnię i zasoby: od OP Chlebowo-Luboszyce, rozpoznanego 50 otworami, o powierzchni blisko 331 km² i zasobach 2,46 mld Mg, po OP Dachów, udokumentowany 2 otworami, z powierzchnią blisko 3 km² i zasobami 6,4 mln Mg.

Pokład soli potasowych i potasowo-magnezowych cyklotemu PZ3

Przewiercony wieloma otworami pokład starszej soli potasowo-magnezowej (K3) tworzy szereg izolowanych wystąpień w pasie od Sulechowa na zachodzie po rejon Nowej Soli na wschodzie. Strop pokładu lokuje się na głębokości od 838 m w części SW i S monokliny do 1068 m w części N, a jego przewiercona miąższość jest bardzo zmienna od 1 m do >50 m w rejonie Ługi-Kondratowo (Podemski, 1972a, 1973a, 1974, 1975; Mikulski i in., 2015).

Pokład tworzą dwie strefy potasonośne, przedzielone kilkunastometrową serią soli kamiennej (*op. cit.*):

- strefę dolną o miąższości do 6 m budują sole kamienne z domieszką anhydrytu i przewarstwieniami polihalitu, udział K₂O wynosi 1,0–4,5%, MgSO₄ – 2,7–4,6%, CaSO₄ – 3,6–9,9%,
- strefę górną o miąższości do 12 m budują sylwin, kizeryt i polihalitu, udział K₂O wynosi 1,0–6,0%, MgSO₄ – 2,0–49,0%, CaSO₄ – do 0,5%.

W całym pokładzie młodszej soli potasowej zawartość K₂O waha się od 1 do 15% (średnia arytmetyczna: 3–9%, średnia ważona: 1,4–16,4%), MgSO₄ – od 2 do 49% oraz CaSO₄ – 0,09–9,9%. Udział NaCl w pokładzie wynosi od 18 do 97%, przeważnie 37–91% (*op. cit.*).

Skały potasonośne, należące do tego pokładu, występują w sześciu obszarach perspektywicznych: OP Nowa Sól K3, OP Pomorsko K3 (Mikulski i in., 2015; Czapowski, 2017) oraz Klenica, Lubięcín 1, Lubięcín 2 i Lubięcín 3 (tab. 4, ryc. 3).

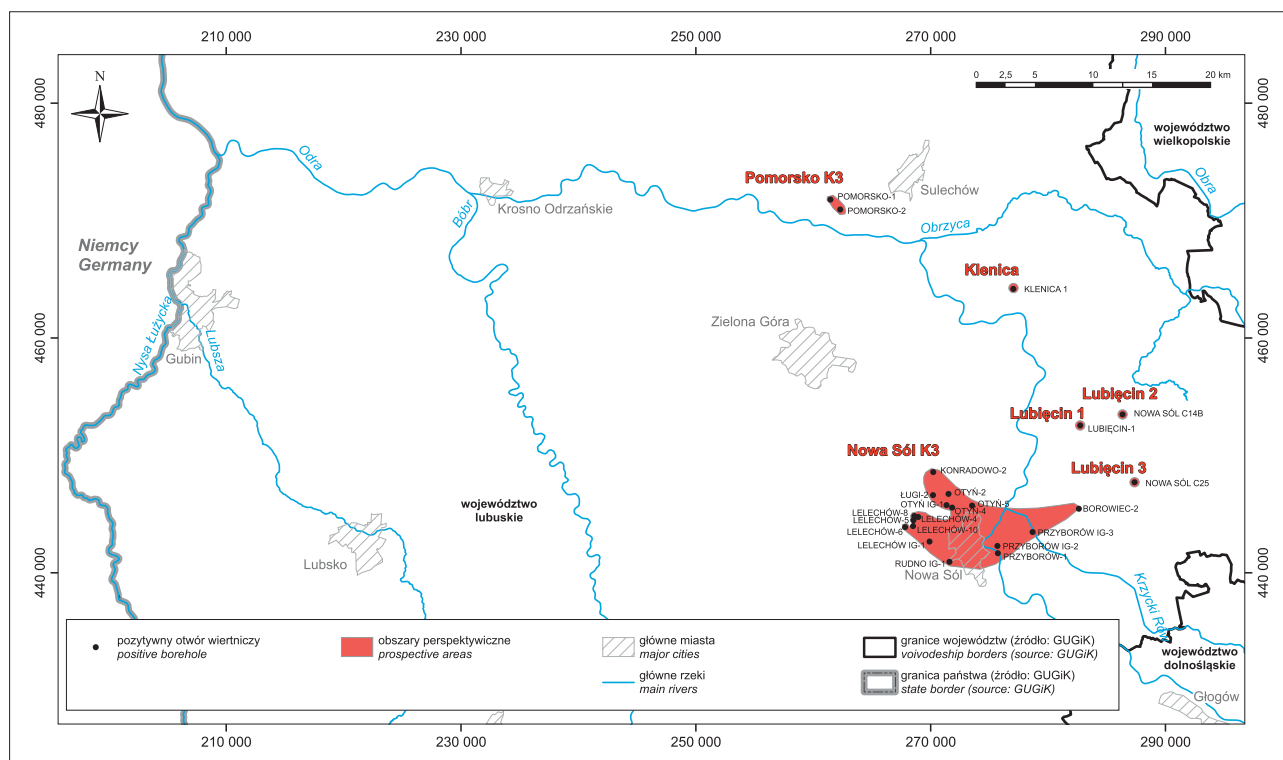
OP Nowa Sól K3 jest dość dobrze rozpoznany 17 otworami wiertniczymi, przewiercającymi utwory cechsztynu (tab. 4, ryc. 3).

Budowa pokładu potasonośnego jest dość niejednorodna, występują w nim dwie strefy potasonośne, przedzielone kilkunastometrową serią soli. Strefę górną grubości do 12 m buduje sylwin, kizeryt, polihalit, zaś dolną o miąższości do 6 m – sól kamienna z anhydrytem i skupieniami polihalitu. Pokład jest silnie zaburzony tektonicznie (uskoki, nasunięcia), co powoduje lokalnie pozorny wzrost jego miąższości. Wspomnianą strefę górną buduje asocjacja mineralna sylwin + kizeryt + polihalit o zawartości K₂O 1–16%, natomiast strefę dolną asocjacja halit + anhydryt + polihalit o zawartości K₂O wynoszącej 1,0–4,5% (Podemski, 1972a, 1973a, 1974, 1975; Mikulski i in., 2015). W otworze Lelechów IG 1 zawartość K₂O sięga 11,8% (średnia ważona 6,29%), zaś w otworze Otyń IG 1 wynosi 3–9% (średnia ważona 6,04%). Z kolei w otworze Przyborów IG 2 udział potasu wynosi 0,22%, a w otworze Rudno IG 1 sięga 22,56%. Udział magnezu waha się od 0,06% (otwory Przyborów IG 2 i Rudno IG 1) do 10,05% (otwór Lelechów IG 1). Największy udział tego pierwiastka (średnia ważona MgSO₄ równa 24,69%) zarejestrowano w otworze Otyń IG 1.

Parametry pokładu potasonośnego w części zaklasyfikowanej jako zasoby przewidywane, są następujące:

Tab. 4. Charakterystyka obszarów perspektywicznych pokładowych wystąpień soli potasowo-magnezowych cyklotemu PZ3 w SW Polsce**Table 4.** Characteristics of prospective areas with stratiform potash-magnesium salt deposits of PZ3 cyclothem in SW Poland

Nazwa obszaru <i>Prospective area name</i>	Powierzchnia [km ²] <i>Area</i>	Zasoby przewidywane [mln Mg] <i>Predicted resources</i>	Stopień rozpoznania geologicznego (ilość odwiertów) <i>Geological recognition (number of wells)</i>	Parametry pokładu potasonośnego <i>Parameters of potash seam</i>		Stan wiedzy o mineralizacji K i Mg <i>Data on K and Mg mineralization</i>
				głębokość spągu (od–do/średnia) [m] <i>bottom depth (min–max/average)</i>	miąższość (od–do/średnia) [m] <i>thickness (min–max/average)</i>	
Nowa Sól K3	57,4	265,58	17	980,0–1369,5/ 1098,79	2,0–50,8/ 7,35	przypuszczalnie 2 asocjacje mineralne: górna = sylwin, kizeryt, polihalit (zawartość K ₂ O 1–16%), dolna = halit + anhydryt + polihalit (zawartość K ₂ O 1–4,5%) <i>probably 2 mineral associations: upper one = sylvine, kieserite, polyhalite (K₂O content 1–16%), lower one = halite + anhydrite + polyhalite (K₂O content 1–4.5%)</i>
Pomorsko K3	1,4	14,3	2	1778,0–1832,0/ 1805,0	6,0–27,0/ 16,5	
Klenica	0,5	3,16	1	1750,0	10,0	
Lubięcín 1	0,5	3,16	1	1495,0	10,0	
Lubięcín 2	0,5	1,27	1	1544,0	4,0	
Lubięcín 3	0,5	1,27	1	1450,0	4,0	
Liczba obszarów <i>Number of areas</i>	Sumaryczna powierzchnia [km ²] <i>Total area</i>	Sumaryczne zasoby [mln Mg] <i>Total resources</i>	Sumaryczna liczba otworów <i>Total number of wells</i>	Szacowana ilość K₂O [mln Mg] <i>Estimated amount of K₂O</i>		
6	60,8	288,79	23	2,89		

**Ryc. 3.** Obszary perspektywiczne wystąpień pokładowych soli K-Mg cyklotemu PZ3 na terenie SW Polski**Fig. 3.** Prospective areas with stratiform potash-magnesium salt deposits of PZ3 cyclothem in SW Poland

- głębokość stropu serii solnej: 977,6–1351,0 m, średnia – 1091,44 m,
- głębokość spągu serii solnej: 980,0–1369,5 m, średnia – 1098,79 m,
- miąższość serii solnej: 2,0–50,8 m, średnia – 7,35 m,

- powierzchnia obszaru przyjęta w obliczeniach zasobów: 57 353 891 m² (ok. 57,4 km²).

Zasoby przewidywane (prognostyczne) kopaliny (soli potasowo-magnezowej) obszaru perspektywicznego Nowa Sól K3 wynoszą (z redukcją ze względu na złożoną tekto-

nicznie budowę geologiczną) 265 577 192,28 Mg (ok. 265,58 mln Mg).

OP Pomorsko K3 jest słabo rozpoznany dwoma otworami wiertniczymi, przewiercającymi utwory cechsztynu (tab. 4, ryc. 3).

Informacje o budowie pokładu potasonośnego i zawartości K_2O przyjęto jak dla OP Nowa Sól K3.

Parametry pokładu potasonośnego w części zaklasyfikowanej jako zasoby przewidywane są następujące:

- głębokość stropu serii solnej: 1772,0–1805,0 m, średnia – 1788,5 m,
- głębokość spągu serii solnej: 1778,0–1832,0 m, średnia – 1805,0 m,
- miąższość serii solnej: 6,0–27,0 m, średnia – 16,5 m,
- powierzchnia obszaru przyjęta w obliczeniach zasobów: 1 377 049 m² (ok. 1,4 km²).

Zasoby przewidywane (perspektywiczne) kopaliny (soli potasowo-magnezowej) obszaru perspektywicznego Pomorsko K3 oszacowano (z redukcją ze względu na złożoną tektonicznie budowę geologiczną) na 14 314 424,36 Mg (ok. 14,3 mln Mg).

OP Klenica. Obszar perspektywiczny Klenica jest rozpoznany jednym otworem wiertniczym Klenica 1 (tab. 4, ryc. 3).

Informacje o budowie pokładu potasonośnego i zawartości K_2O przyjęto jak dla dwu wcześniej opisanych obszarów Nowa Sól K3 i Pomorsko K3.

Parametry pokładu potasonośnego w części zaklasyfikowanej jako zasoby przewidywane są następujące:

- głębokość stropu serii solnej: 1740,0 m,
- głębokość spągu serii solnej: 1750,0 m,
- miąższość serii solnej: 10,0 m,
- powierzchnia obszaru przyjęta w obliczeniach zasobów: 502 488 m² (ok. 0,5 km²).

Zasoby przewidywane (perspektywiczne) kopaliny (soli potasowo-magnezowej) obszaru perspektywicznego Klenica wynoszą (z redukcją ze względu na złożoną tektonicznie budowę geologiczną) 3 165 674,4 Mg (ok. 3,16 mln Mg).

OP Lubięcín 1 jest rozpoznany jednym (podobnie jak OP Klenica) otworem wiertniczym – Lubięcín-1 (tab. 4, ryc. 3). Przyjęto te same dane o budowie pokładu potasonośnego i zawartości K_2O , jak dla opisanych wcześniej obszarów.

Parametry pokładu potasonośnego w części zaklasyfikowanej jako zasoby przewidywane są następujące:

- głębokość stropu serii solnej: 1485,0 m,
- głębokość spągu serii solnej: 1495,0 m,
- miąższość serii solnej: 10,0 m,
- powierzchnia obszaru przyjęta w obliczeniach zasobów: 502 488 m² (ok. 0,5 km²).

Zasoby przewidywane (perspektywiczne) kopaliny (soli potasowo-magnezowej) obszaru perspektywicznego Lubięcín 1 wyliczono (z redukcją ze względu na złożoną tektonicznie budowę geologiczną) na 3 165 674,4 Mg (ok. 3,16 mln Mg).

OP Lubięcín 2. Sąsiedni obszar perspektywiczny Lubięcín 2 wskazano na podstawie danych z jednego otworu wiertniczego Nowa Sól C14B (tab. 4, ryc. 3), przyjmując

informacje o budowie pokładu potasonośnego i zawartości K_2O , takie jak dla OP Lubięcín 1.

Parametry pokładu potasonośnego w części zaklasyfikowanej jako zasoby przewidywane, są następujące:

- głębokość stropu serii solnej: 1540,0 m,
- głębokość spągu serii solnej: 1544,0 m,
- miąższość serii solnej: 4,0 m,
- powierzchnia obszaru przyjęta w obliczeniach zasobów: 502 488 m² (ok. 0,5 km²).

Zasoby przewidywane (perspektywiczne) kopaliny (soli potasowo-magnezowej) obszaru perspektywicznego Lubięcín 2 oceniono (z redukcją ze względu na złożoną tektonicznie budowę geologiczną) na 1 266 269,76 Mg (ok. 1,27 mln Mg).

OP Lubięcín 3. Podobnie przedstawia się stan rozpoznania pobliskiego obszaru perspektywicznego Lubięcín 3, rozpoznanego pojedynczym otworem wiertniczym Nowa Sól C25 (tab. 4, ryc. 3). Informacje o budowie pokładu potasonośnego i zawartości K_2O przyjęto, takie jak dla pobliskich obszarów Lubięcín 1 i Lubięcín 2.

Parametry pokładu potasonośnego w części zaklasyfikowanej jako zasoby przewidywane, są następujące:

- głębokość stropu serii solnej: 1446,0 m,
- głębokość spągu serii solnej: 1450,0 m,
- miąższość serii solnej: 4,0 m,
- powierzchnia obszaru przyjęta w obliczeniach zasobów: 502 488 m² (ok. 0,5 km²).

Zasoby przewidywane (perspektywiczne) kopaliny (soli potasowo-magnezowej) obszaru perspektywicznego Lubięcín 3 wynoszą (z redukcją ze względu na złożoną tektonicznie budowę geologiczną) 1 266 269,76 Mg (ok. 1,27 mln Mg).

Nie można wykluczyć, że w wymienione trzy ostatnie obszary perspektywiczne, rozpoznane pojedynczymi otworami wiertniczymi, stanowią jedno rozległe wystąpienie soli K-Mg które wymaga jednak udokumentowania kolejnymi odwiertami.

Łączna powierzchnia sześciu wyróżnionych dotychczas obszarów perspektywicznych wystąpień pokładu młodszej soli potasowej (K3) na obszarze przedsudeckim, udokumentowanych 23 otworami wiertniczymi, wynosi ponad 60 km², zaś zasoby przewidywane kopaliny oceniono na 288,8 mln Mg (tab. 4). Szacunkowe łączne zasoby K_2O tych obszarów wynoszą 2,89 mln Mg (przyjmując niską średnią zawartość tlenu potasu 1%). Znaczący jest różny stopień udokumentowania opisanych obszarów, przekładający się na ich powierzchnię i zasoby: od OP Nowa Sól K3, rozpoznanego 17 otworami, o powierzchni ponad 57 km² i zasobach 265,6 mln Mg, po obszary Klenica, Lubięcín 1, 2 i 3, udokumentowane pojedynczymi otworami, z powierzchnią 0,5 km² i zasobami 1,3–3,2 mln Mg.

Podsumowując, łączne zasoby kopaliny w obrębie 13 wskazanych obszarów perspektywicznych wystąpień pokładowych soli K-Mg cyklotomów PZ2 i PZ3 w SW Polsce, udokumentowanych 121 otworami wiertniczymi, oszacowano na 3,53 mld Mg, a ich sumaryczna powierzchnia wynosi 514,8 km². Łączną ilość K_2O na opisanych obszarach, przy założeniu niskiego średniego jego udziału w pokładzie potasonośnym – 1%, oszacowano na 35,32 mln Mg.

WNIOSKI

Nowe dane z wykonanych po 2014 r. otworów wiertniczych w SW Polsce oraz reinterpretacja profili karotazowych wcześniejszych odwiertów umożliwiły ponowne, w stosunku do analiz przeprowadzonych w 2014 r. (patrz – Mikulski i in., 2015), oszacowanie potencjału złożowego pokładowych wystąpień soli potasowo-magnezowych na tym obszarze.

Wytypowano 13 obszarów perspektywicznych, udokumentowanych 121 otworami wiertniczymi, o łącznej powierzchni blisko 514 km² i zasobach przewidywanych soli K-Mg (głównie typu chlorkowego) oszacowanych na 3,53 mld Mg. Większość stanowią obszary wystąpień pokładowych utworów starszej soli potasowej (K2): 7 obszarów perspektywicznych (98 otworów wiertniczych) o łącznej powierzchni 454 km² i zasobach kopaliny ocenionych na 3,2 mld Mg. W przypadku pokładu młodszej soli potasowej (K3) wyznaczono 6 obszarów perspektywicznych (23 otwory wiertnicze) o łącznej powierzchni ponad 60 km² i zasobach kopaliny oszacowanych na 288,8 mln Mg.

Należy podkreślić bardzo duże zróżnicowanie wielkości i zasobów opisanych obszarów perspektywicznych: od bardzo rozległego OP Chlebowo-Luboszyce o powierzchni blisko 331 km² i zasobach 2,46 mld Mg po małe obszary, jak Klenica, Lubięcín 1, Lubięcín 2 i Lubięcín 3, o powierzchni 0,5 km² i zasobach rzędu 1,3–3,2 mln Mg.

W stosunku do wcześniejszych wyliczeń (Czapowski i in., 2015; Mikulski i in., 2015; Czapowski, 2017; Szamalek i in., 2022) zwiększono ilość zasobów kopaliny powiązanych z siedmioma wytypowanymi obszarami perspektywicznymi wystąpień soli K-Mg cyklotemu PZ2 o ok. 0,68 mld Mg (z 2,85 mld Mg do 3,53 mld Mg), przy jednoczesnym powiększeniu ich łącznej powierzchni o 116 km² (z 398,1 km² do 454 km²). W przypadku pokładowych wystąpień soli K-Mg cyklotemu PZ3 zwiększono ilość obszarów z dwóch do sześciu, oszacowane zasoby pomniejszyły się o blisko 136 mln Mg (z 424,5 mln Mg do 288,8 mln Mg), zaś łączna ich powierzchnia wzrosła o 3,6 km² (z 57,2 km² do 60,8 km²).

Opisane obszary perspektywiczne pokładowych wystąpień soli K-Mg mogą zawierać 35,32 mln Mg K₂O, w tym: utwory cyklotemu PZ2 – 32,43 mln Mg K₂O, natomiast utwory cyklotemu PZ3 – 2,89 mln Mg K₂O.

Przedstawione dane wskazują na wysoki potencjał złożowy występowania soli potasowo-magnezowych w południowo-zachodniej Polsce, tym większy, że utwory te budują głównie sole K-Mg typu chlorkowego, łatwe do eksploatacji metodą podziemnego ługowania, bez konieczności budowy kosztownej kopalni podziemnej. Opisane wystąpienia wymagają jednak dokładnego rozpoznania geologicznego i udokumentowania ich zasobów w kategorii umożliwiającej podjęcie działalności górniczej.

Autorzy dziękują recenzentom: dr. hab. Maciejowi Bąblowi (Uniwersytet Warszawski) i dr. hab. inż. Krzysztofowi Bukowskiemu (Akademia Górniczo-Hutnicza) za wnikliwą analizę pracy i cenne uwagi. W przygotowaniu artykułu wykorzystano ogólnie dostępne dane o otworach wiertniczych, zawarte w Centralnej Bazie Danych Geologicznych (witryna PIG-PIB, <https://www.pgi.gov.pl/dane-geologiczne/geologiczne-bazy-danych.html>, zakładka: otworywiertnicze.pgi.gov.pl).

LITERATURA

- BAK B., PRZENIOSŁO S. (red.) 1993 – Zasoby perspektywiczne kopaliny Polski wg stanu na 31 XII 1990 r. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- BUKOWSKI K., CZAPOWSKI G. 2016 – Solnictwo w XXI wieku: aktualne problemy geologii utworów solnych w Polsce. Biul. Państw. Inst. Geol., 466: 17–32.
- CZAPOWSKI G. 1995 – Upper Permian (Zechstein) salt deposits on the Żary Pericline characteristics, origin and economical value. Pr. Państw. Inst. Geol., 150: 35–60.
- CZAPOWSKI G. 2017 – Potencjał zasobowy soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych obszaru przedsudeckiego. Biul. Państw. Inst. Geol., 469: 105–128.
- CZAPOWSKI G. 2019 – Rola Państwowego Instytutu Geologicznego w badaniach genezy i określeniu wielkości polskich zasobów solnych po II wojnie światowej. Pr. Geol., 67 (4): 441–451.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K. 2010 – Geology and resources of salt deposits in Poland: the state of the art. Geol. Quart., 54 (4): 509–518.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K. 2012 – Salt resources in Poland at the beginning of XXI century. Geol., Geophys. Environ., 38 (2): 189–208.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K. 2013 – Potencjał zasobowy soli kamiennej i soli potasowych w Polsce a perspektywy jego wykorzystania. Gór. Odkryw., 54 (2): 74–84.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K. 2015 – Mapy wystąpień zasobów perspektywicznych soli w Polsce jako narzędzie w projektowaniu przyszłego zagospodarowania złóż kopaliny. Pr. Solny, 11: 5–31.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., GAŚIEWICZ A., SADŁOWSKA K. 2015 – Obszary perspektywiczne wystąpień i zasoby przewidywane surowców chemicznych Polski na mapach w skali 1 : 200 000 – sól kamienna, sole potasowo-magnezowe i siarka. Pr. Geol., 63 (9): 561–571.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., CHEŁMIŃSKI J., TOMASZCZYK M. 2008 – Stopień rozpoznania i perspektywy zagospodarowania cechsztyńskich złóż soli w rejonie Zatoki Gdańskiej. Gór. Odkryw., 49/2 (2–3): 47–55.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., PERYT T.M. 2014 – Uwarunkowania paleogeograficzno-facjalne powstawania wczesnodiaogenetycznych wystąpień soli potasowo-magnezowych – przypadek złóż polihality w rejonie Zatoki Puckiej (północna Polska). XIX Międzynarodowe Sympozjum Solne QUO VADIS SAL nt. Współczesne Problemy Górnictwa Solnego, Wągrowiec, 6–11 października 2014: 80–85.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., PERYT T.M., TOMASZCZYK M., CHEŁMIŃSKI J. 2009 – Złóża permjskiej soli kamiennej i potasowej w rejonie Zatoki Puckiej – budowa geologiczna i zasoby. Pr. Geol., 57 (9): 757–758.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., TOBOŁA T., TADYCH T. 2012 – Geology, geochemistry, and petrological characteristics of potash salt units from PZ2 and PZ3 Zechstein (Late Permian) cycles in Poland. Geol., Geophys. Environ., 38 (2): 153–188.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., WACHOWIAK J. 2022a – Wybrane pierwiastki śladowe w górnopermskich (cechsztyń) utworach solnych i potasonośnych w Polsce – ocena złożowa. Pr. Geol., 70 (5): 384–409.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., WACHOWIAK J. 2022b – Wybrane pierwiastki śladowe w górnopermskich (cechsztyń) utworach potasonośnych w Polsce – czy warto je stąd pozyskiwać? Pr. Solny, 16: 43–66.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., HANDTKE B., WACHOWIAK J., PERYT T.M. 2022c – Trace elements and mineralogy of Upper Permian (Zechstein) potash deposits in Poland. Appl. Sci., 12; <https://doi.org/10.3390/app12147183>
- GARLICKI A., SZYBIST A. 1986 – Salinarne osady polskiego cechsztynu z solami potasowo-magnezowymi. Gosp. Sur. Mineral., 2 (3–4): 389–404.
- KIJEWSKI P. 1988 – Sole cechsztyńskie na północ od Wrocławia. Konf. nauk. nt. Wybrane zagadnienia złóż Polski Zachodniej, Wrocław: 60–75.
- ŁASZKIEWICZ A. 1967 – Minerale i skały solne. Pr. Muz. Ziemi, 11: 101–188.
- MANECKI A. 2019 – Mineralogia szczegółowa. Rozpoznawanie, występowanie, znaczenie minerałów. MineralPres, Kraków.
- MIKULSKI S.Z., OSZCZEPALSKI S., CZAPOWSKI G., SADŁOWSKA K., GAŚIEWICZ A., MARKOWIAK M., STRZELSKA-SMAKOWSKA B., SZTROMWASSER E., KOZMA K., SIKORSKA-MAYKOWSKA M., PAULO A., CHMIELEWSKI A., RADWANEK-BAK B., GIEŁŻECKA-MĄDRY D., MĄDRY S., MICHNIEWICZ M., BUKOWSKI K., KUĆ P., BLIŹNIUK A., KOSTRZ-SIKORA P., PIOTROWSKA M. 2015 – Mapy obszarów perspektywicznych wystąpień rud metali i surowców chemicznych w Polsce w skali 1 : 200 000 wraz z ich oceną surowcową i ograniczeniami środowiskowymi i zago-

- spodarowania przestrzennego. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa, nr arch. 1714/2015.
- NAWROCKI J., BECKER A. (red. nauk.), 2017 – Atlas Geologiczny Polski. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PASIECZNA A. 1987 – Badania mineralogiczno-geochemiczne cechsztyńskich utworów siarczanowych z rejonu Zatoki Puckiej. *Arch. Mineralogiczne*, 43 (1): 19–40.
- PERYT T.M. 1995 – Geneza złóż polihalitu w cechsztyńskim rejonie Zatoki Puckiej w świetle badań sedymentologicznych i geochemicznych. *Prz. Geol.*, 43 (12): 1041–1044.
- PERYT T.M. 1998 – Origin of polyhalite deposits in the Zechstein (Upper Permian) Zdrada platform (northern Poland). *Sedimentology*, 45 (3): 565–578.
- PERYT T.M., PIERRE C., GRYNIV S.P. 1998 – Origin of polyhalite deposits in the Zechstein (Upper Permian) Zdrada platform (northern Poland). *Sedimentology*, 45 (4): 565–578.
- PERYT T.M., TOMASSI-MORAWIEC H., CZAPOWSKI G., HRYNIV S.P., PUEYO J.J., EASTOE CH.J., VOVNYUK S. 2005 – Polyhalite occurrence in the Werra (Zechstein, Upper Permian) Peribaltic Basin of Poland and Russia: evaporite facies constraints. *Carbonat. Evaporit.*, 20 (2): 182–194.
- POBORSKI J. 1960 – Cechsztyńskie zagłębienie solne Europy Środkowej na Ziemiach Polskich. *Pr. Inst. Geol.*, 30 (2): 355–373.
- POBORSKI J. 1961 – Główne kierunki poszukiwań soli potasowo-magnezowych w Polsce. *Prz. Geol.*, 9 (11): 570–573.
- POBORSKI J. 1964 – Stosunki facjalne w zagłębieniu cechsztyńskim w Polsce. *Kwart. Geol.*, 8 (1): 111–121.
- POBORSKI J. 1965 – Perspektywy poszukiwań i eksploatacji soli potasowych w Polsce. *Prz. Geol.*, 13 (5): 189–191.
- POBORSKI J. 1969 – Rozwój idei potasonośnego zagłębienia gdańskiego w systemie permskim. *Prz. Geol.*, 17 (5): 231–235.
- POBORSKI J. 1984 – Perspektywy poszukiwań i eksploatacji soli magnezowo potasowych, w cechsztyńskich strukturach solnych okręgu poznańskiego i środkowopolskiego. *Mat. Konf. Nauk. nt. Perspektywy surowcowe wielkopolskiej części Basenu Środkowopolskiego*, Poznań. UAM, seria Geol., 14: 87–88.
- POBORSKI J., PROCHAZKA K., WALA A. 1956 – Sole potasowo-magnezowe w złożach Inowrocławia i Wapna. *Acta Geol. Pol.*, 6 (4): 337–370.
- PODEMSKI M. 1964 – Projekt poszukiwań pokładowych złóż soli potasowo-magnezowych i soli kamiennej w strefie przed-sudeckiej, 1–145 s. wraz z aneksami nr 1, 2 i 3. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa, nr arch. 4120/45.
- PODEMSKI M. 1966 – Sole potasowe cechsztyńskiego poziomu starszej soli potasowej (K2) z okolicy Nowej Soli. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa, nr arch. 4121/191.
- PODEMSKI M. 1970 – Perspektywy poszukiwań złóż soli potasowych na peryklinie Żar w świetle wyników badań sejsmicznych przeprowadzonych przez Program Rozwoju ONZ. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa, nr arch. 52/100.
- PODEMSKI M. 1971 – Perspektywy poszukiwań złóż soli potasowych na peryklinie Żar w świetle wyników badań sejsmicznych, przeprowadzonych przez Program Rozwoju ONZ. *Kwart. Geol.*, 15 (4): 990–991.
- PODEMSKI M. 1972a – Cechsztyńskie sole kamienne i potasowe cyklotemów Z2, Z3 w okolicach Nowej Soli. *Biul. Inst. Geol.*, 260 (2): 5–62.
- PODEMSKI M. 1972b – Poziom soli potasowej starszej w rejonie Zielonej Góry. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa, nr arch. 4121/401.
- PODEMSKI M. 1973a – Sedymentacja cechsztyńska zachodniej części monokliny przed-sudeckiej na przykładzie okolic Nowej Soli. *Pr. Inst. Geol.*, 71: 1–101.
- PODEMSKI M. 1973b – Podsumowanie wyników dotychczasowych badań geofizycznych i geologicznych zachodniej części niecki północno-sudeckiej w aspekcie poszukiwań złóż soli kamiennej i potasowej. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa, nr arch. DS/259 z.12.
- PODEMSKI M. 1974 – Wyniki dotychczasowych badań soli potasowych w strefie przed-sudeckiej. *Prz. Geol.*, 21 (1): 7–12.
- PODEMSKI M. 1975 – Sole cechsztyńskie w rejonie struktury Rybaki. *Biul. Inst. Geol.*, 286 (3): 5–63.
- PRZENIOSŁO S. (red.) 1997 – Bilans zasobów kopalin i wód podziemnych Polsce wg stanu na 31 XII 1996 r. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PRZENIOSŁO S. (red.) 1998 – Bilans zasobów kopalin i wód podziemnych Polsce wg stanu na 31 XII 1997 r. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PRZENIOSŁO S. (red.) 1999 – Bilans zasobów kopalin i wód podziemnych Polsce wg stanu na 31 XII 1998 r. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PRZENIOSŁO S. (red.) 2000 – Bilans zasobów kopalin i wód podziemnych Polsce wg stanu na 31 XII 1999 r. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PRZENIOSŁO S. (red.) 2001 – Bilans zasobów kopalin i wód podziemnych Polsce wg stanu na 31 XII 1999 r. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- SOKOŁOWSKI J. 1967 – Charakterystyka geologiczna i strukturalna obszaru przed-sudeckiego. *Geol. Sud.*, 3: 297–367.
- SONNENFELD P. 1984 – Brines and evaporites. Academic Press Inc., Orlando.
- SZAMAŁEK K., SZUFLICKI M., MIZERSKI W. (red.) 2020 – Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- SZUFLICKI M., MALON A., TYMIŃSKI M. (red.) 2022 – Bilans zasobów kopalin i wód podziemnych Polsce wg stanu na 31 XII 2021 r. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- TOMASZEWSKI J.B. 1962 – Utwory solne cechsztyńskie monokliny przed-sudeckiej w rejonie Lubin-Sieroszwice. *Prz. Geol.*, 10 (12): 668–671.
- WAGNER R. 1995 – Stratygrafia i rozwój basenu cechsztyńskiego na Nizinie Polskiej. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 146: 1–71.
- WERNER Z. 1959 – Dokumentacja geologiczna złoża soli potasowo-magnezowych i soli kamiennej w Kłodawie. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa, nr arch. 3928/370, 13226.
- WERNER Z. 1962 – Dokumentacja geologiczna złoża soli potasowo-magnezowych i soli kamiennej w kłodawskim wydzielisku solnym. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa, nr arch. 3927/209, 1919.
- WERNER Z. 1969 – Złoże polihalitu w rejonie Swarzewa, pow. Puck, woj. Gdańsk. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa, nr arch. 2926/87.
- WERNER Z. 1971 – Dokumentacja geologiczna złoża polihalitu „Swarzewo”, pow. Puck. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa, nr arch. 3027/213.
- WERNER Z. 1972a – Dokumentacja geologiczna złoża polihalitu „Zdrada”, pow. Puck. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa, nr arch. 3026/113/36..
- WERNER Z. 1972b – Złoże soli potasowych w rejonie Zatoki Puckiej. *Przew. 54 Zjazdu PTG*, Cetniewo: 37–46.
- WERNER Zb. 1973 – Dokumentacja geologiczna złoża polihalitu „Zdrada”, pow. Puck. *Opracowanie uzupełniające. Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa, nr arch. 3026/113/36.
- WERNER Z. 1974 – Dodatek do dokumentacji geologicznej złoża polihalitu „Swarzewo”, pow. Puck. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa, nr arch. 2927/40.
- WERNER Z., DAWIDOWSKI J.S. 1976 – Poszukiwanie złóż soli potasowych na monoklinie przed-sudeckiej. A/73 Podsumowanie wyników I etapu i projekt dalszych prac poszukiwawczych soli potasowych w rej. Nowej Soli. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa, nr arch. 4121/140.
- WERNER Z., ORSKA E., KOTOWSKI A., WROTNOWSKA B. 1967 – Dokumentacja geologiczna złoża polihalitu i soli kamiennej „Chłapowo-Mieroszyno”. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa, nr arch. 2973/32.
- WERNER Z., PODEMSKI M. 1971 – Wyniki dotychczasowych badań złóż soli potasowych w Polsce i program dalszych poszukiwań. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa, nr arch. 9692 [0b0/1265 z. 28].
- WOŁKOWICZ S., SMAKOWSKI T., SPECZIK S. (red.) 2011 – Bilans perspektywicznych zasobów kopalin wg stanu na 31 XII 2009 r. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- ZWIERZYCKI J. 1951 – Sole potasowe na północ od Wrocławia. *Pr. Inst. Geol.*, 7: 257–291.

Praca wpłynęła do redakcji 12.04.2023 r.

Akceptowano do druku 17.05.2023 r.